
AMC와 MIMO 기법이 결합된 Adaptive-MCM 시스템의 성능 분석

서창우* · 조인식* · 윤길상* · 이정환* · 황인태**

Performance of an Adaptive-MCM System with Combining AMC and MIMO Schemes

Chang-woo Seo* · In-sik Joe* · Gil-sang Yoon* · Jung-hwan Lee* · In-tae Hwang**

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로
수행되었음(NIPA-2009-(C1090-0903-0008))

요 약

본 논문에서는 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기법에 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기법이 결합된 Adaptive-MCM(Modulation, Coding and MIMO) 시스템을 제안하고, 모의실험을 통해 그 성능을 분석한다. AMC 기법은 채널 환경에 따라서 변조방식, 코드율을 적응적으로 변화시켜 전송률과 신뢰도의 향상을 가져온다. 제안된 Adaptive-MCM 시스템은 채널 환경에 따라서 MIMO 기법을 적응적으로 활용함으로써 기존의 변조방식과 코드율의 조합에 국한된 AMC 기법보다 더욱 향상된 전송률과 에러 성능을 가져 오게 한다. 제안된 시스템의 성능 분석은 Adaptive-MCM 시스템을 적용한 시스템과 적용하지 않은 시스템의 각 전송률 결과를 바탕으로 비교 수행되었다. 실험결과, Adaptive-MCM 시스템을 적용함으로써 각 MCMS(Modulation, Coding, and MIMO Scheme) 레벨에 해당하는 조합을 고정적으로 사용하는 시스템에서 나타났던 SNR(Signal to Noise Ratio) 확보와 데이터율 증가 사이의 Trade-Off 관계 개선이 이루어졌으며, 이를 통해 평균 데이터율의 향상을 가져올 수 있었다.

ABSTRACT

The proposal set out in this paper, is the Adaptive-MCM(Modulation, Coding and MIMO) system, which results from the combination of adaptive modulation and coding (AMC) and multiple input multiple output (MIMO) schemes. The performance of this system is analyzed through computer simulation. By using the MIMO scheme adaptively as well, the proposed Adaptive-MCM system, presents a better improvement of data rate and error performance compared to the AMC system. The throughput performance of the Adaptive-MCM system is analyzed and compared with the throughput performance of Non-Adaptive-MCM Systems. As a result of the simulation, we can infer that, at a fixed MCM level, there is an improvement of the trade-off between secure Signal to Noise Ratio (SNR) and a high data rate. Consequently, this trade-off improvement results in a better average data rate.

키워드

MIMO, Adaptive-MCM, MCMS

Key word

MIMO, Adaptive-MCM, MCMS

* 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정

** 전남대학교 전자컴퓨터공학과 교수

접수일자 : 2009. 09. 07

심사완료일자 : 2009. 09. 21

I. 서 론

이동통신이 발전해 감으로써 사용자들은 점점 더 높은 데이터율과 신뢰성이 높은 통신 시스템을 요구하고 있다. 이러한 사용자 요구에 부합하기 위해 여러 통신 기법들이 연구되어 오고 있다. 그 중 MIMO 기법은 다중 송·수신 안테나를 사용하여 한정된 주파수 자원 내에서 채널 용량을 증대시켜 고품질의 데이터와 높은 데이터 전송률을 제공한다.

MIMO 기법은 다이버시티와 멀티플렉싱 기법의 일종인 Layered MIMO 기법으로 나눌 수 있다. MIMO 다이버시티 기법은 Layered MIMO 기법에 비해 데이터율은 떨어지지만 낮은 SNR 에서도 신뢰성을 높일 수 있는 기법이다. 그리고 Layered MIMO 기법은 MIMO 다이버시티 기법에 비해 신뢰성은 떨어지지만 데이터율을 향상시킬 수 있는 장점이 있다[1~3]. 최근에는 이 두 기법들을 결합하여 다이버시티 이득과 멀티플렉싱 이득의 효과를 동시에 얻고자하는 기법[4]들이 활발히 연구되고 있다. 또한, 차세대 이동통신 시스템의 요구에 만족할만한 전송률, 신뢰도를 얻기 위해 채널 환경에 따라서 코드율, 변조방식을 달리 적용하는 AMC 기법도 활발히 연구되고 있다. 본 논문에서는 앞서 설명한 MIMO와 AMC의 결합시스템을 제안한다. 기존의 AMC에 MIMO 기법을 결합함으로써 코드율, 변조기법 뿐만 아니라 MIMO 기법까지 채널 환경에 따라서 적응적으로 사용함으로써 데이터 전송률과 신뢰도를 더욱 향상시킬 수 있다.

또한, 제안된 시스템은 프리코딩, 안테나 서브셀렉션 기법까지 적용함으로써 최적의 성능을 도출할 수 있도록 하였다. 본 논문 구성은 다음과 같이 구성되어 있다. II 장에서는 기존의 AMC 기법과 제안된 Adaptive-MCM 기법에 대한 구조와 특징을 살펴본다. 그리고 III 장에서는 제안된 시스템 블록을 이루고 있는 기법들의 설명이 이루어질 것이다. IV 장에서는 모의 실험결과를 통해 제안된 시스템의 성능 분석 및 검증을 한다. 마지막으로 V 장에서 결론을 맺도록 한다.

II. AMC 기법과 제안된 Adaptive-MCM 결합 시스템의 구조와 특징

2.1 AMC 기법의 개요

기존의 AMC 기법의 구조는 그림 1과 같다. AMC 기법은 채널의 변화에 따라서 코드율과 변조기법을 통신 시스템에 적응적으로 적용하는 기법으로 채널 변화가 동적인 무선통신에 적합한 기법이다[5, 6]. 그림 1은 AMC 기법의 구조를 나타내고 있는데, 송신기에서 데이터는 채널 코딩, 인터리버 및 변조 과정을 거쳐 채널로 전송된다. 수신기는 수신 신호의 SNR 기준으로 채널의 상태를 추정하고 추정된 채널의 정보를 송신기로 보내 진다. 송신기는 이 정보를 기반으로 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨을 결정하여 채널 코딩, 인터리빙 및 변조 기법을 채널 상태에 적합하도록 데이터에 적용 시켜 전송한다. 적응 변조 및 부호화는 채널 환경이 양호한 상태의 사용자에게는 고차 변조 방식과 높은 코드율을 적용한다. 반면, 채널 환경이 좋지 않은 사용자에게는 저차 변조 방식과 낮은 코드율을 이용하여 데이터를 전송한다. 적응변조 및 부호화는 채널 상태에 따라 전송률과 에러율 성능의 trade-off 관계를 감안하여 적절한 MCS 레벨을 선택함으로써 전체적인 시스템 전송률과 전송 품질을 향상 시킨다[7].

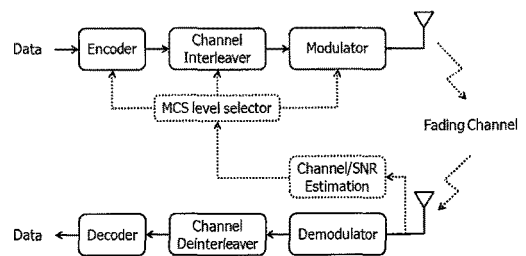


그림 1. AMC 기법의 구조
Fig. 1 The structure of AMC scheme

2.2 Adaptive-MCM의 구조 및 개요

그림 2는 본 논문에서 제안하고 있는 Adaptive-MCM 시스템의 기본 구조이다. 그림 1의 AMC 기법의 구조와 비교해보면 채널 코딩과 변조기법의 조합뿐만 아니라 MIMO 기법이 적용 되어있음을 볼 수 있다. 즉, 채널의 변화에 따라 MIMO 기법이 달리 적용 될 수 있다는 의미

이다. 이와 같이 MIMO 기법을 추가함으로써 기존의 AMC보다 채널의 상태에 따라서 더욱 다양한 조합된 기법들을 제공할 수 있다. 또한, 안테나 서브 선택과 프리코딩 기법이 추가되어 가장 최적의 성능을 낼 수 있도록 하였다.

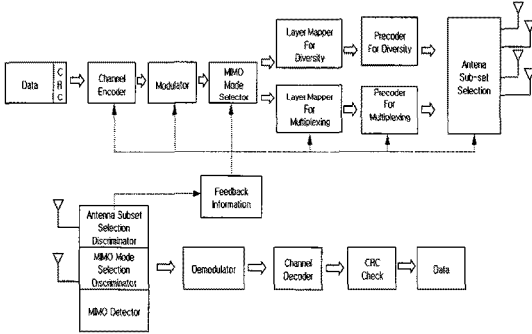


그림 2. Adaptive-MCM 결합 시스템의 구조
Fig. 2 The structure of Adaptive-MCM system

III. AMC 기법과 제안된 Adaptive-MCM 결합 시스템의 구조와 특징

3.1 프리코딩 기법

프리코딩 기법은 추정된 채널 정보를 송신단에서 활용하여 성능의 향상을 가져오는 기법이다. 일반적인 프리코딩 기법으로는 Pre-ZF(Zero Forcing), Pre-MMSE (Minimum Mean-Square Error), SVD(Singular Value Decomposition) 기법 등이 있다[8]. 제안된 시스템에서 사용된 SVD 기법은 특이 값 분해를 이용하여 채널이 미치는 영향을 찾아내고 이를 제거하는 기법이다. SVD 기법은 송·수신단에 직교(Orthogonal)행렬을 곱하기 때문에 Pre-ZF 기법이나 Pre-MMSE 기법처럼 송신 전력을 고려할 필요는 없다. 따라서 구현이 간단하여 시스템의 복잡도를 줄일 수 있는 장점이 있다.

$$\begin{aligned}
 H &= U\Sigma V^H \\
 U^H Y &= U^H H(VX) \\
 &= U^H(U\Sigma V^H)(VX) \\
 &= (U^H U)\Sigma(V^H V)X \\
 &= \Sigma X
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

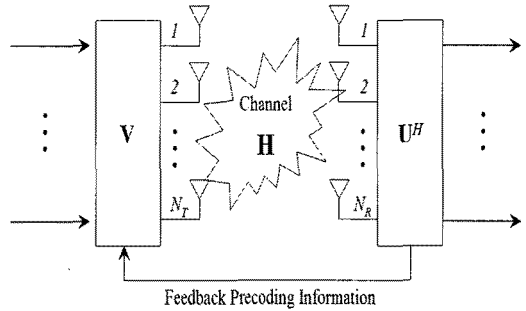


그림 3. SVD 기법의 개념도
Fig 3. The concept of SVD techniques

그림 3은 SVD 기법의 개념도이다. 여기서 V는 피드백 정보를 이용하여 만들어낸 가중치 벡터이며, U는 원래의 신호를 복원하기 위한 벡터이다. 신호 복원을 위한 과정은 식 (1)과 같다.

3.2. 안테나 서브 선택

제안된 시스템은 안테나 서브 선택 기법을 사용하여 4개의 송신 안테나를 사용함으로써 4개의 안테나 중 채널 상태가 좋은 2개의 안테나를 선택하여 전송 신뢰도를 높이도록 한다[9]. 여기서 4개 안테나의 채널 정보를 알기 위해 수신기에서 수신 신호의 채널 정보를 송신기에 전달하는 방식을 사용하며, 이는 AMC기법의 동작 메커니즘과 유사하다는 것을 알 수 있다. 따라서 AMC를 적용함으로써 안테나 서브 선택 기법까지 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 안테나 서브 선택 기법에서 채널 상태를 추정하는 방식은 여러 가지로 나누어지는데, 가장 좋은 성능 결과를 내는 SNR_{min} 값[10]을 이용하여 추정하는 기법을 적용하였다.

3.3 Adaptive-MCM 시스템의 MIMO 기법

3.2절에서 설명하였듯이 시스템 상으로는 송신 안테나의 개수는 최대 4개를 설정하였지만, 안테나 서브 선택에 의해서 실제로 동작되는 송신안테나의 개수는 2개이며, 본 논문에서는 수신 안테나의 개수는 2개로 설정하였다. Adaptive-MCM 시스템은 채널의 상태에 따라 MIMO 기법을 달리 적용하는 기법이다. 예를 들어서 추정된 채널 상태가 좋지 않을 때 전송 신뢰도를 높이기 위해 MIMO 다이버시티 기법이 적용되며, 채널 상태가 양호하다면 전송률을 높이기 위해 MIMO 멀티플렉싱 기법

의 일종인 Layered MIMO 기법이 선택이 된다. 다이버시티 기법은 Layered MIMO 기법에 비해 최대전송률은 떨어지지만 연속된 두 신호를 시공간 부호화함으로써 전송 신뢰도를 높일 수 있다는 장점이 있다. 그림 4는 다이버시티 기법의 일종인 STTD(Space Time Transmit Diversity)에 의해 다이버시티 이득이 얻어지는 예를 보여주고 있으며, STTD 기법을 통하여 수신단 SNR의 변화가 감소함을 알 수 있다. 이는 수신단의 SNR이 매우 낮은 값 또는 매우 큰 값을 가질 가능성이 상대적으로 감소하고, 어느 한 채널이 널(null)에 빠지더라도 평균적으로 수신 SNR이 안정되는 효과를 얻게 됨을 의미한다.

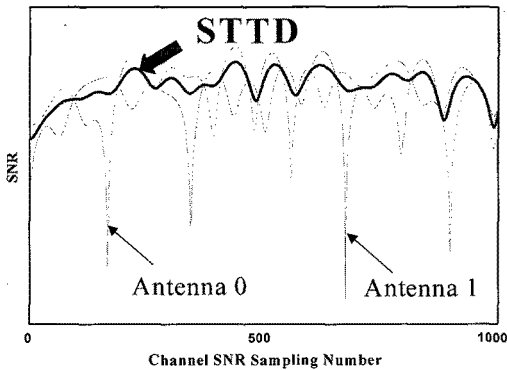


그림 4. STTD 기법에 의한 개념적인 다이버시티 이득
Fig. 4 the conceptual diversity gain by STTD technic

Layered MIMO 기법은 STTD 기법과 달리 안테나마다 서로 다른 데이터를 전송하는 기법으로 데이터율을 높일 수 있다. 또한 STTD 기법에서 사용되는 복잡도가 큰 ML 복조기 대신 구현이 간단한 SVD 기법을 이용하기 때문에 시스템의 복잡도를 크게 줄일 수 있다는 장점이 있다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 Adaptive-MCM 시스템의 전송률에 관한 실험 결과를 제시하고, 이에 대한 분석을 수행한다. 표 1은 MCM-Scheme 레벨 선택 기준을 나타내고 있으며 표 2의 실험 파라미터는 HSDPA 및 3G LTE의 표준안을 근

거로 적절히 구성한 것이다. 그림 5는 Adaptive-MCM 기법을 적용하지 않은 통신 시스템에서 표 1에 정리한 Adaptive-MCM 결합시스템에 적용될 각 조합들의 데이터율을 나타낸 것이다.

MCM-Scheme 레벨 1에 해당하는 STBC 4×2, Turbo Code 1/3, QPSK 조합의 데이터율을 살펴보면, 최대 데이터율은 160 Kbps를 나타내고 있으며 최대 데이터율이 나타나기 시작하는 SNR은 약 -9dB 임을 알 수 있다.

표 1. MCM-Scheme 레벨
Table. 1 MCM-Scheme level

레벨	MIMO 기법	코드율	변조 방식	데이터율 (Kbps)	전송률 (Mbps) (15Codes)
1	STBC 4×2	1/3	QPSK	160	2.4
2	Layered 4×2	1/3	QPSK	320	4.8
3	Layered 4×2	1/2	QPSK	480	7.2
4	Layered 4×2	1/3	16QAM	640	9.6
5	Layered 4×2	1/2	16QAM	960	14.4
6	Layered 4×2	1/2	64QAM	1440	21.6

표 2. 실험 파라미터
Table. 2 Simulation Parameter

파라미터	값
Sub-Frame당 심벌 개수	480 심벌
Sub-Frame당 시간	2 ms
채널 환경	Rayleigh Flat Fading
잡음	AWGN
SF (Spreading Factor)	16
MIMO 기법	STBC 2×2 Layered-MIMO 2×2
채널 코딩 기법	Turbo Coding (1/2, 1/3)
변조 기법	QPSK, (16, 64)QAM
신호 검출 기법	ML(STTD) SVD(Layered)
Antenna-Subset-Selection 기법	SNRmin 기준

이 MCM-Scheme 레벨 1에 해당하는 조합을 고정적으로 사용하는 시스템이라면 비교적 낮은 SNR에서도 최대 데이터율을 낼 수 있지만, 그 최대 데이터율은 160 Kbps의 한계를 갖는 것을 볼 수 있다. MCM-Scheme 레벨 6에 해당하는 Layered MIMO 4×2, Turbo Code 1/2, 64QAM 조합은 최대 데이터율이 1440 Kbps로 가장 높은 것을 알 수 있다. 하지만 이러한 최대 데이터율을 보장하

기 위한 SNR은 약 5dB 정도로 매우 높은 편이며, 이는 MCM-Scheme 레벨 6에 해당하는 조합을 고정적으로 사용하는 시스템의 경우 충분한 SNR이 보장되어야만 시스템이 동작 가능해진다는 것을 의미한다. 그림 6은 Adaptive-MCM 결합 시스템의 데이터율을 나타낸 것이다. SNR이 증가함에 따라 전송률이 높은 MIMO 기법, 고차의 채널 코딩 및 변조 방식이 적용되므로 점차적으로 높은 데이터율을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 설명한 Adaptive-MCM 기법을 적용하지 않은 통신 시스템에서 나타났던 SNR 확보와 데이터율 증가 사이의 Trade-Off 관계를 크게 개선한 것임을 알 수 있다. 결론적으로 Adaptive-MCM 결합시스템은 이러한 SNR 확보와 데이터율 증가 사이의 Trade-Off 관계 개선을 통해 평균 데이터율의 향상을 가져오고 있다.

V. 결론

차세대 이동통신 시스템은 높은 전송률과 신뢰도를 갖는 데이터 전송을 요구하고 있다. 이러한 요구에 부합하기 위해 AMC, MIMO와 같은 통신 기법들이 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 AMC 기법과 MIMO 기법결합을 고려했었다. 기존의 AMC 기법은 채널의 상태에 따라 코드율, 변조 기법 등을 달리 적용하는 방식이다. 제안된 Adaptive-MCM 기법은 기존 AMC 기법에 MIMO 기법 까지 결합함으로써 채널 환경에 따른 기법들의 조합들이 다양하게 적용 될 수 있다. 즉, 기법들의 조합의 선택의 폭이 넓기 때문에 다양한 채널의 변화에 대처 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 프리코딩, 안테나 서브 선택을 적용함으로써 데이터 전송률 뿐만 아니라 신뢰도 에서도 최적의 성능을 낼 수 있도록 하였다. 모의실험 결과, Adaptive-MCM을 적용하지 않은 시스템의 경우 충분한 SNR이 확보되더라도 해당 MCMS 레벨의 시스템 조합들이 고정되어 있기 때문에 전송률 측면에서 SNR이 증가하더라도 한계점이 나타난 것을 확인 할 수 있었다. 반면에 Adaptive-MCM 시스템의 경우 SNR범위에 따라 MCMS 레벨이 동적으로 할당되기 때문에 전체적으로 평균 데이터율이 증가 하였으며 MCM-Scheme 레벨 6에 해당하는 최대 전송률(1440kbps)까지 달성됨을 확인 할 수 있었다. 또한, Non Adaptive-MCM에서 나타났던 SNR 확보와 데이터율 증가 사이의 Trade-Off 관계 개선을 통해 평균 데이터율의 향상을 가져오고 있음을 확인 할 수 있었다.

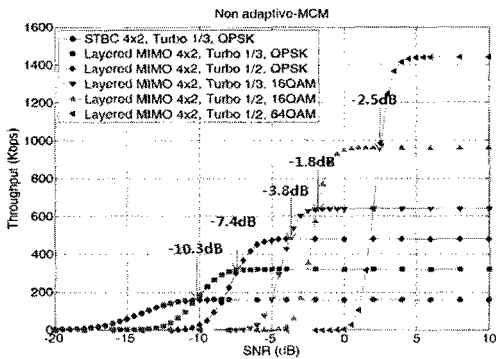


그림 5. Adaptive-MCM 기법이 적용되지 않은 시스템에서 각 조합의 데이터율 (Kbps)
Fig 5. The Data rate(kbps) of the non adaptive-MCM technic

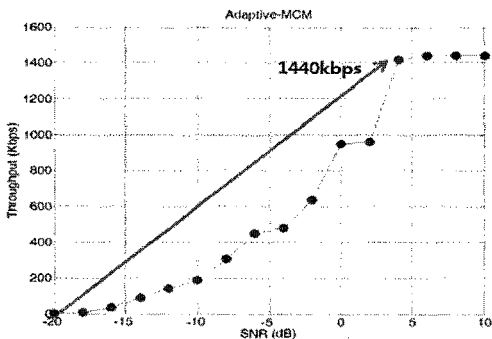


그림 6. Adaptive-MCM 결합 시스템의 데이터율 (Kbps)
Fig 6. The data rate(kbps) of Adaptive-MCM technic

참고문헌

- [1] J.H.Winters, "The Diversity Gain of Transmit Diversity in Wireless Systems with Rayleigh Fading," IEEE Trans. on V.도. Tech. Vol.47, No.1, pp.119-123, February 1998.
- [2] S. M. Alamouti, "A Simple Diversity Technique for Wireless Communications," IEEE Journal on select areas in communications, Vol.16, No.8, pp.1451-1458, October 1998.
- [3] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using

multiple antennas," Kluwer : Wireless Pers. Commun, vol.6, no.3, pp.311~335, 1998.

- [4] Texas Instruments, "Double-STTD scheme for HSDPA systems with four transmit antennas : Link Level Simulation Results," TSG-R WG1 document, TSGR1#20(01)0458, Busan, Korea, 21-24, May 2001.
- [5] B. Vucetic, "An adaptive coding scheme for time-varying channels," IEEE Trans. Commun., vol. 39, pp. 653-663, May 1991.
- [6] J.F. Hayes, "Adaptive feedback communications," IEEE Trans. Commun. Technol., vol. COM-16, pp. 29-34, Feb. 1968.
- [7] I. T. Hwang, J. Y. Son, S. K. Hahn, M. G. Kang, Y. H. You, and C. E. Kang, "Improvement of AMC-MIMO multiplexing systems with selection transmit diversity techniques," IEICE Trans. on Commun., vol.E87-B, no.6, pp.1684-1687, June 2004.
- [8] Michael Joham, Wolfgang Utschick, Josef A. Nossek, "Linear transmit processing in MIMO communications systems," IEEE Transactions on Signal Processing 53(8-1): 2700-2712 (2005)
- [9] RW. Heath Jr., D.J. Love, "Dual-mode antenna selection for spatial multiplexing systems with linear receivers Signals," in Proc. IEEE Asilomar Conf. Signals, Systems, and Computers, voU, pp.1085-1089, Nov. 2003.
- [10] Robert W. Heath, "Antenna Selection for Spatial Multiplexing Systems with Linear Receivers", IEEE Commu. Letters, Vol. 5, No. 4, April 2001

저자소개



서창우(Chang-woo Seo)

2009년 상명대학교
정보통신공학과 학사.
2009년~ 전남대학교
전자컴퓨터공학과
석사과정 재학중.

※관심분야: OFDM, MIMO 시스템



조인식(In-sik Joe)

2009년 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사.
2009년~ 전남대학교
전자컴퓨터공학과
석사과정 재학중.

※관심분야: OFDM, MIMO 시스템



윤갈성(Gil-sang Yoon)

2008년 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사.
2008년~ 전남대학교
전자컴퓨터공학과
석사과정 재학중.

※관심분야: 이동통신, 무선통신



이정환(Jeong-Hwan Lee)

2008년 전남대학교
전자컴퓨터공학부 학사.
2008년~ 전남대학교
전자컴퓨터공학과
석사과정 재학중.

※관심분야: 이동통신, MIMO 시스템



황인태(In-tae Hwang)

1990년 전남대학교 전자공학과
학사.
1992년 연세대학교 전자공학과
석사.

2004년 연세대학교 전기전자공학과 박사.

1992년 ~ 2006년 LG전자 책임 연구원.

2006년 ~ 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

※관심분야: 디지털통신, 무선통신시스템, mobile terminal system for next generation, physical layer software for mobile terminal, efficient algorithms for AMC, MIMO and MIMO-OFDM, Relaying scheme for wireless communication