
Microwave 채널 환경에서 단일적응등화기를 이용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 성능 분석

안준배* · 양희진* · 조성언** · 오창현*** · 조성준****

Performance Analysis of OFDM/QPSK-DMR System Using One-tap Adaptive Equalizer over Microwave Channel Environments

Jun-Bae Ahn* · Hee-Jin Yang* · Sung-Eon Cho** · Chang-Heon Oh*** · Sung-Joon Cho****

요 약

본 논문에서는 마이크로웨이브 채널 환경에서 대역제한필터(BL-PSF)를 이용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 성능개선에 관한 연구를 수행하였다. 성능개선을 위해 단일적응등화기(one-tap adaptive equalizer)를 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 적용하였으며, 단일 반송파방식의 DMR 시스템과 BER 및 특성 곡선(signature curve) 성능을 비교분석하였다. 시뮬레이션 결과 마이크로웨이브 채널 환경에서 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 단일적응등화기를 적용한 경우, 부 반송파의 수가 16일 때 단일 반송파방식의 DMR 시스템보다 2 dB 이상의 페이드 마진을 갖는다. 그리고 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 부 반송파의 수가 많을수록 페이드 마진이 더욱 증가하여 성능이 향상 되는 것을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we have analyzed the performance enhancement of Orthogonal Frequency Division Multiplexing/Quadrature Phase Shift Keying Modulation-Digital Microwave Radio(OFDM/QPSK-DMR) system using Band Limited-Pulse Shaping Filter(BL-PSF) over microwave channel environments. For performance enhancement, the one-tap adaptive equalizer is adopted in the OFDM/QPSK-DMR system and than both BER and signature curve performance are compared with those of single carrier DMR system. Computer simulations confirm that the OFDM/QPSK-DMR system using 16 sub-carrier increase the fade margin about 2 dB over microwave channel environments and that of performance using one-tap adaptive equalizer is highly increased the fade margin as the number of sub-carriers is larger.

키워드

DMR system, OFDM, One-tap adaptive equalizer, Microwave channel, Band-limited pulse shaping filter

* (주)솔리테크

**순천대학교 정보통신공학부

***한국기술교육대학교 정보기술공학부

****한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부

1. 서 론

오늘날 다양한 정보매체의 발전으로 인해 무선 전송 시스템은 대용량에 적합한 디지털 시스템으로 진화하게 되었으며 고속의 대용량 전송 서비스에 적합한 OFDM 방식이 발전하게 되었다[1].

OFDM 방식은 무선 채널 환경에서 고속 데이터 전송 시 발생할 수 있는 주파수 선택적 페이딩에 대한 심각한 간섭 영향(ISI : Inter Symbol Interference)을 줄이기 위해 전송 대역폭을 여러 개의 부채널로 분할하여 동시에 전송하는 시스템이다[2]. 또한 base-band 단에서 IFFT/FFT 사용으로 변·복조를 수행할 수 있으며, 수신단에 사용되는 등화기의 구조를 간단하게 구현 할 수 있는 구조적인 장점을 가지고 있다[3]. 이러한 OFDM방식을 이용하는 DMR 시스템에서는 대부분 펄스 성형기법으로 windowing방식을 사용한다[4]. 그러나 잉여 데이터 등의 사용으로 전송효율이 떨어지는 문제점이 존재하므로 장거리용 마이크로웨이브 링크장비에는 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 windowing 방식 대신 대역제한필터(BL-PSF)를 사용하는 DMR 시스템에 대한 성능을 분석하고 시스템의 성능을 개선하기 위해 OFDM 특성을 이용한 단일적응등화기를 수신단에 적용하였다. 그리고 마이크로웨이브 채널 환경에서 단일 반송파방식의 DMR 시스템과 성능을 비교분석하였다. 본 논문의 구성은, 2장에서 대역제한필터를 적용한 OFDM/QPSK-DMR 시스템을 설명하고 3장에서는 단일적응등화기 알고리즘을 살펴본다. 그리고 4장에서는 단일적응등화기를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템과 단일 반송파방식의 DMR 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통하여 비교분석하였으며 마지막 5장에서는 성능분석결과를 바탕으로 결론을 맺는다.

II. OFDM/QPSK-DMR 시스템 모델

아래의 그림 1은 단일적응등화기와 대역제한필터를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 블록도를 나타낸다. 각 블록의 처리과정을 살펴보면, DMR 시스템으로 입력되는 2진 비트열 A는 QPSK mapping과정을 통해 변조된 후 직·병렬 변환기로 N개(IFFT 크기)의 심볼열을 병렬로 변환시킨다. IFFT 블록을 통해서 각 병렬 심볼에 부 반송파가 곱해지고 주파수 축 상에서는 스펙트럼 사이에 간

섭이 발생하지 않도록 증첩하여 배치시킨다. 단, 전송효율과 대역효율을 향상시키기 위해 별도의 guard interval(GI)과 cyclic extension(CE)을 삽입하지 않았으며, 대역제한필터의 사용으로 adjacent channel interference(ACI)를 감소시키기 위한 영삽입(ZI : Zero Insertion)을 하지 않았다. 따라서 FFT 블록을 OFDM 변조에 모두 사용할 수 있어 블록이용효율을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 위와 같은 처리과정을 거친 디지털 신호는 D/A (Digital to Analog)변환과정을 통해 수~수십 GHz의 반송파를 이용하여 무선 채널로 전송된다.

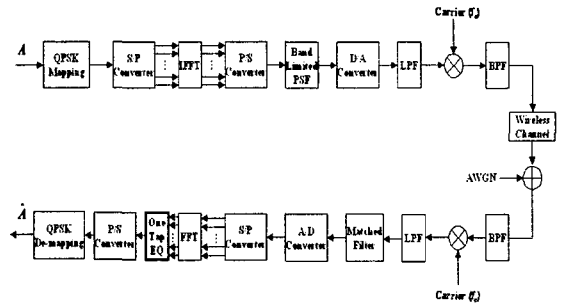
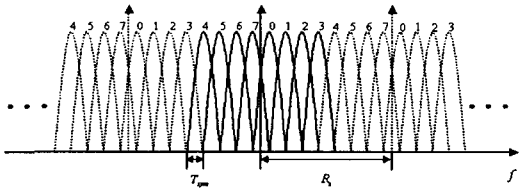


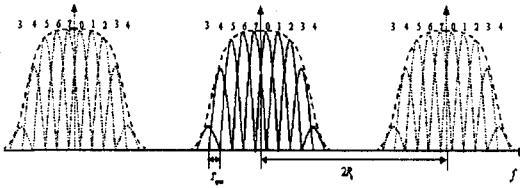
그림 1. 단일적응등화기를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템 블록도

Fig. 1 Block diagram of OFDM/QPSK-DMR system using one-tap adaptive equalizer

그림 1에서 사용된 대역제한필터는 스펙트럼 확산을 막아 전송대역을 제한하고 부호 간 간섭(ISI)을 경감시킬 수 있는 raised cosine filter를 사용하였다. 수신은 송신의 역 과정으로 처리되며, 적용된 단일적응등화기는 FFT 출력의 부채널마다 할당되어 각 채널의 페이딩 왜곡 특성을 보상시켜준다. 이와 같은 OFDM/QPSK-DMR 시스템 구조는 단일 반송파방식의 DMR 시스템 구조와 유사하고 기존 windowing 방식을 사용하는 OFDM 기반의 DMR 시스템보다 간단한 구조를 가지고 있는 것이 특징이다. 그림 2는 8-point IFFT 블록의 출력신호에 대한 주파수 스펙트럼과 대역제한필터를 통과한 OFDM 신호에 대한 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다. 이때 대역제한필터의 roll-off factor는 0.5로 설정하였으며 2배의 과샘플(over sample)을 수행한 경우이다.



(a) IFFT 출력 신호의 주파수 스펙트럼
(a) Frequency spectrum of the IFFT output signal



(b) 대역제한필터 출력 신호의 주파수 스펙트럼
(b) Frequency spectrum of the BL-PSF output signal

그림 2. BL-PSF를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 주파수 스펙트럼
Fig. 2 Frequency spectrum of OFDM/QPSK-DMR system using BL-PSF

III. 단일적응등화기

그림 3은 least mean square (LMS)기법을 이용하는 단일적응등화기의 구조를 나타낸다[5]. 등화기의 최적계수벡터(w : optimum weight vector)를 구하기 위해서 반복적인(iterative procedure)기법을 주로 사용하며, 아래의 그림과 같이 검파기를 통과한 데이터를 이용하여 결정 순환(decision feedback)과정을 통해 최적 계수벡터를 구한다[6].

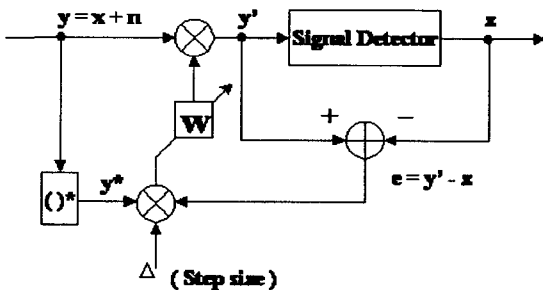


그림 3. LMS 알고리즘을 적용하는 적응 등화기
Fig. 3 Adaptive equalizer using LMS algorithm

그림 3에 대한 알고리즘 구성을 살펴보면, y 는 등화기로 입력되는 신호를 나타내고 y' 는 초기 계수(weight)가 곱해진 신호이다. 본 논문에서는 초기계수를 1로 정하였다. 검파기(signal detector)를 통과한 신호 벡터 z 와 이전 계수가 곱해진 y' 의 차에 대한 에러 값(e)을 이용하여 현재 계수 값을 가변시킨다. 이와 같은 과정을 반복하는 과정에서 최적 계수 벡터를 찾아간다. 위 블록 과정에 대한 자승 에러(square error)는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$e^2(t) = [y'(t) - z(t)]^2 = [w_k y(t) - \hat{y}(t)]^2 \quad (1)$$

여기서 w_k 는 가변되는 계수 벡터를 나타내고 $k=0, 1, 2, \dots, N$ 의 계수 벡터 지수를 갖는다. 이 때 $k=0$ 인 경우, w_0 는 초기 계수 벡터를 의미하고 N 은 수신 되는 데이터 수를 의미한다. 즉, 초기 계수부터 등화기로 입력되는 데이터의 수만큼 계수 값이 가변하며, 그 과정으로 최적 계수 벡터를 찾는다. 그리고 $\hat{y}(t)$ 는 검파기 출력 신호를 의미한다.

식 (1)에서 자승 에러의 최소 값을 구하기 위해 각 계수에 대한 에러의 변화 분(기울기)을 정의해야 하므로 양변을 계수 벡터에 대해 미분을 취하면 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \hat{\nabla}_k &= \frac{de^2(t)}{dw_k} = 2w_k y(t)^2 - 2y(t) \hat{y}(t) \\ &= 2[w_k y(t) - \hat{y}(t)] y(t) \\ &= 2e(t) y(t) \end{aligned} \quad (2)$$

최적 계수를 얻기 위한 LMS 알고리즘은 다음과 같은 과정을 통해 계수 벡터가 가변된다.

$$w_{k+1} = w_k - \mu \hat{\nabla}_k \quad (3)$$

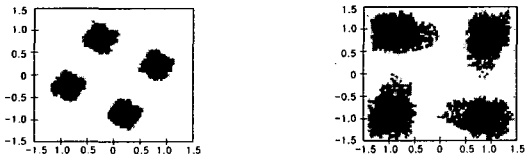
따라서 식 (2)를 식 (3)에 대입하면 다음과 같이 정리된다.

$$w_{k+1} = w_k - 2\mu e(t) y(t) \quad (4)$$

여기서, μ 는 반복적 수행을 위한 step size로 최적 계수 벡터를 찾아가는 단위 벡터이며 1보다 작은 값을 선택하여 사용한다. 반복 수행기법에서 μ 의 값이 클수록 기울기 벡터는 영(zero)으로 빠르게 수렴하는 특성을 갖는다. 아래의 그림 4는 Notch

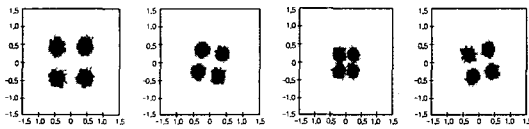
페이딩 이 전송 대역의 중심에 발생했을 때 단일적응등화기를 이용한 단일 반송파방식의 DMR 시스템에 대한 성과를 나타낸 것이다. 이러한 적응등화기의 이용은 진폭이득을 일정하게 해주는 자동이득제어기능과 국부발진기 주파수복원기능을 사용한 것과 동일한 효과를 얻을 수 있다.

정해지며 위상특성도 복원되는 것을 알 수 있다. 그러므로 무선 채널 환경에서 주파수 선택성 페이딩은 OFDM 신호의 각 부 채널들에 서로 다른 페이딩 영향을 주기 때문에 각 부 채널마다 단일적응등화기를 적용하면 채널 왜곡을 보상하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

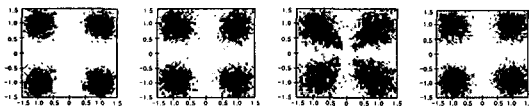


(a) 등화기 사용 전 (b) 등화기 사용 후
(a) Before using equalizer (b) After using equalizer

그림 4. 단일적응등화기를 적용하는 단일 반송파방식의 DMR시스템의 성과도
Fig. 4 Constellation of single carrier DMR system using one-tap adaptive equalizer



(a) 등화기 사용 전
(a) Before using equalizer



(b) 등화기 사용 후
(b) After using equalizer

그림 5. 단일적응등화기를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템의 성과점
Fig. 5 Constellation of OFDM/QPSK-DMR system using one-tap adaptive equalizer

그림 5는 단일적응등화기를 이용한 OFDM/QPSK-DMR 시스템 중 IFFT 크기가 4인 경우의 성과를 나타내며 노치 페이딩이 전송 대역의 중심에 발생한 경우이다. 위 그림에서 알 수 있듯이 적응등화기를 이용한 경우 모든 부 채널의 진폭특성이 일

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 마이크로웨이브 채널 환경으로 two-ray 채널 모델을 이용하였으며, 단일적응등화기를 적용하는 단일 반송파방식의 DMR 시스템과 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 성능을 비교분석하였다. OFDM/QPSK-DMR 시스템은 STS-1급(51.84 Mbps)의 전송속도에 대해 QPSK 변조를 하므로 대략 30 MHz의 전송대역폭을 갖는다. 본 논문에서는 마이크로웨이브 채널의 페이딩 영향으로 인한 클럭 오프셋에 대한 보상은 완벽하다고 가정한다. 또한 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 단일적응등화기를 적용하기 위해 전송 스펙트럼의 전체적인 국부발진기 오프셋에 대한 보상도 완벽하다고 가정한다. 그림 6과 그림 7은 각각 대역제한필터를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 단일적응등화기를 적용하지 않았을 경우와 적용한 경우에 대한 BER 성능곡선을 나타낸다. 그림 6과 그림 7을 통해 알 수 있듯이 페이딩 깊이가 0.3과 0.6인 경우는 등화기를 적용하기 전/후의 성능차이가 크게 발생하지 않지만 페이딩 깊이가 매우 큰 경우 (0.8)에는 목표 BER이 10^{-4} 일 때 FFT 크기가 16인 경우 OFDM/QPSK-DMR시스템이 단일반송파방식의 DMR 시스템 보다 대략 2 dB 정도의 성능이 개선되고 개선정도는 부 반송파의 수가 많을수록 성능이 더욱 향상된다. 그림 8은 대역제한필터를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 단일적응등화기를 적용한 경우에 대한 특성 곡선(signature curve)을 나타낸 것이다. 이러한 특성 곡선은 마이크로웨이브 채널에서 DMR 시스템의 성능 분석에 주로 사용되며 여러 가지 페이딩 깊이와 노치주파수를 가변시키면서 목표 BER을 만족하는 페이딩 깊이의 크기를 주파수 별로 표현한 것이다. 이에 본 논문에서의 특성 곡선을 위한 목표 BER은 10^{-3} 으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

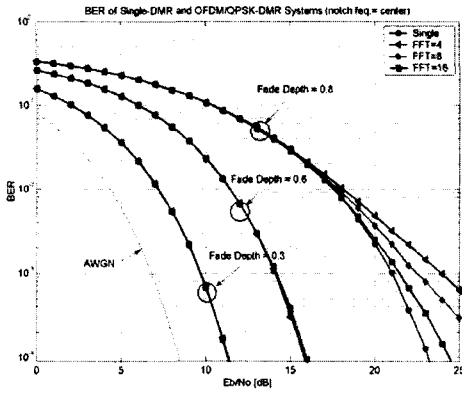


그림 6. OFDM/QPSK-DMR시스템과 단일 반송파방식 DMR 시스템의 BER 성능 곡선
Fig. 6 BER performance between OFDM/QPSK-DMR system and single carrier DMR system

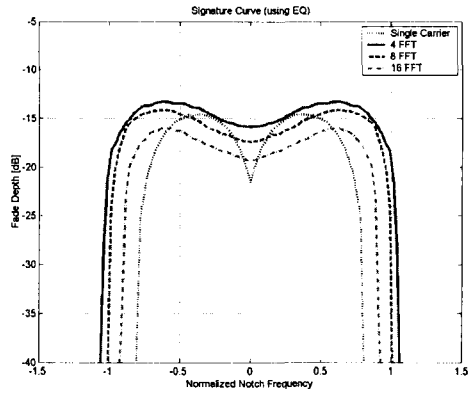


그림 8. 단일적응등화기를 적용한 경우 OFDM/QPSK-DMR시스템과 단일 반송파방식 DMR 시스템의 특성 곡선
Fig. 8 Signature curve between OFDM/QPSK-DMR system and single carrier DMR system using one-tap adaptive equalizer

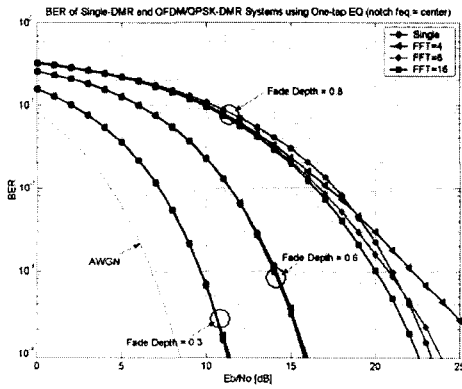


그림 7. 단일적응등화기를 적용한 경우 OFDM/QPSK-DMR시스템과 단일 반송파방식 DMR 시스템의 BER 성능 곡선
Fig. 7 BER Performance between OFDM/QPSK-DMR system and single carrier DMR system using one-tap adaptive equalizer

그림 8에서와 같이 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 경우 FFT 크기가 커질수록 성능이 개선되며 단일 반송파 방식의 DMR 시스템의 경우 페이딩 깊이의 상한값이 -14.5 dB인 반면 FFT 크기가 16인 OFDM / QPSK-DMR 시스템의 경우 페이딩 깊이의 상한값이 -16.5 dB로 대략 2 dB 정도의 페이딩 마진이 있어 단일 반송파방식의 DMR 시스템보다 성능이 개선됨을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 마이크로웨이브 채널 환경에서 BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 단일적응등화기를 적용하여 단일 반송파방식의 DMR 시스템과 성능을 비교분석하였다. 단일적응등화기를 이용하지 않았을 경우에는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 부 반송파의 수가 16개 이상이어야 단일 반송파방식 DMR 시스템보다 우수하나 적응 등화기를 적용하였을 경우에는 부 반송파의 수를 8개 이상 크게 할 때 단일 반송파 방식의 DMR 시스템 보다 우수한 페이드 마진 성능을 갖는다. BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템은 기존 windowing기법을 사용하는 DMR 시스템보다 구현이 간단하고 GB 및 영 삽입을 하지 않아 전송효율이 우수하다.

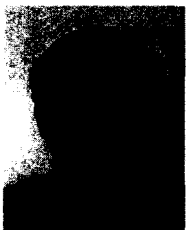
참고문헌

[1] N. Morinaga, M. Nakagawa and R. Kohno, "New concepts and technologies for achieving highly reliable and high capacity multimedia wireless communications systems", IEEE Comm. Mag., vol. 35, no. 1, pp. 34-40, Jan. 1997.

- [2] B. Hirosaki, "An orthogonally multiplexed QAM system using the discrete fourier transform", IEEE Trans. Comm., vol. 29, pp. 982-989, Jul. 1981.
- [3] R. V. Lee, R. Prasad, OFDM for Wireless Multimedia Communications. Artech House, pp. 33-51, 2000.
- [4] R. Li, G. Stette, "Waveform shaped MCM for digital microwave radio", IEEE Conf., vol. 3, pp. 1695-1699, Jun. 1995.
- [5] B. Widrow, S. D. Stearns, Adaptive signal processing. Prentice-Hall, pp. 99-114, 1985.
- [6] Y. Sun, L. Tong, "Channel equalization using one-tap DFE for wireless OFDM system with ICI and ISI", Signal Processing Advances in Wireless Comm., SPAWC '99. 1999 2nd IEEE Workshop on, pp. 146-149, May 1999.

저자소개

안준배(Jun-Bae Ahn)



1991년 2월 : 한국항공대학 항공 전자공학(공학사)
 1993년 2월 : 한국항공대학 대학원 항공전자공학(공학석사)
 2002년 2월 : 한국항공대학 대학원 항공통신정보공학 (박사 수료)

1993년 1월 - 1999년 5월 : (주)성미전자 연구원
 1999년 5월 - 2002년 8월 : (주)아미텔 선임연구원
 2002년 8월 - 현재 : (주)솔리테크 개발팀장
 ※ 관심분야 : 무선통신, 이동통신, Microwave

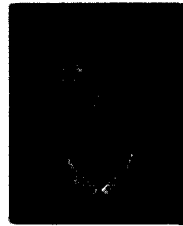
양희진(Hee-Jin Yang)



2002년 2월 : 한국항공대학 항공 통신정보공학과 (공학사)
 2004년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

2003년 12월 - 현재 : (주)솔리테크 개발팀 연구원
 ※ 관심분야 : 무선통신, OFDM, Microwave

조성언(Sung-Eon Cho)



1989년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)
 1991년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)

1997년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 박사
 1997년 3월 - 현재 : (국립)순천대학교 정보통신공학과 부교수
 ※ 관심분야 : 무선멀티미디어통신, 유비쿼터스

오창헌(Chang-Heon Oh)



1988년 2월 : 한국항공대학 항공통신공학(공학사)
 1990년 2월 : 한국항공대학 대학원 항공통신정보공학(공학석사)
 1996년 2월 : 한국항공대학 대학원 항공전자공학(공학박사)

1990년 2월 - 1993년 9월 : 한진전자(주) 기술연구소 근무
 1993년 10월 - 1999년 2월 : 삼성전자(주)CDMA 개발팀 근무
 1999년 3월 - 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수
 ※ 관심분야 : 이동통신, 무선통신, 무선 멀티미디어통신

조성준(Sung-Joon Cho)



1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)
 1975년 2월 : 한양대학교 대학원(공학석사)
 1972년 8월~현재 : 한국항공대학교

교 전자·정보통신·컴퓨터공학부 교수
 ※ 관심분야 : 이동통신, 무선통신, 환경전자공학, 이동무선인터넷.