
2진 정합필터를 이용한 웨이브릿 편이변조 시스템

오형진* · 정태일* · 이태오**

Wavelet Shift Keying System Using a Binary Matching Filter

Hyoun-Jin Oh*, Tae-Il Jeong*, Tae-Oh Lee**

요 약

기존의 대표적인 디지털 통신방식으로 주파수 편이 변조(FSK: Frequency Shift Keying), 위상 편이 변조(PSK: Phase Shift Keying), 진폭 편이 변조(ASK: Amplitude Shift Keying) 방식들이 있다. 본 논문에서는 디지털 통신에서 2진 정합필터를 이용하여 웨이브릿 편이변조 신호를 복원하는 알고리즘을 제안한다. 웨이브릿 편이 변조 시스템은 스케일링 함수(scaling function)와 웨이브릿(wavelet)을 이용한다. 스케일링 함수를 1로, 웨이브릿 함수를 0으로 할당하여 2진 데이터를 변조한다. 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템에서는 복원을 위해 후처리가 필요하였다. 본 논문에서는 웨이브릿 편이 변조 수신기에서 2진 정합필터를 이용하여 웨이브릿 편이 변조 신호를 복원한다. 그래서 별도의 후처리 과정 없이 복원이 가능 하였다. 모의실험 결과 제안한 알고리즘이 타당함을 확인하였다.

ABSTRACT

There are the frequency shift keying(FSK), phase shift keying(PSK) and amplitude shift keying(ASK) in the conventional digital communications method. In this paper, We proposed the algorithm for wavelet shift keying system using a binary matching filter in the digital communication. Wavelet shift keying system are used to a scaling function(low frequency) and wavelet(high frequency) coefficients. The binary data is encoded by modulator which assigned the scaling function to 1(one), and wavelet to zero(0). Wavelet shift keying of the conventional method needs to a post-processing for the decoding. In this paper, wavelet shift keying signal is reconstructed by the decoder using a binary matching filter. So, it was able to the decoding without the post-processing. It was demonstrated by the experiment that the proposed algorithm is a validity.

키워드

Frequency Shift Key, Scaling Function, Wavelet, Wavelet Shift Key

I. 서 론

웨이브릿 변환은 음성 신호처리, 영상 신호처리 등 여러 분야 많이 응용되고 있다[1-4]. 웨이브릿 변환은 임의의 입력 신호에 대하여 스케일링 계수와 웨이브릿 계수를 내삽(convolution)함으로써 스케일링 함수와 웨이브

릿 함수를 구할 수 있다. 이러한 웨이브릿 변환은 통신 분야에서도 많이 응용되고 있다.[5-7].

기존의 대표적인 디지털 통신방식에는 ASK, FSK, PSK가 있다[8,9]. J.Olive[10] 등은 모(mother) 웨이브릿을 반송파로 사용하여 위상 편이 변조하는 방식을 제안하였다. 그리고 정[11]과 오[12]등은 스케일 함수와 웨이

* 동명대학교 정보통신대학 정보통신공학과

** 동명대학교 정보통신대학 컴퓨터공학과

브릿을 이용한 웨이브릿 편이 변조(WSK : Wavelet Shift Keying)방식을 제안하였다.

정[11]이 제안한 방식은 저주파 계수(low frequency coefficients)와 고주파 계수(high frequency coefficients)를 이용하여 입력이 1인 신호에 대하여 임펄스 응답을 구하면, 스케일링 함수와 웨이브릿 함수로 나누어진다. 2진 데이터 통신에서 0과 1을 구분하면 되므로, 기존의 주파수 편이 변조와 같은 개념으로서, 스케일링 함수를 1로, 웨이브릿 함수를 0으로 할당하여 2진 데이터를 변조한다. 이 시스템에서는 잡음에 강하게 하고, 원활한 복원을 위해 변조신호를 증폭하는 후처리 과정이 필요하였다.

본 논문에서는 웨이브릿 편이 변조 시스템을 2진 정합필터를 사용하여 후처리 과정 없이 원래의 2진 데이터를 복원할 수 있는 시스템을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 주파수 편이 변조를 중심으로 살펴보고, 웨이브릿을 소개한다. 3장에서는 제안한 복조 알고리즘을, 4장에서는 모의실험 및 결과, 5장은 결론으로 구성되어 있다.

II. 관련연구

2.1 기존의 통신 방식

기존의 대표적인 디지털 통신 방식으로는 진폭 편이 변조, 위상 편이 변조, 주파수 편이 변조가 있다. 진폭 편이 변조는 반송파의 진폭으로서 2진 데이터를 구분하는 방식이다. 즉, 반송파의 진폭이 크면 1, 진폭이 작으면 0을 할당한다. 위상 편이 변조방식은 반송파의 위상으로서 2진 데이터를 구분하여 전송하는 방식이다. 즉, 반송파의 위상을 그대로 전송하면 1, 위상을 반전시켜 전송하면 0을 할당한다.

주파수 편이 변조방식은 2개의 반송파의 주파수로서 2진 데이터를 구분하는 전송하는 방식이다.

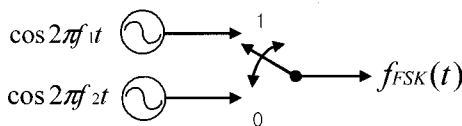


그림 1. 주파수 편이 변조
Fig. 1. FSK(Frequency Shift Keying).

즉, 반송파의 주파수가 높으면 1, 주파수가 낮으면 0으로 할당한다.

그림 1은 주파수 편이 변조의 개념을 나타낸다. 여기서 2개의 서로 다른 주파수 즉, f_1, f_2 가 필요하다.

주파수 편이 변조에 대한 정의식은 수식 (1)과 같다.

$$f_{FSK}(t) = \begin{cases} s_1(t) = A \cos(2\pi f_1 t) & 0 \leq t \leq T, 1 \text{인 경우, (1)} \\ s_2(t) = A \cos(2\pi f_2 t) & 0 \leq t \leq T, 0 \text{인 경우} \end{cases}$$

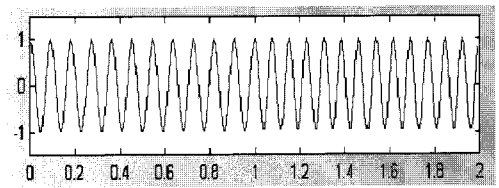


그림 2. 주파수 편이 변조 파형
Fig. 2. Waveform of frequency shift keying.

그림 2는 주파수 편이 변조의 예를 나타내었다. 여기서 f_2 는 0에서 1초 구간 사이로서 11Hz를 나타내고, f_1 은 1에서 2초 구간 사이로서 13Hz를 나타낸다. 만약 1초에서 동기가 정확하게 맞지 않으면, 수신측에서 완전한 복조는 어렵다. 이와 같이 기존의 통신방식들은 동기를 맞추기 위하여 PLL(Phase Lock Loop)회로와 같은 부가 회로가 필요하다.

2.2 웨이브릿 변환(Wavelet Transform)

웨이브릿 변환에서의 기저함수들은 원형 웨이브릿을 편이(translation) 및 확장/수축(dilation)을 시킴으로서 만들어진다. 이에 대한 웨이브릿 기저함수들의 선형결합은

$$\psi_{m,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad b \in R, a \neq 0 \quad (2)$$

이다. 여기서 $\psi(\cdot)$ 는 웨이브릿을 나타내고, a 는 웨이브릿을 확장/수축시키는 스케일링 변수이고, b 는 이동을 나타내는 편이변수이다. 어떤 신호 $f(t)$ 에 대한 웨이브릿 변환은

$$Wf(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad b \in R, a \neq 0 \quad (3)$$

로 정의된다. 여기서 매개변수 a, b 가 정수일 때 이산 웨이브릿 변환이라고 하였다. 특히 $a = 2^m, b = n2^n$ 일 때 정규기저직교를 구성할 수 있고, 기저함수는

$$\begin{aligned} \psi_{m,n}(t) &= 2^{m/2} \psi(2^m t - n) \\ \phi_{m,n}(t) &= 2^{m/2} \phi(2^m t - n) \end{aligned} \quad (4)$$

가 된다.

주어진 스케일링 함수의 평행이동과 척도변환을 이용해 생성한 $\psi_{m,n}(t)$ 에 의해 생성한 벡터공간을 V_m 이라 하면 $\psi_{m,n}(t)$ 는 V_{m-1} 에서 V_m 의 직교 보수 공간(orthogonal complement space) W_m 의 직교기저를 이룬다.

$$V_{m-1} = V_m \oplus W_m, \quad W_m \perp V_m \quad (5)$$

이때 스케일링 함수 $\phi(t)$ 와 웨이브릿 함수 $\psi(t)$ 는

$$\phi(t) = \sqrt{2} \sum_n h_0(n) \phi(2t - n) \quad (6)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_n h_1(n) \psi(2t - n) \quad (7)$$

이다. 여기서 $h_0(n)$ 및 $h_1(n)$ 는 스케일링 함수 및 웨이브릿의 필터계수(filter coefficients)이다.

III. 제안한 2진 정합필터 복조 시스템

3.1 기존의 WSK 변조기 알고리즘

변조 알고리즘은 정[11]이 제안한 WSK 변조 알고리즘을 사용하였다. 그림 3에서는 변조기에 사용된 스케일링 함수(1)와 웨이브릿 함수(0)를 나타내었다. 스케일링 함수는 $\sum_n h_0(n) = 1.141$ 이고, 웨이브릿은 $\sum_n h_1(n) = 0$ 인 특성을 가진다.

변조기 알고리즘은 그림 4와 같다. 2진 입력 데이터는 변조를 조절하는 스케일 당 비트 수로 변환되어 진다. 스케일링 함수와 웨이브릿 함수는 발생되어지고 매 스케일된 버전은 스케일링 층(scaling layer)에서 구동되어 진다. 즉, X1인 경우, 2진(0,1) 데이터가 변조되고, X2인 경우, 4진(00,01,10,11) 데이터가 변조된다. 여기서 X1, X2, X3 ... XM은 스케일링 요소(scaling factor)를 나타낸다.

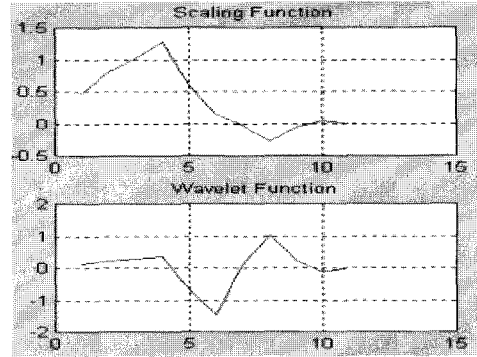


그림 3. 스케일링 함수와 웨이브릿
Fig. 3. Scale function and wavelet.

X1(1비트 스케일)일 때, 입력 데이터가 0이면 버퍼에 스케일링 함수를 할당하고, 1일 때는 웨이브릿 함수를 할당한다. X2일 때는 4진 데이터 00, 01, 10, 11로 변조가 가능하다. 본 논문에서는 스케일링 요소는 X1, 즉 1비트 스케일(2진)로 가정하였다.

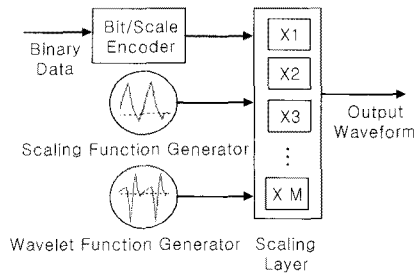


그림 4. 기존의 방법의 변조기
Fig. 4. Conventional method.

3.2 제안한 복조기 알고리즘

기존의 WSK 복조기는 신호의 복원을 위해 수신신호를 10배 증폭하는 후처리 과정이 필요하였다. 본 논문에서는 2진 정합필터를 이용하여 후처리 과정 없이 WSK 신호를 복원할 수 있는 시스템을 제안한다.

그림 5에서는 본 논문에서 제안한 2진 정합필터 수신기를 나타내었다. $S(t)$ 는 정합필터에 입력되는 데이터를 뜻하며 $n(t)$ 는 입력 데이터에 첨가된 가우시안 분포를 갖는 백색잡음 신호이다. $S_i(t)$ 는 데이터가 1인 경우의 신호, $S_0(t)$ 는 데이터가 0인 경우의 신호를 나타낸다.

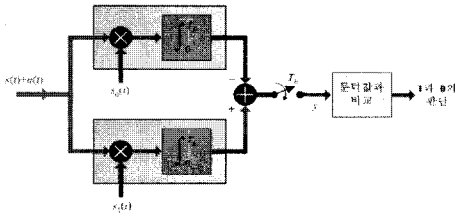


그림 5. 복원에 사용된 2진 정합필터
Fig. 5. Proposed a binary filters.

복원에 사용된 2진 정합필터의 출력과정을 수식으로 나타내면 식(8)과 같다.

입력이 $s_0(t)$ 인 경우,

$$\int_0^{T_b} s_0 s_1 dt - \int_0^{T_b} s_0^2 dt = (s_1 - s_0) s_0 T_b$$

입력이 $s_1(t)$ 인 경우,

$$\int_0^{T_b} s_1^2 dt - \int_0^{T_b} s_1 s_0 dt = (s_1 - s_0) s_1 T_b \quad (8)$$

과 같다.

그림 6은 2진 입력 데이터가 1100101101일 때의 출력 파형과 2진 정합필터를 통과한 파형을 나타내었다. 여기서 스케일링 함수와 웨이브릿 함수가 서로 직교하고 이산적이기 때문에 동기를 쉽게 찾을 수 있다.

복원과정은 비동기식으로 구현이 가능하며, 그림 6과 같이 가능한 이유는 $\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) dt = 1$ 이고, $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$ 인 웨이브릿 고유의 특징과 표본순간의 신호 대 잡음비를 최대로 하기 위해 파형의 조작에 사용되는 필터인 2진 정합필터를 사용함으로써 후처리 과정 없이 웨이브릿 편이 변조 신호의 복원이 가능하였다.

수신측에서 원래의 신호를 복원하기 위해서 그림 7과 같은 알고리즘을 사용하였다. 즉, 수신측에서는 전송되어온 정보를 2진 정합필터에 입력한다. 2진 정합필터에 입력받은 데이터가 마지막이 될 때까지 그림 6에서의 T_b 주기 동안 계수들의 평균값을 구하고, 문턱치(threshold)와 비교하여 문턱치보다 크면 1로 판단하고, 문턱치보다 작으면 0으로 판단함으로써 원래의 신호를 복원할 수 있다. 이 과정을 입력 받은 데이터의 크기만큼 반복하면 원래의 신호를 복원할 수 있다. 이러한 복조기 과정을 그림 8에 나타내었다.

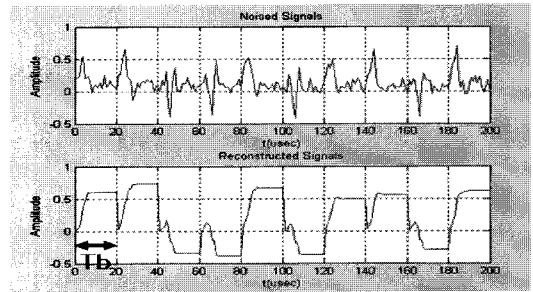


그림 6. 부호화된 신호의 출력파형
Fig. 6. Waveform of the encoded signals.

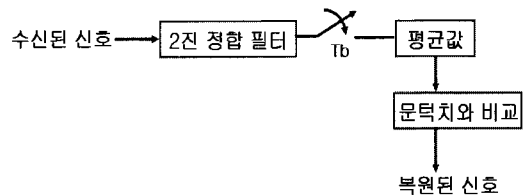


그림 7. 복원 알고리즘
Fig. 7. Decoding Algorithm.

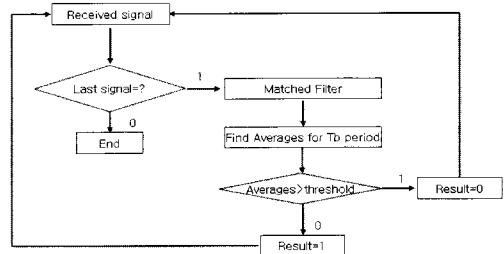


그림 8. 복원 순서도
Fig. 8. The flowchart of the decoding.

IV. 모의실험 및 결과

본 논문에서 사용한 웨이브릿은 Daubechies 4-탭과 매트랩을 사용하여 모의실험을 수행하였다. 스케일링 함수와 웨이브릿 함수를 만들기 위하여, 먼저 입력이 1인 신호에 대하여 임펄스 함수를 구한다. 여기서 4개의 탭 계수가 출력된다. 출력된 계수들을 내삽(Interpolation)하면 7개의 탭 수가 되고, 다시 원래의 4-탭과 내삽(convolution)하였다. 논문에 사용된 스케일링 함수와 웨이브릿 함수의 계수(coefficient)의 크기는 10개(M+N-1)

를 사용하였다. 여기서 M은 도비치 4-램이고, N은 내삽된 계수들의 갯수이다.

그림 9는 원래신호에 백색잡음(white gaussian noise)을 첨가한 신호를 나타내었다. 이는 통신채널에서 발생할 수 있는 잡음을 고려한 것이다.

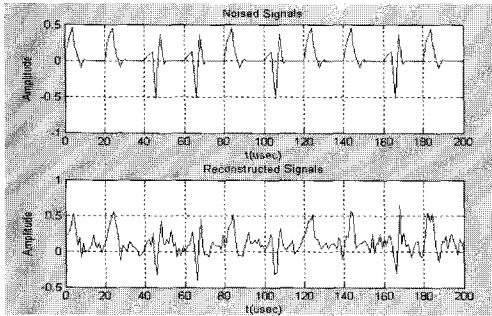


그림 9. 잡음이 첨가된 신호
Fig. 9. Noised signals.

수신측에서 원래의 신호를 복원한 모의실험 결과를 그림 10에 나타내었다. 여기서 문턱치는 0로 모의실험하였다. 그림 10에서 가장 위의 신호는 수신측에 전송된 신호로서 1100101101에 잡음이 인가된 신호이다. 가운데 그림은 2진 정합필터를 통과한 후의 파형이며, 가장 아래쪽의 그림은 마지막으로 복원된 신호를 나타낸다. 그림에서 크기가 0.3으로 표현된 것이 원래의 신호가 0인 경우이다. 이는 그림 10에서 수신된 데이터 계수와 원만한 비교를 위해, x축을 확장하는 과정에서 임의로 생긴 0과 구분하기 위해서이다. 여기서 2진 데이터 1100101101이 복조됨을 알 수 있고, 2진 정합필터의 출력파형으로 잡음에 강인함을 알 수 있다.

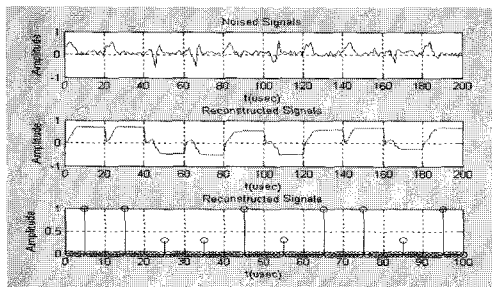
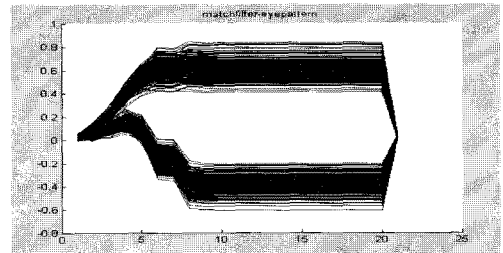
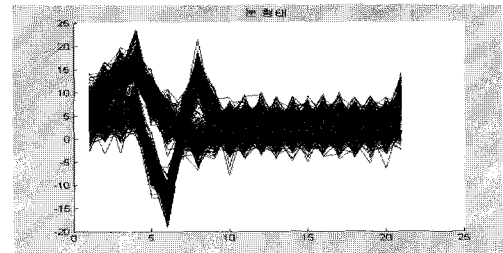


그림 10. 복원된 신호.
Fig. 10. Decoded signal.

그림 11은 백색잡음을 첨가한 임의의 신호 500bit에 대해서 제안한 방법과 기존의 방법에 대한 눈 형태(eye pattern) 비교를 나타내었다. 눈 형태에서 본 논문에서 제안한 방법의 눈 형태의 눈이름(많이 열림)을 알 수 있다. 여기서 눈 형태가 크다는 것은 0과 1신호의 상관도가 낮아서 잡음에 강하다는 것을 의미한다. 아울러 2진 정합필터를 사용함으로써 후처리 과정이 필요 없음을 확인하였다.



(a) 제안한 방법
(a) Proposed method.



(b) 기존의 방법
(b) Conventional method

그림 11. 눈 형태
Fig. 11. Eye pattern.

V. 결 론

기존의 대표적인 통신방식으로 ASK, FSK, PSK 통신 방식들이 있다. J.Olive 등은 모(mother) 웨이브릿을 반송파로 사용하여 위상 편이 변조하는 방식을 제안하였다. 그리고 정과 오등은 스케일 함수와 웨이브릿을 이용한 웨이브릿 편이 변조(WSK)방식을 제안하였다. 본 논문에서는 디지털 통신에서 2진 정합필터를 사용하여 웨이브릿 편이 변조 신호를 복원하는 알고리즘을 제안하였

다. 문턱치를 0로 설정하여 모의실험 결과 복조과정에서 기존의 웨이브릿 편이 변조 시스템에 비해 별도의 후처리 과정을 거치지 않고, 2진 정합필터만으로 원래 신호를 완전하게 복원하였고, 눈 형태 그림에서 눈의 크기로 제안한 알고리즘이 잡음에 강인함을 확인하였다.

참고문헌

[1] M.Vetterli and C.Herley, "Wavelet and Filter Banks: Theory and Design," *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 40, no.9, Sept. 1992.

[2] M. Antonini, M.Barlaud, P.Mathieu, and I.Daubechies, "Image Coding Using Wavelet Transform," *IEEE Trans. Image Proc.*, vol. 1, no. 2, April 1992.

[3] T.D Bui and G.Y. Chen, "Translation Invariant Denoising Using Multiwavelets," *IEEE Trans. Signal Proc.* vol. 46, no. 12, pp.3414-3420, 1998.

[4] C.Sidney, Ramesh A.Gopinath, and Haitao Guo, *Introduction to Wavelet and Wavelet Transforms*, Prentice-Hall, 1998.

[5] Gregory W. Wornell, "Emerging Applications of Multirate Signal Processing and Wavelet in Digital Communication," *Proc. IEEE*, vol.84, no. 4, pp.586-603, April 1996.

[6] Fred Daneshgaran and Marina Mondin, "Bandwidth Efficient Modulation with Wavelets," *IEEE Electronics Letters*, vol.30, no. 15, pp.1200-1202, July 1994.

[7] N.J Fliege, *Multirate Digital Signal Processing*, JOHN WILEY & SONS, 1994.

[8] 양원영, 조용수, *디지털 통신과 Matlab*, 대영사, 2001.

[9] 신윤기, *매트랩과 함께하는 통신이론*, 인터비전, 2005.

[10] J.Olive, R.Shantha Selva Kumari, and V.Sadasivam, "Wavelet for Improving Spectral Efficiency in a Digital Communication System," *ICCIMA '05, IEEE*, 2005.

[11] 정태일, "스케일링 함수와 웨이브릿을 이용한 잡음에 강인한 새로운 웨이브릿 편이 변조시스템", *신호처리 시스템 학회 논문지*, 제 9권, 제 2호, pp.98-103, 2008.

[12] 오형진, 정태일, 이태오, "2진 정합필터를 이용한 웨이브릿 편이변조 시스템", *한국해양정보통신학회 추계종합학술대회 논문집*, 제12권 2호, pp.203-206, 2008

저자소개

오형진(Hyoung-Jin Oh)



2002년 현재 동명대학교 정보통신대학 정보통신공학과 학부 재학중

※관심분야: 신호처리, 멀티미디어 통신

정태일(Tae-II Jeong)



1995년 부경대학교 전자공학과(공학사)
1997년 부경대학교 전자공학과(공학석사)

2003년 부경대학교 전자공학과(공학박사)
현재 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~현재 동명정보대학교 정보통신대학 컴퓨터공학과 전임
※관심분야: 위성 및 선박통신, 네트워크, 신호처리, GPS