
웨이브릿 편이변조 시스템에서 비트 전송률 향상 기법

정태일* · 이태오** · 유태경* · 김종남*** · 문광석*

An Improved Bit Transmission Rate Technique in the WSK

Tae-II Jeong* · Tae-Oh Lee** · Tae-Kyung Ryu* · Jong-Nam Kim*** · Kwang-Seok Moon*

이 논문은 중소기업청 산학연공동기술개발지원사업(선도형), 한국산업기술재단의
지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

요 약

본 논문에서는 디지털 통신에서 비트 전송율을 향상 시킬 수 있는 웨이브릿 편이 변조 시스템을 제안한다. 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템에서는 스케일링 함수(scaling function)를 1로, 웨이브릿(wavelet)을 0으로 할당하여 0과 1을 구분하였다. 제안한 방식은 스케일링 함수와 웨이브릿 그리고 이 두 신호를 반전시킨 4개의 반송파를 사용하여 변조한다. 즉, 웨이브릿은 00, 반전된 웨이브릿은 01, 스케일링 함수를 10, 반전된 스케일링 함수를 11로 할당하여 비트 전송률을 2배로 향상시키고자 한다. 복조시에는 4개의 상관기를 이용하여 원래의 2진 데이터(2비트)를 복원하였다. 모의실험 결과 제안한 방식이 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템에 비해 전송효율이 2배 향상되었음을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper presents WSK(wavelet shift keying) that can be improved to bit transmission rate in the digital communication. An algorithm of the conventional modulation is carried out that the scaling function and wavelet are encoded to 1(mark) and 0(space) for the input binary data, respectively. A new modulation technique that uses four carrier frequencies is proposed. Four carrier frequencies are defined as scaling function, inversed scaling function, wavelet, and inversed wavelet, which are encoded to 10, 11, 00 and 01 respectively. An algorithm of the proposed demodulation is decode to the original data using four correlation. As a results of simulation, we confirmed that the proposed method was improved to the performance at twice for the bit transmission rate.

키워드

디지털 통신, 웨이브릿 변환, 웨이브릿 편이 변조, 비트 전송률

Key word

Digital communication, Wavelet transform, WSK(wavelet shift keying), Bit transmission rate

* 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

접수일자 : 2009. 10. 30

** 동아대학교 전기공학과

*** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부(교신저자)

I. 서 론

기존의 대표적인 디지털 통신방식으로 진폭 편이 변조(ASK : Amplitude Shift Keying), 주파수 편이 변조(FSK : Frequency Shift Keying), 위상 편이 변조(PSK : Phase Shift Keying)가 있다. 진폭 편이 변조는 반송파(carrier frequency)의 진폭으로서 0과 1을 표현하는 방식이고, 주파수 편이 변조는 반송파의 주파수로서 0과 1을 표현하는 방식이다. 위상 편이 변조는 반송파의 위상으로서 0과 1을 표현하는 방식이다[1, 2].

이산 웨이브릿 변환은 수학적 이론의 발전과 더불어 음성 신호처리, 영상 신호처리 등 여러 분야 많이 응용되고 있다[3-7]. 연속 웨이브릿 변환이 정규 직교성을 지니지 않은 웨이브릿에 의한 연산이며, 따라서 역변환 과정이 복잡하며, 까다로운 허용 가능조건 및 경우에 따라 복원시 신호 또는 이미지의 미세한 정보손실이 불가피하다. 반면 이산 웨이브릿은 정규 직교성을 지니는 웨이브릿을 이용하여 신호의 완전한 복원이 가능하다. 연속 웨이브릿 변환이 신호 또는 이미지의 스케일 특성 분석을 위한 방법이라면, 이산 웨이브릿 변환은 정규직교 기저함수인 스케일 함수 $\phi(t)$ 와 이로부터 구해진 웨이브릿 $\psi(t)$ 을 이용하여 이미지 압축, 디지털 통신 등의 데이터 프로세싱에 응용된다[3]. 이러한 이산 웨이브릿 변환은 통신분야에서도 많이 응용되고 있다[4].

J.Olive 등[8]과 정 등[9]은 이산 웨이브릿을 이용한 웨이브릿 편이 변조방식을 제안하였다. 그리고 정[9]은 스케일링 함수와 웨이브릿을 이용한 잡음에 강인한 새로운 웨이브릿 편이 변조 시스템을 제안하였다. 이 방식은 후처리 과정이 필요한 단점이 있다. 또한 오[10]등은 [9]의 단점을 보완하기 위하여 2진 정합필터를 이용한 웨이브릿 편이변조 방식을 제안하였다.

본 논문에서는 스케일링 함수와 웨이브릿 그리고 이 두 신호를 반전시킨 4개의 반송파를 사용하여 변조한다. 즉, 웨이브릿은 00, 반전된 웨이브릿은 01, 스케일링 함수를 10, 반전된 스케일링 함수를 11로 할당하여 비트 전송률을 2배로 향상시키는데 그 목표를 둔다. 복조시에는 4개의 상관기(correlator)를 이용하여 원래의 2진 데이터(2비트)를 복원하였다. 모의실험 결과 제안한 방식이 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템에 비해 전송효율이 2배

향상되었다.

II. 관련이론

2.1 이산 웨이브릿 변환

(Discrete Wavelet Transform)

함수 $f(t)$ 가 $L^2(R)$ 에 속한다면, 함수 $f(t)$ 의 이중적분의 놈(norm)은 유한이며 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\|f(t)\|^2 = \left(\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt \right)^{1/2} < \infty \quad (1)$$

두 함수 $f(t)$ 와 $g(t)$ 가 각각 $L^2(R)$ 에 속하며, 두 함수의 내적이 다음과 같을 때 두 함수는 서로 직교(orthogonal)한다.

$$\langle f(t), g(t) \rangle = \int f(t)g(t-k)dt = \begin{cases} A, & k=0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

위 식에서 상수=1인 경우, 함수 $f(t)$ 와 $g(t)$ 는 정규 직교(orthonormal)라 정의한다.

이산 웨이브릿 변환에 있어서 함수의 직교성은 매우 중요한 의미를 가진다. 함수 $f(t)$ 는 정규직교 기저인 스케일 함수 $\phi_k(t)$ 를 이용하면 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$f(t) = \sum_k a_k \phi_k(t), \quad a_k = |a_k|^2 < \infty \quad (3)$$

이산 웨이브릿 변환은 위의 식(3)을 기반으로 정의된다. 즉, 이산 웨이브릿 변환은 정규직교 기저인 스케일 함수 $\phi_j(t)$ 와 웨이브릿 $\psi_j(t)$ 를 이용하여 함수 $f(t)$ 를 표현하는 방법이다. 정규 직교 기저를 이루는 웨이브릿은 다음과 같이 정의한다.

$$\psi_{jk} = 2^{j/2} \psi(2^j t - k), \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (4)$$

따라서 정규 직교 기저 웨이브릿을 이용한 웨이브릿 변환은 다음과 같이 정의한다[3].

$$W_{jk} = \langle f(t), \psi_{jk}(t) \rangle \tag{5}$$

2.2 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템

기존의 WSK에서는 2개의 반송파 대신 스케일링 함수와 웨이브릿을 사용하며, 그림 1에서처럼 2진 입력에 대하여 1일 때는 버퍼에 스케일링 함수를 할당하고, 0일 때는 웨이브릿을 할당하며, 이를 수식으로 표현하면 식 (6)과 같다[9,10].

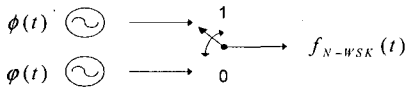


그림 1. 기존의 웨이브릿 편이 변조 알고리즘
Fig. 1 An algorithm of the conventional WSK

$$f_{N-WSK}(t) = \begin{cases} s_1(t) = \phi(t) & 0 \leq t \leq T, \text{ 1인 경우} \\ s_0(t) = \psi(t) & 0 \leq t \leq T, \text{ 0인 경우} \end{cases} \tag{6}$$

III. 제안한 웨이브릿 편이 변조 시스템

본 논문에서는 스케일링 함수와 웨이브릿 그리고 이 두 신호를 반전시킨 4개의 반송파를 사용하여 변조한다. 즉, 웨이브릿은 00, 반전된 웨이브릿은 01, 스케일링 함수를 10, 반전된 스케일링 함수를 11로 할당하여 비트 전송률 (bit transmission rate)이 2배로 향상되는 새로운 웨이브릿 편이 변조 시스템을 제안한다. 복조시에는 4개의 상관기(correlator)를 이용하여 원래의 2진 데이터(2비트)를 복원함으로써 고속 복원이 가능하다.

3.1 변조기 알고리즘

기존의 웨이브릿 편이 변조에서는 스케일이 1인 경우 (X=1)이고, 제안한 방법인 X2인 경우로서 4진(00, 01, 10, 11) 데이터가 변조된다. 기존의 WSK에서는 2개의 반송파를 사용하였으나, 제안한 방법은 2개의 반송파 대신

스케일링 함수와 웨이브릿, 이들의 반전 함수를 사용하며, 이를 그림 2에 나타내었다. 여기서 4진 입력에 대하여 00일 때는 버퍼에 웨이브릿을, 01일 때는 반전된 웨이브릿을, 10일 때는 스케일링 함수를, 11일 때는 반전된 스케일링 함수를 할당한다.

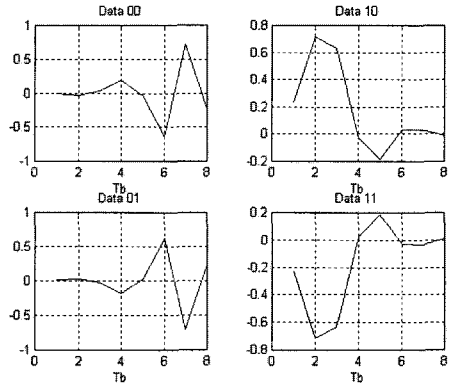


그림 2. 4개의 반송파
Fig. 2 Four carrier frequencies.

제안한 방법의 변조기 알고리즘을 그림 3과 4에 나타내었다. 제안한 방법은 4개의 반송파를 사용하여 스케일이 2인 경우이다. 2진 입력 데이터는 변조를 조절하는 스케일 당 비트 수로 변환되어 진다. 스케일링 함수와 반전된 스케일링 함수, 웨이브릿과 반전된 웨이브릿 신호가 발생되고, 매 스케일된 버전은 스케일링 층(scaling layer)에서 구동되어 진다.

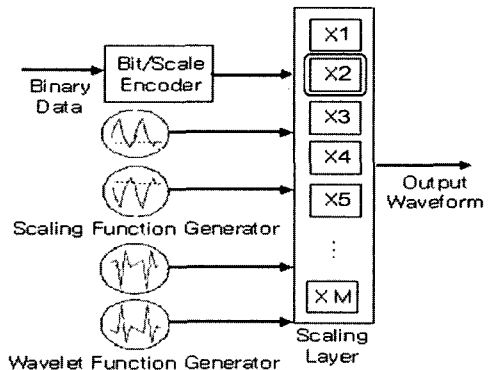


그림 3 제안한 방법의 변조기
Fig. 3 The proposed modulator

제안한 방법의 변조기 알고리즘은 그림 4와 같다. 기존의 2개의 반송파 대신 스케일링 함수와 웨이브릿, 이들의 반전 함수를 사용한다. 여기서 4진 입력에 대하여 00일 때는 버퍼에 웨이브릿을, 01일 때는 반전된 웨이브릿을, 10일 때는 스케일링 함수를, 11일 때는 반전된 스케일링 함수를 할당하며, 이를 수식으로 표현하면 식(7)과 같다.

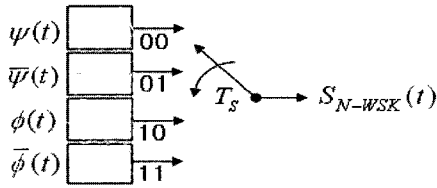


그림 4. 제안한 웨이브릿 편이 변조 알고리즘

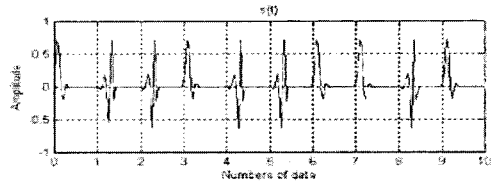
Fig. 4 An algorithm of the proposed WSK

$$S_{V-WSK}(t) = \begin{cases} s_{00}(t) = \psi(t) & 0 \leq t \leq T, \text{ 00인 경우} \\ s_{01}(t) = \bar{\psi}(t) & 0 \leq t \leq T, \text{ 01인 경우} \\ s_{10}(t) = \phi(t) & 0 \leq t \leq T, \text{ 10인 경우} \\ s_{11}(t) = \bar{\phi}(t) & 0 \leq t \leq T, \text{ 11인 경우} \end{cases} \quad (7)$$

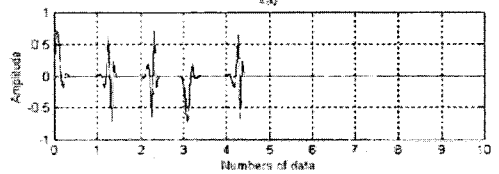
3.2 복조기 알고리즘

2진 입력 데이터가 1001001101일 때의 파형을 그림 5에 나타내었다. 여기서 (a)는 기존의 방법으로 변조한 파형이며, 그림 (b)는 제안한 방법으로 (10)(01)(00)(11)(01)일 때의 파형이다. 1주기당 2비트씩 변조하므로 비트 전송률이 2배가 향상됨을 알 수 있다. 그림 (c)는 그림 (b)와 같은 그림으로서 전체 주기를 반으로 하여 표현하였다. 본 논문에서는 그림 (c)와 같이 표현한다. 예를 들면, 20개의 입력 데이터는 10개의 주기(10개의 파형)로 표현한다.

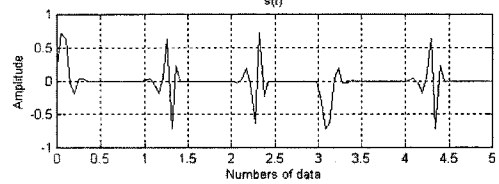
제안한 방법의 복조기는 그림 6과 같이 상관기 4개를 사용하였다. WSK 신호에 백색잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)이 섞인 신호(S(t) + n(t))가 수신기의 입력에 인가된다. 이때 파형은 그림 7의 아래 그림과 같다. 여기서 입력 데이터는 (01)(10)(11)(10)(01)(00)(01)(10)(11)(01)이므로 20bit 이다. S(t) + n(t) 신호에 각각의 반송파를 곱하고 1주기(Ts) 동안 적분하여 최대값을 선택하면 원래의 신호를 복원할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 입력이 1001001101일 때 파형 (a) 기존의 방법 (b) 제안한 방법 (c) 제안한 방법 Fig. 5 The input wavelet(1001001101)

(a) The conventional method (b) The proposed method (c) The proposed method

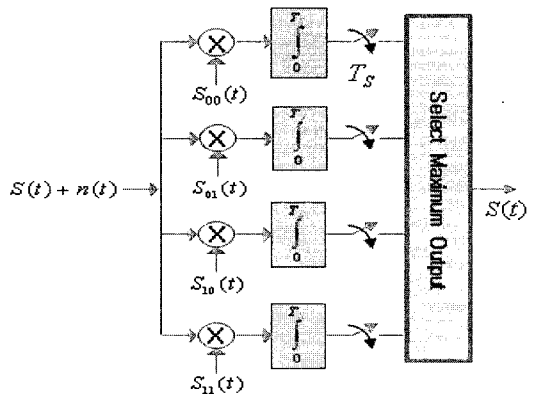


그림 6. 제안한 방법의 복조기 Fig. 6 The proposed demodulator

그림 8은 그림 6과 관련된 그림으로서, 각각의 상관기에 대한 출력파형을 나타내었다. 여기서 동일한 주

기(T_s) 동안 4개의 출력 중 최대값을 선택하면 A/D 변환과정을 거치면 원래의 2진 데이터를 복원할 수 있다.

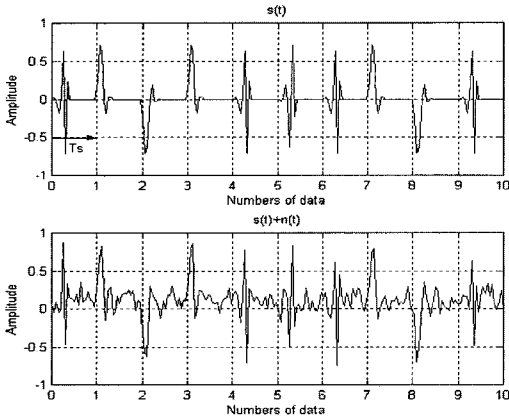


그림 7. 원래의 신호(상)와 잡음이 섞인 신호(하)
Fig. 7 Original signal (upper) and noised signal(bottom)

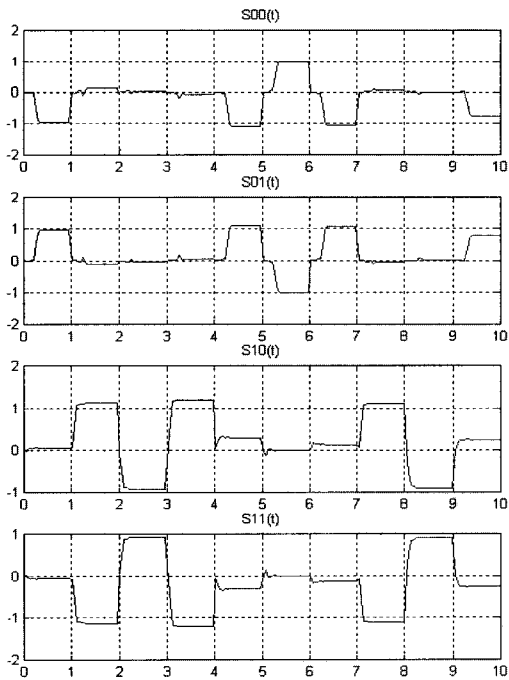


그림 8. 상관기에서 출력파형
Fig. 8 Output waveform in the correlation

IV. 모의실험 및 결과

본 논문에서 사용한 웨이브릿은 Daubechies 4-탭(8개의 계수 값)을 사용하였다. 모의실험은 PC상에서 Matlab 프로그램을 사용하였으며, 백색잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)을 생성하기 위하여 randn() 함수를 사용하였다.

그림 9(위)는 원래신호 (01)(10)(11)(10)(01) (00)(01)(10)(11)(01)를 나타내고, 그림 9(가운데)는 원래의 신호에 AWGN이 첨가된 신호를 나타낸다. 그림 9(아래)는 그림 6의 복조기를 사용하여 얻은 최종출력 데이터를 나타내었다. 여기서 원래의 신호 20bit (01)(10)(11)(10)(01)(00)(01)(10)(11)(01)이 완전하게 복원됨을 알 수 있다.

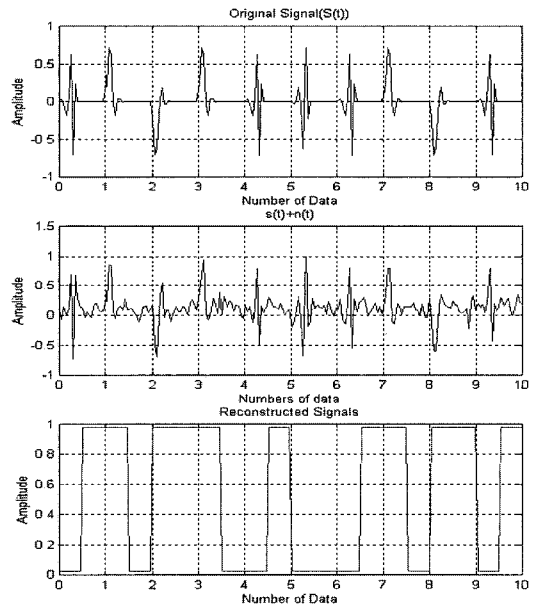


그림 9. 복원된 출력 파형(20bit)
Fig. 9 Decoded data(20bit)

V. 결론

기존의 웨이브릿 편이 변조 방식에서는 1비트만 변조하여 전송하기 때문에 전송효율이 떨어진다. 본 논문에서는 디지털 통신에서 웨이브릿을 00으로, 반전된 웨이브릿을 01로, 스케일링 함수를 10으로, 반전된 스케일링

함수를 11로 2비트씩 할당하여 비트 전송률을 개선하였다. 수신측에서는 4개의 상관기를 이용하여 원래 신호를 복원하는 새로운 웨이브릿 편이 변조 시스템을 제안하였다. 모의실험 결과 복조과정에서 원래 신호를 완전하게 복조하였고, 제안한 알고리즘이 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템보다 비트 전송효율이 2배 개선되었음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 신윤기, *매트랩과 함께하는 통신이론*, 인터뷰전, 2005.
- [2] 양원영, 조용수, *디지털 통신과 Matlab*, 대영사, 2001.
- [3] 이승훈, 윤동환, *웨이브릿 변환 이론 및 적용*, 보성각, 2004.
- [4] N.J Fliege, *Multirate Digital Signal Processing*, JOHN WILEY & SONS, 1994.
- [5] C.Sidney, Ramesh A.Gopinath, and Haitao Guo, *Introduction to Wavelet and Wavelet Transforms*, Prentice-Hall, 1998.
- [6] F.C.A. Fernandes, R.L.C. van Spaendonck, and C.S. Burrus, "A new Framework for Complex Wavelet Transforms," *IEEE Trans., Signal Processing*, vol. 51, pp.1825-1837, July 2003.
- [7] Yu Liu and King Ngi Ngan, "Weighted Adaptive Lifting-Based Wavelet Transform for Image Coding," *IEEE Trans., Image Process.*, vol. 17, pp.500-511, April 2008.
- [8] J.Olive, R.Shantha Selva Kumari, and V.Sadasivam, "Wavelet for Improving Spectral Efficiency in a Digital Communication System," *ICCIMA '05, IEEE*, 2005.
- [9] 정태일, "스케일링 함수와 웨이브릿을 이용한 잡음에 강인한 새로운 웨이브릿 편이변조 시스템" *신호처리 시스템 학회 논문지*, 제9권, 2호, pp.98-103, 2008
- [10] 오형진, 정태일, 이태오, "2진 정합필터를 이용한 웨이브릿 편이변조 시스템", *한국해양정보통신학회 논문지*, 제12권 11호, pp.1933-1938, 2008.

저자소개



정태일(Tae-Il Jeong)

1995년 부경대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 부경대학교 전자공학과 (공학석사)

2001년 부경대학교 전자공학과(공학박사)

2000.3~2009.2 동명대학교 정보통신대학 정보통신공학과 전임

※ 관심분야 : 신호처리, 멀티미디어 통신



이태오(Tae-Oh Lee)

1997년 한국해양대학교 전자통신공학과(공학사)

1999년 한국해양대학교 전자통신공학과(공학석사)

2003년 한국해양대학교 전자통신공학과(공학박사)

2000.3~2009.2 동명대학교 정보통신대학 컴퓨터공학과 전임

※ 관심분야 : 위성 및 선박통신, 네트워크, 신호처리, GPS



유태경(Tae-Kyung Ryu)

1997년 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2000년 부경대학교 전자공학과 석사(공학석사)

2008년 부경대학교 전자공학과 박사(공학박사)

※ 관심분야 : 영상신호처리, 멀티미디어 통신 등



김종남(Jong-Nam Kim)

1995년 국립금오공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 광주과학기술원 정보통신공학과석사(공학석사)

2001년 광주과학기술원 기전공학과 박사(공학박사)

2001년 8월~2004년 2월 KBS 기술연구소 선임연구원

2004년 4월~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

2003년 3월~현재 (주)홈캐스트 사외이사

※ 관심분야 : 영상신호처리, 멀티미디어 보안 등



문광석(Kwang-Seok Moon)

1979년 2월 경북대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1981년 경북대학교 전자공학과
석사(공학석사)

1989년 경북대학교 전자공학과 박사(공학박사)
1988년 1월~12월 일본 동경대학교 학부 연구원
1997년 8월~1998년 7월 미국 Jackson State University
 객원교수
1990년 3월~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신
 공학부 교수
※관심분야: 영상신호처리, 적응신호처리등