

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.5.79>

IIBC 2017-5-10

SAGE 알고리즘을 이용한 MIMO 채널 파라미터 추정과 분석

Estimation and Analysis of MIMO Channel Parameters using the SAGE Algorithm

김주석*, 여봉구**, 최홍락***, 김경석****

Joo-Seok Kim*, Bong-Gu Yeo**, Hong-Rak Choi*** and Kyung-Seok Kim****

요약 본 논문은 다중 경로 다중입력 (Multiple-input multiple-output : MIMO) 채널에서 space alternating generalized expectation-maximization(SAGE) 알고리즘을 이용하여 채널 파라미터 추정 성능을 확인한다. 성능을 비교하기 위해 781 대역의 제주도 측정지역에서의 채널 파라미터로부터 시변 채널 환경 채널 파라미터 추정을 SAGE 알고리즘을 통해 추정하고 원본 데이터와 비교한다. 이를 통해 SAGE 알고리즘의 성능을 확인할 수 있으며 일반적인 파라미터 계산 보다 SAGE 알고리즘을 통해 추정하는 것이 지연 확산(Delay Spread), 도래각 확산(Arrive of Angular Spread)이 적어 정확 측면에서 성능이 뛰어나고 안정적이다.

Abstract This paper is a multi-input multi-path (Multiple-input multiple-output: MIMO) using a space-alternating generalized expectation maximization(SAGE) algorithm in the parameter channel and determine the channel estimation performance. Estimated by the algorithm, SAGE time-varying channel environment, the channel parameters estimated from the parameters of the channel measured in the island region 781 of the band in order to compare the performance and compares the original data. This allows you to check the performance of the algorithm SAGE and is highly stable to delay spread (Delay Spread), the diffusion angle of arrival (Arrive of Angular Spread) performance in terms of accuracy down through the SAGE algorithm for estimating a more general calculation parameters.

Key Words : SAGE Algorithm; Delay Spread; Angular Spread; MIMO.

1. 서론

다중 입출력 (Multiple input Multiple-output : MIMO) 시스템은 최근 통신 시스템의 주역으로 대부분의 통신 시스템에 사용되고 있다. 이와 관련되어 많은 연

구가 된 연구 분야 중에는 MIMO 시스템에 적합한 변복조, 부호화, 복호화 기법 연구 및 MIMO 시스템의 채널 용량 분석, 채널 모델링 연구 등이 있다. 측정된 채널로부터 채널 모델을 정확히 추정, 분석하는 것은 전파 전달 현상을 이해하는데 큰 도움이 되며 이는 궁극적으로 효

*정회원, 한국전자통신연구원 사업화부문

**정회원, 현대엠시스템즈(주) 연구소

***준회원, 충북대학교 전파통신공학과

****정회원, 충북대학교 전파통신공학과 (교신저자)

접수일자: 2017년 8월 14일, 수정완료: 2017년 9월 14일

게재확정일자: 2017년 10월 13일

Received: 14 August, 2017 / Revised: 14 September, 2017 /

Accepted: 13 October, 2017

*Corresponding Author: kseokkim@cbnu.ac.kr

Dept. of Electrical and Electronic Eng. Chungbuk National University, Korea

울적인 무선 통신 시스템을 구축하는 것을 가능하게 한다^[1].

MIMO 채널 모델에서 쓰이는 파라미터로는 도래각 (Angle Of Arrival : AOA), 발산각(Angle Of Departure : AOD), 지연시간 (Time Of Arrival : TOA), 도플러 주파수 (Doppler Frequency) 등이 있으며 이러한 파라미터를 추정하기 위한 다양한 추정 기법들과 채널 모델들이 제시되어 왔다. 채널 파라미터 추정 기법의 대표적인 것들로는 Multiple Signal Classification(MUSIC)^[2], Estimation on Signal Parameter via Rotational Invariance Techniques (ESPRIT)^[3], Expectation - Maximization (EM)^[4], Space - Alternating Generalized Expectation - Maximization (SAGE)^[5] 등이 있다.

MUSIC은 시간 영역에서 근접한 신호를 구별하기 어렵고 낮은 신호 대 잡음비(Signal to noise ratio : SNR)에서는 추정 오차가 큰 단점이 있고, ESPRIT은 MUSIC 보다 추정 작업이 간단하고 근접한 신호를 구별하는데 강인하나 안테나 배열에 제한이 있어 다양한 배열을 사용하지 못한다는 단점이 있다. 반면 SAGE는 낮은 SNR에서도 강인하고 정확한 파라미터를 추정하며, 안테나 배열을 아무 제약 없이 자유롭게 사용할 수 있는 장점이 있다^[1]. SAGE는 채널 충격 응답을 이용하여 파라미터를 추정하는 채널파라미터 추정기법이다.

현재의 MIMO 채널에는 2GHz 대역, 5GHz 대역에서 측정되고 이론적으로 분석되어 있지만, 이동통신 주파수 대역인 781MHz에서의 측정과 분석은 미비한 것이 사실이다. 아날로그 방송의 디지털화에 따른 주파수 재배치 및 새로운 시스템으로의 효율적 활용방안을 도출하고 새로운 시스템 설계에 활용하기 위해서 국내 781MHz대역 MIMO 채널에 관한 연구가 필요하다^[6].

이하 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 SAGE 알고리즘에 대해 설명하고 III장에서는 측정된 전파 채널에 대해 소개한다. 그리고 IV장은 측정된 전파 채널로 SAGE 알고리즘을 통해 도출된 파라미터들의 성능을 분석하고 V장에서는 결론을 맺는다.

II. SAGE 알고리즘 분석

1. 신호 모델

전송 신호 $u(t)$ 는 PN 부호를 펄스 성형 필터에 통과

시켜 선형 변조하여 반복적으로 전송하는 것이며 다음과 같이 표현된다.

$$u(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a(t - iT_a)$$

$$a(t) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n p(t - nT_p) \quad (1)$$

식 (1)에서 $a_n (n = 0, \dots, N-1)$ 은 PN 부호이며 $p(t)$ 는 펄스 성형 필터를 의미하며 T_p 는 심볼 주기를 의미한다. ($T_a = NT_p$). 시간 영역의 다중 경로 MIMO 채널 행렬 $h(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$h(t) = \sum_{l=1}^L h(t; \psi_l) \quad (2)$$

$$= \sum_{l=1}^L a_l c(\theta_l) d^T(\phi_l) \delta(t - \tau_l)$$

식 (2)에서 $h(t; \psi_l)$ 는 l 번째 경로의 채널 충격 응답을 뜻하며 L 은 경로의 총 수이고 $a_l, \theta_l, \phi_l, \tau_l$ 은 각각 l 번째 경로의 복소 채널 이득, 도래각, 발산각, 지연시간을 뜻한다. $c(\theta_l), d(\phi_l)$ 는 l 번째 경로의 $M_R \times 1$ 수신 배열 응답 벡터, $M_T \times 1$ 송신 배열 응답 벡터를 나타내며 M_R, M_T 는 수신 안테나 수, 송신 안테나 수를 뜻한다. $()^T$ 는 전치 연산을 나타내며, ψ_l 은 l 번째 경로의 채널 파라미터 집합을 의미한다($\psi_l = a_l, \theta_l, \phi_l, \tau_l$). 전송 신호 $u(t)$ 는 $M_R \times M_T$ MIMO 채널 행렬인 $h(t)$ 를 통과하여 수신 신호 행렬인 $s(t)$ 가 되며 다음과 같이 표현된다.

$$s(t) \approx h(t) * u(t) = \sum_{l=1}^L s(t; \psi_l) \quad (3)$$

$$= \sum_{l=1}^L a_l c(\theta_l) d(\phi_l)^T u(t - \tau_l)$$

식 (3)에서 $*$ 는 컨볼루션(convolution) 연산을 의미하며, $S(t; \psi_l)$ 은 l 번째 경로의 수신 신호 행렬을 뜻한다. 여기에 잡음이 추가된 신호 행렬 $Y(t)$ 는 아래와 같이 표현된다.

$$Y(t) = \sum_{l=1}^L S(t; \psi_l) + N(t) = \sum_{l=1}^L X(t; \psi_l) \quad (4)$$

식 (4)에서 $X(t; \psi_l)$ 은 잡음이 포함된 l 번째 경로의 수신 신호 행렬을 뜻하며 $N(t)$ 는 $M_R \times M_T$ proper

복소 가우시안 잡음 행렬을 의미한다.

2. 세부 알고리즘 분석

시변 채널 환경의 SAGE 알고리즘은 아래와 같이 E-step과 M-step을 반복적으로 처리하여 정확한 파라미터 값에 수렴하게 된다^[8].

$$\text{E-step: } \hat{X}_l(t; \hat{\psi}_l) = Y(t) - \sum_{i=1}^{l-1} S(t; \hat{\psi}_i(\eta)) \quad (5)$$

E-step은 $X(t; \hat{\psi}_l)$ 의 추정값인 $\hat{X}_l(t; \hat{\psi}_l(\eta))$ 을 계산하는 과정이며 식(5)에서 η 는 반복횟수를 의미하며 $\hat{\psi}_l(\eta)$ 는 η 번 반복을 거쳐 추정된 파라미터 집합을 뜻한다. $S(t; \hat{\psi}_l(\eta))$ 를 제거하는 과정은 다음과 같이 연속 간섭 제거 방법을 따른다^[8].

$$\begin{aligned} \text{M-step: } z(\tau, \theta, \phi; X_l(t)) & \quad (6) \\ &= \int_{T_u} c^H(\theta) X_l(t) u^*(t-\tau) d^*(\phi) dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \hat{\tau}_l(\eta+1) &= \operatorname{argmax}_{\tau} |z(\tau, \hat{\theta}_l(\eta), \hat{\phi}_l(\eta); \hat{X}_l(t; \hat{\psi}_l(\eta)))|^2 \\ \hat{\theta}_l(\eta+1) &= \operatorname{argmax}_{\theta} |z(\hat{\tau}_l(\eta+1), \theta, \hat{\phi}_l(\eta); \hat{X}_l(t; \hat{\psi}_l(\eta)))|^2 \\ \hat{\phi}_l(\eta+1) &= \operatorname{argmax}_{\phi} |z(\hat{\tau}_l(\eta+1), \hat{\theta}_l(\eta+1), \phi; \hat{X}_l(t; \hat{\psi}_l(\eta)))|^2 \\ \hat{\alpha}_l(\eta+1) &= \\ &= \frac{1}{M_R M_T T_u P_u} z(\hat{\tau}_l(\eta+1), \hat{\theta}_l(\eta+1), \hat{\phi}_l(\eta+1); \hat{X}_l(t; \hat{\psi}_l(\eta))) \end{aligned} \quad (7)$$

M-step은 $\hat{X}_l(t; \hat{\psi}_l(\eta))$ 와 $\hat{\psi}_l(\eta)$ 을 이용하여 각 채널 파라미터들의 추정값을 업데이트하는 과정이다. 식(6)에서 $()^H$ 는 복소공액 전치연산을, T_u 는 관찰 시간을, $*$ 는 복소공액 연산을 뜻하며 식 (7)에서 P_u 는 전송신호의 전력을 뜻한다.

III. MIMO 기반 전파 채널 측정

1. 측정 시나리오 및 측정 시스템

본 연구는 781 MHz의 주파수 대역 실측 기반 전파 특성 분석을 진행한다^{[6][7]}. 실제 채널의 기본 특성 분석에 초점을 맞추어 분석을 위한 측정 시스템을 구축하였다. 측정 시스템은 ETRI에서 사용하는 채널 사운더를 사용하였다. 채널 사운더 시스템에 관한 상세한 사항은 표 1과 같다.

표 1. 채널 사운더 시스템

Table 1. Channel Sounder System

| Item | Specification |
|------------------|--------------------------|
| Center Frequency | 781 MHz |
| Bandwidth | 50 MHz |
| PN Length | 4096 chips |
| Chip rate | 50 Mcps(2 ns resolution) |
| Maximum Tx power | 40 dBm |
| Minimum Rx level | -97 dBm |
| Tx / Rx Antenna | 4x4 uniform linear array |

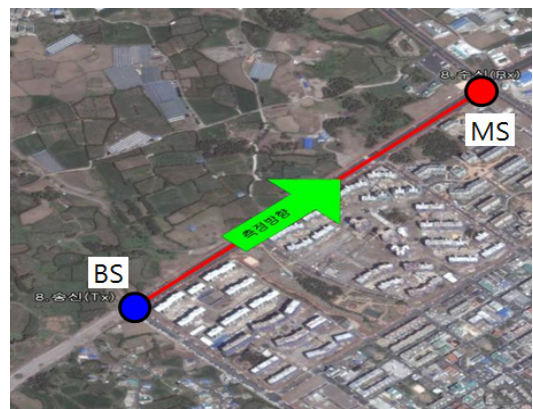


그림 1. 제주도 측정 지역

Fig. 1. Measurement area in the city of Jeju island

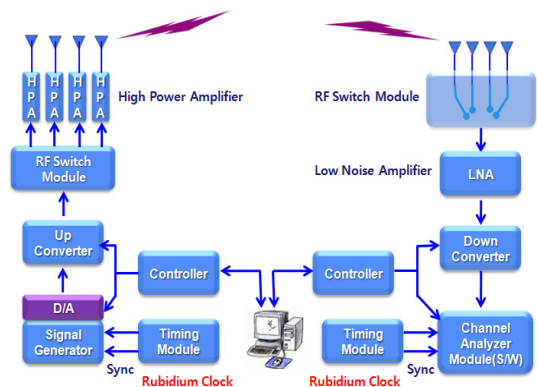


그림 2. 측정 시스템 구성

Fig. 2. Measurement system configuration

제주도 측정 지역은 그림 1과 같이 왕복 6차선 도로로 좌측편에는 낮은 나무와 수풀로된 지역이며 우측편 도로는 아파트 단지가 밀집된 지역이다. 측정방법은 송신단

(base staion : BS)는 고정하고 수신단(mobile station)은 안테나를 차량의 위에 설치하여 측정 방향을 따라 이동하며 채널 사운더를 통해 전파를 측정한다. 채널 사운더 시스템은 그림 2에 도시되어 있다.

2. 노이즈 레벨 설정

데이터 분석에 있어서 페이딩 신호와 노이즈 신호의 구분은 중요한 문제이다. 분석 되어 지는 각 파라미터 별로 동일한 노이즈 레벨을 적용하기 위해 표준화 모델인 WINNER+의 적용범위를 참고하였다. 노이즈 레벨은 노이즈 신호의 평균 +3dB이거나 최대 신호의 -20dB이상으로 적용하였다^[6].

IV. SAGE 알고리즘을 통한 성능 분석

1. 전력 지연 분포 (Power Delay Profile : PDP)

무선 채널에서 채널을 통과한 신호의 전력과 지연시간은 채널 특성 분석에 있어서 매우 중요한 특성이다. 일반적으로 전력 지연 분포 특성은 수신된 데이터와 PN 신호와의 상관 특성을 이용하여 얻어진다. 하지만 일반적인 측정과는 달리 SAGE 알고리즘을 통해 얻어지는 PDP는 조금 더 명확한 실제 데이터를 추정한다. 그림 3과 같이 측정된 결과로 얻어진 PDP와 달리 SAGE 알고리즘으로 추정된 PDP는 수신된 신호에 따라 신호가 있음을 확인할 수 있다. 각 추정된 신호들로 거리에 따라 지연 확산을 계산할 경우 그림 4와 같은 결과가 도출되었다. 일반적인 추정에 비해 SAGE 알고리즘 추정 확산값이 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 800m 근방에서 지연 확산은 약 0.18 us의 차이를 보였는데 이는 SAGE 알고리즘의 추정 결과가 더 분포값을 줄여 준다는 것을 의미한다.

2. 도래각 분포 (Arrive of Angular Spread : AAS)

도래각 또한 채널 특성 분석에 있어서 중요한 특성이다. 도래각은 수신단의 안테나에 수신되어지는 신호의 각도를 말한다. 도래각은 채널 환경에 의해 오차값이 생기며 그로인한 채널 특성 분석은 정확한 데이터를 추정할 수 없는 것이 현실이다. 하지만 SAGE 알고리즘을 통해 오차가 적은 도래각을 추정할 수 있다. 제주도 측정

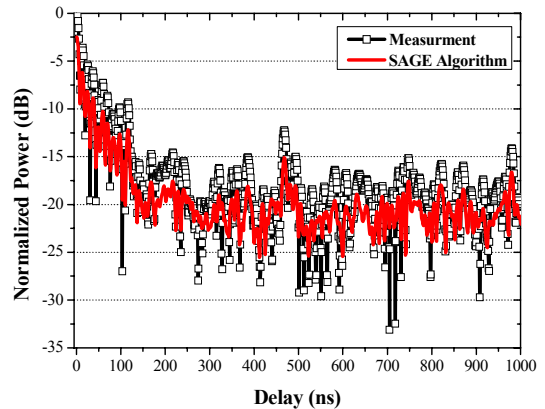


그림 3. 전력 지연 분포
Fig. 3. Power Delay Profile

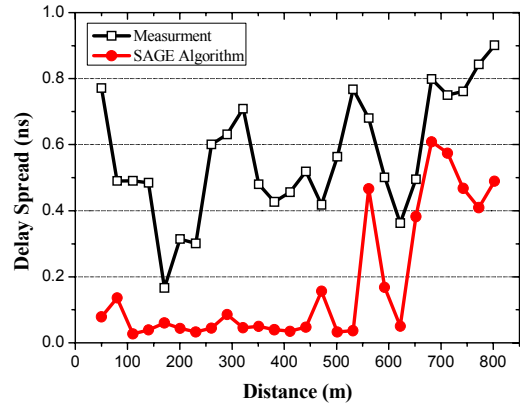


그림 4. 거리에 따른 지연 확산
Fig. 4. Delay Spread according to the distance

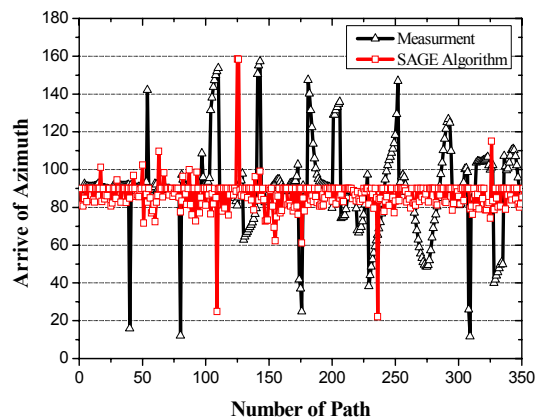


그림 5. 거리에 따른 Arrive of Azimuth
Fig. 5. Arrive of Azimuth according to the distance

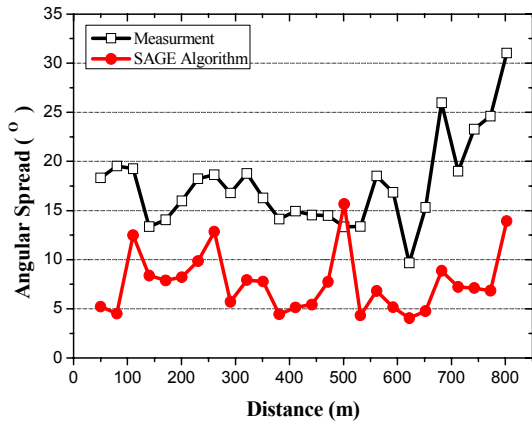


그림 6. 거리에 따른 각확산
 Fig. 6. Angular Spread according to the distance

지역에서 실제 수신단과 송신단은 각각 90°방향에 위치하고 있고 일반적인 측정과 SAGE 알고리즘의 도래각 추정은 그림 5에 도시되어 있다. 이러한 추정 데이터로 거리에 따른 도래각 확산값은 그림 x에 도시되어 있다. SAGE 알고리즘으로 추정된 각 확산값이 일반적인 확산값보다 약 8° 정도 줄어든 것을 확인 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 시변 채널 환경에서 채널 추정 알고리즘인 SAGE 알고리즘에 대해 설명하고 정확도 측면에서 성능을 분석하기 위해 제주도에서 측정한 전파 채널을 SAGE 알고리즘으로 파라미터를 추정하였다. 그 결과 SAGE 알고리즘으로 추론되는 파라미터들은 일반적으로 계산되는 파라미터들에 비해 확산도가 적은 값이 도출되었다. SAGE 알고리즘의 파라미터 추정은 제주도 실제 측정 환경에서 일반적인 계산보다 추정 오차가 적고 정확도 측면에서 더 안정적인 것을 보였다.

References

[1] M. Matthaiou, N. Razavi-Ghods, D. I. Laurenson, S. Salous, "An insight into the estimation of MIMO propagation parameters using the SAGE algorithm," in 2nd European Conference on Antennas and Propagation, pp. 1–5, 11–16. Nov. 2007.

DOI: <https://doi.org/10.1049/ic.2007.1048>

[2] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. AP-34, pp. 276–280, Mar. 1986.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/tap.1986.1143830>

[3] R. Roy and T. Kailath, "ESPRIT—Estimation of signal parameters via rotational invariance techniques," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. 37, pp. 984–995, July 1989.
 DOI: <https://doi.org/10.1117/12.55606>

[4] M. Feder and E. Weinstein, "Parameter estimation of superimposed signals using the EM algorithm," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. 36, pp. 477–489, Apr. 1988.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/29.1552>

[5] J. A. Fessler and A. O. Hero, "Space-alternating generalized expectation-maximization algorithm," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 42, no. 10, pp. 2664–2677, Oct, 1994.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/78.324732>

[6] Jung Myoung-Won, Chong Young-Jun, Pack Jeong-Ki, "Channel Correlation Analysis using MIMO Channel Measurement Parameters at Domestic 700MHz band," The journal of the Institute of Internet Broadcasting and Communication, vol. 13, no. 4, pp. 1–7, Aug. 2013.
 DOI: <https://doi.org/10.7236/jiibc.2013.13.4.1>

[7] Won-ho Jeong, Joo-Seok Kim, Myoung-Won Jung, Young-Keun Yoon, Jong-Ho Kim, Kyung-Seok Kim, "MIMO Radio Channel Measurement and Analysis at 781MHz," JIIBC, vol. 12, no. 2, pp. 181–188, April, 2012.
 DOI: <https://doi.org/10.7236/jiwit.2012.12.2.181>

[8] X. Yin, B. H. Fleury, P. Jourdan, and A. Stucki, "Polarization estimation of individual propagation paths using the SAGE algorithm," in Proc. the 14th IEEE 2003 International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, vol. 2, pp. 1795–1799, 7–10 Sep. 2003.
 DOI: <https://doi.org/10.1109/pimrc.2003.1260424>

저자 소개

김 주 석(정회원)



- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2009년 2월 : 충북대학교 전파공학과 대학원 졸업 (공학석사)
- 2015년 2월 : 충북대학교 전파통신공학과 대학원 졸업 (공학박사)
- 2014년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 사업화부문 연구원

<주관심분야 : 전파통신, 전파채널모델링, MIMO_OFDM, 디지털라디오, Cognitive Radio>

여 봉 구(정회원)



- 2015년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2017년 2월 : 충북대학교 전파통신공학과 대학원 졸업 (공학석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 현대엠시스템즈(주) 연구소 연구원

<주관심분야 : 전파통신, 위성통신 분석, 무선통신 암호화 알고리즘>

최 흥 락(준회원)



- 2017년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2017년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 석사과정

<주관심분야 : DSP 신호처리, 전파통신, 위성통신, 전파신호처리, 레이더 신호처리>

김 경 석(정회원)



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 2월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업 (공학박사)

- 2002년 3월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
 - 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
 - 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수
- <주관심분야 : 5G Massive-MIMO, 전파채널모델링, 위성보안망분석, Cognitive Radio, 전력선통신, 가시광통신, 디지털라디오, 전파감시/관리시스템>