

변환영역에서의 퍼지추론을 적용한 워터마킹

Incorporating Fuzzy Inference into Watermarking in the Transform Domain

김윤호*

Yoon-Ho Kim*

요 약

본 논문에서는 변환 영역기반의 워터마킹 기법의 개선을 위하여 퍼지추론 기법을 접목함으로써 워터마크가 삽입될 최적의 부 대역을 결정하는 방법을 제안하였다. DCT 변환 후, 각 부대역의 시각특성 요소인 텍스처 등급 및 대비도 함수의 최대 변화율을 구한 후, 최대변화율을 이용하여 퍼지추론을 위한 소속 함수를 생성하였다. 추론결과로 선택된 블록에 워터마크를 삽입한 후, 비가시성과 강인성을 평가 하였다. 외부공격으로는 JPEG 압축과 필터링, 절단 등을 고려하였고, 또한 AWGN 채널환경에서의 OFDM/QPSK 시스템을 이용하여 영상의 PSNR 및 상관관계를 구하여 제안한 워터마킹 알고리즘의 타당성 평가실험을 수행 하였다.

Abstract

In this paper, the decision method of optimal sub-band which is supposed to embedded watermark incorporating fuzzy inference into transform-based watermarking is proposed. After performing the DCT, maximum variation of human visual properties, such as text degree, contrast sensitivity function is calculated, and by using these, membership function is generated. After embedding the watermark to the selected bands obtained from fuzzy inference, performance of imperceptibility and robustness are evaluated. In order to testify the proposed scheme, such attacks as JPEG, filtering, cropping are utilized. and in addition, by using an AWGN channel of OFDM/QPSK system, PSNR as well as correlation are calculated, and finally evaluated the performance.

Key words : DCT, Watermark, Fuzzy inference, HVS

I. 서 론

21세기 정보화 사회의 핵심 산업으로 부각되고 있는 디지털 콘텐츠 산업분야는 디지털 콘텐츠를 보호하고 효율적으로 관리하기 위한 DRM(Digital Rights Management)기술이 인터넷기반 전자 상거래 환경에서 부각되고 있는 저작권 보호기술의 통합 도구 중에

하나이다. DRM 솔루션이 멀티미디어 콘텐츠의 배포와 사용자 인가 등 사업 지향적이었다면, 워터마킹은 특정 콘텐츠에 삽입하여 지속적으로 또는 최종적으로 저작권을 보호하는 역할을 하는 순수 원천기술로써 발전해 왔다.

디지털 워터마킹은 워터마크의 삽입 및 추출과정의 적용 영역에 따라 크게 공간 영역 방법과 주파수 영역 방법으로 분류한다. 공간 영역에서의 디지털 워

* 목원대학교 컴퓨터공학부(Division of Computer Eng., Mokwon University)

· 제1저자 (First Author) : 김윤호

· 접수일자 : 2006년 10월 9일

터마킹 기법은 영상의 국부적 화소값을 조작하는 것으로 계산량이 적고, 워터마크의 삽입과 추출이 용이하지만 잡음과 손실 압축, 필터링 등의 일반적인 영상 처리에는 삽입된 워터마크가 쉽게 깨어지는 단점을 갖고 있다[1],[2].

주파수 영역에서의 워터마킹 기법은 영상신호를 주파수 성분의 신호로 변환한 후 주파수 계수를 변화시켜 워터마크를 삽입하는 개념으로 계산량이 많아 워터마크 삽입과 추출은 복잡하지만 압축이나 잡음 등의 외부공격에 강한 특징을 지니고 있다[3]. 이러한 워터마킹 기법은 DFT(Discrete Fourier Transform) 변환 후, 위상에 워터마크를 삽입하는 방법, 영상 전체를 DCT(Discrete Cosine Transform) 변환시킨 후, DC 성분을 제외한 DCT 계수 중 큰 값을 갖는 n개의 DCT 계수에 삽입하는 방법과 화질 열화를 막기 위하여 중간 주파수 대역에 워터마크를 삽입하는 방법 등이 제안되었는데, 이 방법은 워터마크를 추출할 때에 원영상의 참조가 필요 없는 장점이 있으나, 영상의 공격에 약하다는 것이 단점이다[4]-[6].

본 연구에서는 주파수 변환 기반의 블라인드 워터마킹 기법으로 압축공격 및 잡음에 강인한 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법은 영상전체를 변환하지 않고 영상을 임의 블록으로 나눈 후, 각 블록들의 시각특성을 나타내는 통계값을 구하고 퍼지추론을 이용하여 최적의 중간 주파수대역에 워터마킹이 되도록 하는 방법이다.

II. DCT 계수의 부대역 선택

변환영역 기반의 워터마킹 알고리즘은 공간영역보다 외부공격에 강인한 특성을 보이는 것으로 보고되고 있는 바, 중요한 점은 화질과 견고성을 고려하여 워터마크가 삽입될 최적의 중간 주파수 대역을 결정하는 것이 중요한 기술이다. 본 장에서는 DCT 변환 전에 부대역의 시각특성을 분석한 후, 최적의 대역을 선정하기위해 퍼지추론 기법을 도입하는 방법을 기술한다.

2-1. DCT 계수의 부대역 특성

DCT 변환계수를 이용하여 워터마크를 삽입하는 방법은 인간의 시각적 특성과 통계적 특성 등을 이용할 수 있으므로, 주파수영역에서 계수 분포를 분석하고 공간영역의 특징인 인간의 시각시스템 모델을 활용 할 수 있는 장점이 있다.

이 기법의 첫 단계는 인간의 시각특성 모델과 통계적 특성을 갖는 파라미터를 이용하여 DCT 계수분포를 분석하고, 각 계수 값들의 통계적 특성을 계산하여 퍼지입력 데이터로 사용될 부대역들을 결정하는 것이다.

모든 DCT는 직교, 분리성, 실수 연산, 고속 알고리즘을 가지며, 샘플주기가 끝나는 (n=7) 지점에서 $\cos(12\pi/16)$ 으로 -1에 가까운 값을 가지며 반주기를 잘 표현하는 N-점 전방향과 역방향 DCT는 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

DCT

$$X^{c2}(k) = \frac{2}{N} c_k \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos \left[\frac{(2n+1)k\pi}{2N} \right],$$

k=0,1,...,N-1

IDCT

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k X^{c2}(k) \cos \left[\frac{(2n+1)k\pi}{2N} \right],$$

n=0,1,...,N-1

$$\text{단, } c_k = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & k=0 \\ 1 & k \neq 0 \end{cases}$$

DCT는 분리 가능 변환이므로 식 (1)은 다음과 같이 2D_DCT로 확장될 수 있다.

$$X_{u,v}^{c2} = \frac{4}{NM} c_u c_v \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} x_{n,m} AB$$

$$A = \cos \left[\frac{(2n+1)u\pi}{2N} \right]$$

$$\begin{aligned}
 B &= \cos \left[\frac{(2m+1)v\pi}{2M} \right] \\
 u &= 0, 1, \dots, N-1 \\
 v &= 0, 1, \dots, M-1 \\
 c_l &= \begin{cases} 1/\sqrt{2} & l=0 \\ 1, & l \neq 0 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 x_{n,m} &= \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} c_u c_v X_{u,v}^{\mathcal{E}} AB \\
 A &= \cos \left[\frac{(2n+1)u\pi}{2N} \right] \\
 B &= \cos \left[\frac{(2m+1)v\pi}{2M} \right] \\
 n &= 0, 1, \dots, N-1 \\
 m &= 0, 1, \dots, M-1
 \end{aligned}$$

2-2. HVS의 선택과 DCT 부대역의 결정

식(2)를 적용하여 DCT를 수행하기 전 각 부대역 별로 인간의 시각 시스템특성에 잘 적응하는 대역을 결정하기 위한 영상의 통계적 특성을 산출하게 된다. 즉, 인간의 시각 특성에 잘 부합하면서 영상의 내용에 따른 적응적인 워터마크가 되도록 하여 워터마크 삽입 후 영상의 손상을 최대한 줄이면서 워터마킹의 강도를 조절 하는 계수분포를 선택하는 것이다 [6],[7].

고주파 대역에서의 영상의 손상이 덜 민감하다는 인간의 시각 특성을 이용하기 위한 방법으로 휘도 신호의 값과, 텍스처 분포 특성을 계산하였다. 각각의 정의 식은 다음과 같다. 그레이레벨의 명도를 산출할 수 있는 대비도함수(Contrast Sensitivity Function : CSF)는 다음과 같이 정의된다.

$$CSF = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \tag{3}$$

여기에서 I_{\max} 와 I_{\min} 은 설정된 영역에 대한 명암도의 최대값과 최소값이다. 또한 주어진 영역의

텍스처 등급(Texture Degree: TD) $c(B_k)$ 은 다음 식으로 정의된다.

$$\begin{aligned}
 c(B_k) &= \frac{1}{n^2} \sum_{(i,j) \in B_k} p(Ag_k) \cdot \frac{|x(i,j) - Ag_k|}{Ag_k} \\
 p(Ag_k) &= (1/Ag_k)^\alpha
 \end{aligned}$$

여기서 Ag_k 는 각 블록 영역의 평균 그레이 값이고 $p(Ag_k)$ 는 가중치 계수이고 α 는 상수로서 0.6 - 0.7이다. $c(B_k)$ 값이 적으면 블럭 B_k 가 부드러운 영상이고 이 값이 크면 텍스처나 예지가 많이 포함된 영상을 의미한다.

각 부대역별로 계산된 시각시스템의 통계적 특성이 계산된 후에는 워터마크를 삽입 할 최적의 부대역을 결정하여야 하는 바, 제안한 방법에서는 퍼지 추론 기법을 적용하였다.

DCT 변환 전에 부대역별로 시각시스템 특성분포를 계산하였다. 문제는 어느 계수분포 대역에 워터마크를 삽입하여야 강인성과 비가시성이 보증될 수 있는가이다. 기존에는 저주파와 고주파 대역을 제외한 중간주파수분포 대역에 임의로 설정된 대역들에 워터마크를 삽입하였다. 보다 합리적인 방법으로 워터마크가 삽입될 부대역을 설정하기 위해 퍼지 추론 기법을 적용하고자 하는 것이 제안한 접근 방법이다. 따라서 두 번째 단계로 각각의 변환계수 분포도에서 최적의 계수분포 대역을 구하기 위해 규칙기반의 퍼지추론 시스템을 설계하는 것이다.

퍼지 소속함수(Membership function)를 생성하기 위하여 먼저 식 (3), (4)를 이용하여 각 부대역의 텍스처 등급 및 대비도 함수의 최대 변화율을 구한다. 최대변화율이 퍼지추론을 위한 소속 함수의 대역으로 결정하고, 각 함수를 5등급으로 나누어 퍼지 입력 함수로 결정하며, 퍼지소속 함수로는 삼각형 형 함수를 이용한다. 퍼지 관계맵을 생성 할 때 중요한 것은 추론결과와 합리성과 추론 시간 등에 직접적인 영향을 주는 변수와 규칙수의 적절한 조합을 고려해야 하는데, 이는 규칙수를 결정하는 입력변수와 퍼지 소속변수를 어떻게 효과적으로 설계하는가가 추론 시스템의 성능에 관계되며 이는 전적으로 설계자

의 선형적 지식과 주관적인 논리에 근거하여 설계되기 때문이다[7],[8].

변수의 수를 n 개, 퍼지변수의 수를 m 개라 하면, 생성 할 수 있는 최대 제어규칙의 수는 m^n 개이다. 따라서 제안한 방법은 퍼지변수 $m = 5$ 이고 (PB, PM, ZE, NM, NB), 입력변수 n 은 텍스처 및 대비도 함수로 2개가 된다. 따라서 취할 수 있는 최대 제어 규칙 수는 $5^2 = 25$ 개다.

표 1은 텍스처와 대비도 파라미터를 퍼지추론 맵에 적용하여 추론 규칙을 생성한 것으로 제어변수 공간을 이분할 한 것이다. 따라서 대비도 값이 PM(Positive Medium)이고, 텍스처 정도가 ZE(Zero)이면 해당영역은 워터마크 삽입이 가능한 영역(P: Positive)으로 판정하게 되고, 대비도 값 NM(Negative Medium)이고, 텍스처 정도가 NB(Negative Big)이면 해당영역은 워터마크 삽입이 불가능한 영역(N: Negative)으로 판정하게 된다.

표 1. 워터마크 삽입영역 결정을 위한 퍼지추론 맵
Table 1. Fuzzy inference map for watermark embedding.

HVS		CSF				
		NB	NM	ZE	PM	PB
TD	NB	N	N	N	N	P
	NM	N	N	N	N	P
	ZE	N	N	N	P	P
	PM	N	N	P	P	P
	PB	P	P	P	P	P

DCT 계수로부터 워터마크가 삽입될 최적의 부대역을 결정하기 위한 퍼지추론 과정은 전체적으로 4 단계로 대별된다. 단계 1에서는 DCT 계수 블록의 실제단위(Practical unit)로부터 퍼지입력 변수인 가능성 단위(Possibility Unit)로 변환시키는 과정이다. 즉, 소속함수를 이용하여 각 입력요소들에 대한 퍼지 변수가 생성된다. 단계 2 및 단계 3 은 각각, IF ~ THEN 추론규칙의 조건부 IF 연산자와 귀결부 THEN 연산자를 해석하는 부분으로 규칙에 대한 충실도(Degree of fulfillment: DOF)를 산출하게 되며 단계 4는 비 퍼지화 과정으로 퍼지변수를 실제단위로 역 변환하는 과정이며, 각 단계별 알고리즘은 다음

과 같다.

```

/* Preprocessing ( Watermark generation & DCT ) */
. Original Image Size Set - 256*256
. Watermark Image Size Set - 32*32
. gain_factor (frequency)
. Midband setting
. PNS = Pseudo random number generation
. if Watermark padding(k) == 0 then
    Bi(i,j) = Bi(i,j) + gain_factor*PNS
/* Step 1( Data transformation ) */
. Calculate the Max. Min. Median values from DCT
coefficients
. IF Calculate is done then
  transform the fuzzyfied data
  else Do calculate.
. Generate a membership function
/* Step 2( LHS computation ) */
. Obtain the membership values
. Yield the degree of fullfillment(DOF)
/* Step 3( RHS computation ) */
. Implication aggregation
. Perform the implication computation
. Implication with Thresholding
/* Step 4( Defuzzification matching ) */
. Defuzzification is implemented
  using center of gravity
    
```

III. 실험 및 고찰

제안한 방법의 타당성 검토를 위하여 256*256 크기의 8 bit 명암도 영상과 32*32 로고 워터마크를 사용하여 실험을 수행하였다. 그림 1은 각각 실험에 사용된 실험영상으로 실험영상-1은 표준 이미지, 실험영상-2는 테스트 이미지 및 워터마크를 나타낸다.

워터마크의 요구조건인 비가시성과 강인성을 평가하기 위하여 원영상과 워터마크가 삽입된 영상으로부터 PSNR을 구하고, 또한 추출된 워터마크와 원영상과의 상관도를 구하여 성능을 평가하였다. 식 (5)는 PSNR의 정의식이며, 여기서 a는 원영상이고, b는 복원된 영상이다.

$$PSNR(a, b) = 10 \log_{10}(255^2 / K) [dB]$$

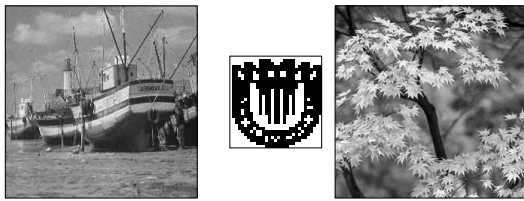
h e r e , (5)

$$K = \frac{1}{N \times M} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} [a(x, y) - b(x, y)]^2$$

또한 식 (6)은 원영상과 추출된 워터마크 영상의 상관도를 나타낸 것이다.

$$Corr. = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2 \sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2}} \quad (6)$$

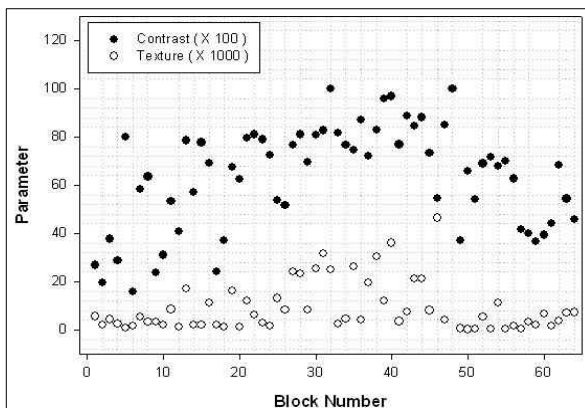
여기서, A = 원영상, B = 복원된 영상
 \bar{A} = A의 평균값, \bar{B} = B의 평균값



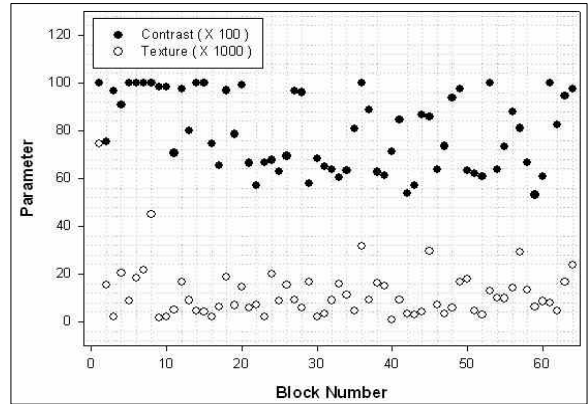
(a) 실험영상1 (b) WM (c) 실험영상2

그림 1. 실험영상
 Fig. 1. Experimental images; (a) test 1, (b) test 2.

그림 2(a), 2(b)는 각각 실험영상 (a) 와 (b)의 시각특성 파라미터를 구한 것으로 32*32부대역으로 분할된 영상의 대비도함수와 텍스처 정도의 분포를 나타낸다. 이들 분포특성을 기반으로 최대값과 최소값 사이를 5등분하여 추론을 위한 퍼지변수의 소속함수를 만들었다.



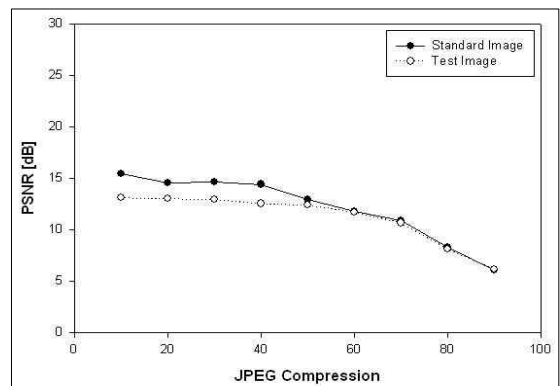
(a) 실험영상-1 에 대한 HVS 분포



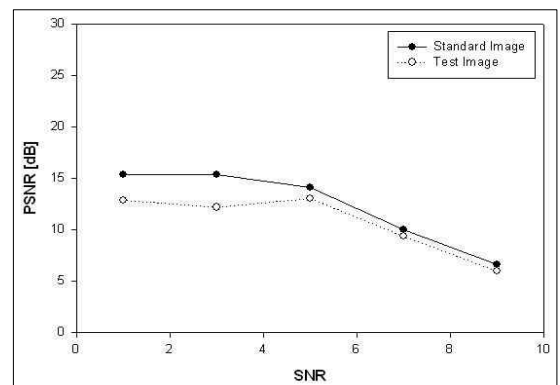
(b) 실험영상-2 에 대한 HVS 분포

그림 2. 실험영상에 대한 HVS 특성
 Fig. 2. HVS distribution in terms of experimental images.

제안한 방법을 이용하여 워터마크가 삽입될 최적의 부대역이 결정되면 선택된 부대역에 워터마크를 삽입하게 된다.



(a) JPEG 압축에 대한 PSNR








(b) OFDM/QPSK 시스템의 AWGN 채널환경에서의 PSNR

그림 3. 외부공격에 대한 비가시성 평가
 Fig. 3. PSNR evaluation in terms of attacks; (a) JPEG compression, (b) OFDM/QPSK system.

그림 3(a)는 실험영상에 대하여 JPEG 압축공격을 가한 후, PSNR을 측정 한 결과이며, 그림 3(b)는 전송을 고려한 잡음에 대한 워터마크의 비가시성 평가를 위하여 AWGN 채널환경에서의 OFDM/QPSK 시스템을 이용하여 영상전송을 수행한 후, PSNR을 구한 것이다. 강인성에 대한 실험에서는 샤프닝, 필터링, 부분삭제 등의 파괴 공격에 대하여 각각 PSNR과 상관관계를 측정하여 평가하였다 [표 2].

표 2. 다양한 공격유형에 대한 강인성 실험결과
Table 2. Experiments of robustness in terms of various types of attacks.

공격 성능	샤프닝	고주파 필터	저주파 필터	좌상단 1/4 삭제	내각 1/5삭 제
PSNR [dB]	27.74	23.47	24.07	30.65	31.12
Corr. (%)	96	90	89	97	98
추출된 워터마크					

IV. 결 론

본 논문에서는 변환 영역기반의 워터마킹 기법의 개선을 위하여 퍼지추론 기법을 접목함으로써 워터마크가 삽입될 최적의 부대역을 결정하는 방법을 제안하였다.

퍼지함수를 생성하기위하여 각 부대역의 텍스처 등급 및 대비도 함수의 최대 변화율을 구한 후, 최대변화율을 5등급으로 나누어 퍼지추론을 위한 소속함수를 생성하였다. 추론결과 선정된 블록에 워터마크를 삽입한 후, 비가시성과 강인성을 평가하였는 바, 외부공격으로는 JPEG 압축과 필터링, 절단 등을 고려하였고, 또한 AWGN 채널 환경에서의 OFDM/QPSK 시스템을 이용하여 영상전송을 수행한 후 PSNR을 구하여 평가하였다.

선정된 영역에 워터마크를 삽입한 후 PSNR과 상관도를 구한결과, 제안한 알고리즘은 손실 압축(JPEG)과 필터링, 절단, AWGN 잡음 등과 같은 공격 유형에 대하여 강인함을 보였다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. Tewfik, "Data Hiding for Video in Video and other Application," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Oct. 1997.
- [2] J. J. Chae and B.S. Manjunath, "A Robust Embedded Data from Wavelet Coefficients," *SPIE*, vol. 3312, 1997.
- [3] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, and A. Piva, "Copyright protection of digital images by embedded unperceivable marks," *Image and Vision Computing*, vol. 16, pp. 897-906, 1998.
- [4] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, A. Lippi and A. Piva, "A DWT-based technique for spatio-frequency masking of digital signatures," *SPIE Conf. on Visual Comm. and Image Processing*, vol. 3657, pp. 31-39, 1999.
- [5] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton and T. shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, 1997.
- [6] Chou Ting Hsu and Ja Ling Wu, "DCT-based watermarking for Video," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 44, no. 1, 1998.
- [7] H.H. Song and Y.H. Kim, "An adaptive digital watermarking using DWT and FIS," *Journal of Digital Contents Society*, vol. 5, no. 2.
- [8] J. Yen, L. A. Zadeh etal, *Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent System* IEEE Press, 1995.

김 윤 호 (金允鎬)



2005년 ~ 2006년 : Univ. of Auckland, NZ. Dept. of Computer Science, CITR Lab. Research Fellow.

1992년 ~ 현재 : 목원대학교 컴퓨터 공학부 교수, 멀티미디어기술사.

1992년 : 청주대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1986년 : 경희대학교 대학원 전자공학과(공학석사), IEEE, 대한전자공학회, 한국통신학회 정회원, 해양정보통신학회, 한국디지털컨텐츠학회, 한국향행학회 한국정보기술학회 종신회원, 이사

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 뉴로퍼지응용, 정보통신정책 등