

# 분산제어되는 셀룰라 시스템에서 SIR기반 빔 스위칭 기법

종신회원 김 동 희\*

## SIR based Beam Switching in Distributed Controlled Cellular Systems

Donghee Kim\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문은 분산 제어되는 셀룰라 시스템에서 셀간 간섭을 제어하기 위하여 SIR 기반 빔스위칭을 제안한다. 셀의 빔스위칭 패턴을 랜덤하게 결정하여 인접셀간 빔충돌을 피할 수 없는 기존의 랜덤 빔스위칭과 달리 SIR 기반 빔스위칭은 단말로부터 보고되는 SIR 추정값에 기반하여 셀의 빔스위칭 패턴을 업데이트한다. 인접셀들은 각각 독립적으로 자신의 빔 스위칭 패턴을 업데이트하며 인접셀간 빔의 충돌을 회피하는 빔스위칭 패턴으로 수렴해 간다. 본 논문은 두 인접한 셀 모델을 사용하여 SIR기반 빔스위칭이 랜덤 빔스위칭에 비해 약 20%의 성능 이득이 있음을 보인다.

**Key Words :** SIR based beam switching, random beam switching, coordinated beam switching, distributed controlled system, intercell interference

### ABSTRACT

SIR based beam switching in distributed controlled cellular systems is proposed to reduce intercell interference. Compared with Random beam switching that beam switching pattern is randomly selected and cannot avoid beam collision between neighboring cell, SIR based beam switching update its switching pattern based on SIR report from mobile. Neighboring cells independently update their switching patterns and the updated patterns converge to the patterns that minimize beam collision. We shows SIR base beam switching has 20% gain compared with random beam switching in two neighboring cell model.

### I. 서 론

셀룰라 시스템에서는 셀 평균 데이터 전송율의 개선뿐만 아니라 사용자의 위치에 관계없이 서비스의 품질을 유지하기 위해서, 사용자가 셀 경계에 위치한 경우에도 충분한 데이터 전송율을 유지하는 것이 필요하다. 셀 경계에 위치하여 인접 셀에서 간섭을 많이 받고, 서비스를 받는 기지국으로부터 사용자까지 경로 손실이 많이 발생하는 위치에 있는 경우에 데이터 전송율을 높이기 위해서는 셀 경계 사용자의 신호대 간

섭비를 높일 수 있는 기술이 필요하다.

셀간 간섭 제어 기술 중 다중안테나를 이용하여 인접셀간 사용되는 빔들이 충돌하지 않도록 하는 기술이 연구되고 있다<sup>[1,2]</sup>. 이러한 기술들은 셀간 조율을 통하여 인접셀들의 빔이 충돌하지 않도록 한다. 셀간 조율을 위해서는 조율에 필요한 스케줄링 정보들이 셀간 교환되어야 한다.

셀간 조율 정보의 교환없이 분산형으로 셀간 간섭을 감소시킬수 있는 기술로 랜덤 빔 스위칭 기술을 들 수 있다<sup>[3]</sup>. 원래 랜덤 빔스위칭 기술은 다중 사용자

\* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0064740)

\* 전주대학교 전기전자정보통신공학부 (donghee@jj.ac.kr)

논문번호: KICS2010-02-084, 접수일자: 2010년 2월 25일, 최종논문접수일자: 2010년 4월 6일

다이버시티를 증가시키기 위해 신호대간섭비(SIR : Signal to Interference Ratio)의 변화를 최대화하도록 제안되었으나, 추가적으로 셀간 간섭을 줄이는 효과가 있다. 인접한 기지국들이 랜덤하게 빔스위칭을 하고, SIR이 높은 단말을 스케줄러가 선택함으로써 인접셀로부터의 간섭이 적은 시점에 단말을 서비스 하게 된다.

랜덤 빔 스위칭을 실제 시스템에 적용하기 위하여 조율 빔 스위칭(CBS:Coordinated Beam Switching) 기술이 제안되었다<sup>1)</sup>. 단말이 SIR을 측정하고 이를 기지국에 보고 한다. 단말의 SIR측정부터 기지국이 서비스하기까지의 일련의 프로세스 시간을 고려하여 기지국은 일정 주기를 두고 랜덤한 빔 스위칭 패턴이 반복되도록 한다. 단말이 채널을 측정할 시점과 동일한 빔 스위칭 패턴이 반복되는 시점에 단말을 서비스하기 위함이다. 인접셀들간에는 주기정보와 같은 최소한의 조율정보만 교환된다. 그러나, 이러한 CBS는 인접셀들이 독립적으로 빔 스위칭 패턴을 설정함으로써 빔간의 충돌을 피할 수는 없다. 본 논문에서는 CBS에서 발생하는 빔간의 충돌을 피하기 위하여 각 셀이 독립적으로 빔을 업데이트하는 방안을 제시한다.

본 논문에서는 분산시스템에서 셀간 조율정보의 교환없이 인접셀간 빔의 충돌을 없도록 빔 스위칭 패턴을 설정하는 SIR 기반 빔 스위칭(SBS: SIR based Beam Switching) 패턴 결정 방식을 제안한다. 그림 1의 실선은 셀 1과 셀 2의 빔이 충돌하지 않는 경우를 나타내고, 점선의 빔은 충돌하는 경우를 나타낸다. CSB를 사용하면 랜덤하게 빔 스위칭을 하므로 특정 슬롯에서 점선과 같이 빔이 충돌하는 현상이 발생한다.

이를 보완하기 위해 SBS에서는 단말로부터의 리포트에 기반하여 빔 스위칭 패턴을 업데이트한다. 기지국은 단말로부터 리포트되는 SIR에 기반하여 SIR가 높은 단말이 선호하는 빔으로 빔 스위칭 패턴을 업데이트한다. 인접셀들이 일정한 주기로 위와 같은 빔 스위

칭 패턴 업데이트를 통하여 빔 충돌이 줄어들게 된다.

II장에서는 본 논문에서 사용된 시스템 모델을 소개하고, III장에서는 SBS를 제안한다. IV장에서는 CBS와 성능을 비교분석하고 V장에서 결론을 논한다.

## II. 시스템 모델

그림 1과 같이 인접한 두 개의 셀을 가정한다. 두 셀은 독립적인 두 개의 기지국에 의해 같이 각각 120°의 영역을 서비스하고 있으며, 서로 마주보고 있다.  $N_u$ 개의 단말이 각 셀에 랜덤하게 분포한다. 각 기지국은  $N_T$ 개의 송신안테나를 사용하여 빔 스위칭을 하고 있다고 가정한다. 기지국에서 사용하는 빔 스위칭을 위한 프리코더(precoder)는 공간을 균일하게 샘플링한 DFT기반 프리코더를 사용하며 다음과 같이  $E_1$ 과  $E_2$ 의 DFT 행렬로부터 구성된다.

$$E_1 = [E_{1,1} \ E_{1,2} \ E_{1,3} \ E_{1,4}] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & e^{j\frac{\pi}{2}} & e^{j\frac{2\pi}{2}} & e^{j\frac{3\pi}{2}} \\ 1 & e^{j\frac{2\pi}{2}} & e^{j\frac{4\pi}{2}} & e^{j\frac{6\pi}{2}} \\ 1 & e^{j\frac{3\pi}{2}} & e^{j\frac{6\pi}{2}} & e^{j\frac{9\pi}{2}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$E_2 = [E_{2,1} \ E_{2,2} \ E_{2,3} \ E_{2,4}] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ e^{j\frac{\pi}{4}} & e^{j\frac{3\pi}{4}} & e^{j\frac{5\pi}{4}} & e^{j\frac{7\pi}{4}} \\ e^{j\frac{2\pi}{4}} & e^{j\frac{6\pi}{4}} & e^{j\frac{10\pi}{4}} & e^{j\frac{14\pi}{4}} \\ e^{j\frac{3\pi}{4}} & e^{j\frac{9\pi}{4}} & e^{j\frac{15\pi}{4}} & e^{j\frac{21\pi}{4}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서,  $E_1$ 과  $E_2$ 의 열벡터 중 주빔이 중첩되는  $E_{1,3}$ 을 제외하고 7개의 프리코더로 사용되며, 프리코더 코드북,  $E_c$ ,는 다음과 같다. 여기서  $E_{1,3}$ 은  $E_1$ 행렬의 3번째 열벡터를 나타낸다.

$$E_c = [E_{2,3} \ E_{1,4} \ E_{2,4} \ E_{1,1} \ E_{2,1} \ E_{1,2} \ E_{2,2}] \quad (3)$$

그림 2는 식(3)의 프리코더 코드북을 적용한 빔포밍 패턴을 나타낸다. Beam 1은  $E_c$ 의 첫 번째 열벡터에 해당하는 프리코더이고, 오른쪽으로 순서대로 각각

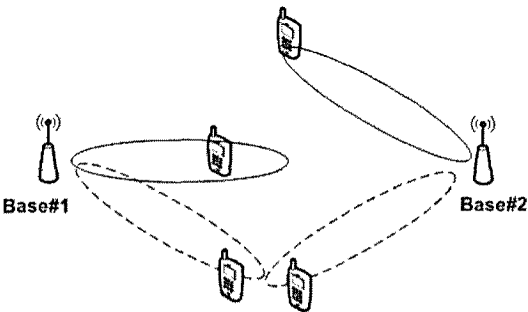


그림 1. 두 셀 모델  
Fig. 1. Two cell model

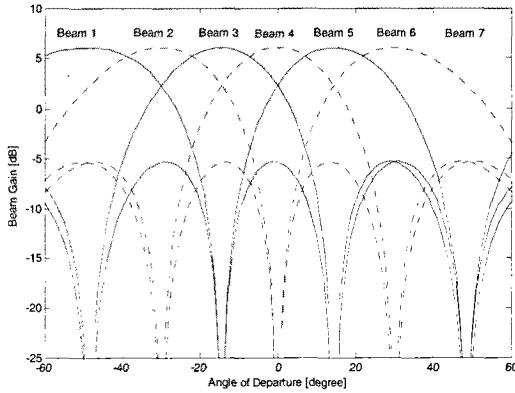


그림 2. 코드북에 사용된 프리코더들의 빔패턴  
Fig. 2. Beam patterns of precoders in codebook

$E_c$ 의 열벡터에 해당한다. 실선은  $E_2$ 의 프리코더, 점선은  $E_1$ 의 프리코더를 나타낸다. 각 프리코더의 주빔은  $120^\circ$ 의 공간을  $45^\circ$  간격으로 균일하게 샘플링하는 것을 알 수 있다.

### III. 빔스위칭

각 기지국은 매 시간 슬롯마다 스케줄링을 수행하며, 각 시간 슬롯에는  $N_{RB}$ 개의 시간-주파수자원(RB: Resource Block)이 있다. 스케줄러는 RB단위로 서비스할 사용자를 결정하고, 사용할 프리코더를 결정한다.  $l$ 번째 셀의  $i$ 번째 시간 슬롯에 사용되는 빔 스위칭 패턴,  $E_{s,i}^l$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$E_{s,i}^l = [e_{i1}^l \ e_{i2}^l \ \dots \ e_{iN_{RB}}^l] \quad (4)$$

여기서  $e_{ij}^l$ 는  $l$ 번째 기지국의  $i$ 번째 시간슬롯의  $j$ 번째 RB의 빔에 사용된 프리코더이다. 프리코더를 적용한  $l$ 번째 기지국의 송신안테나로부터  $k$ 번째 단말까지의 유효채널은 다음과 같다.

$$\widehat{H}_{ij}^l = H_{ij}^l e_{ij}^l \quad (5)$$

여기서  $H_{ij}^l$ 는  $l$ 번째 기지국의 송신안테나로부터  $k$ 번째 단말까지의 채널을 나타낸다.

1번째 기지국으로부터 서비스되는 단말을 가정하면, 단말은 1번째 기지국으로부터 수신되는 RB들의 채널이득과 2번째 기지국으로부터 수신되는 간섭을 고려한  $i$ 번째 시간슬롯의  $j$ 번째 RB의 SIR는 다음과

같다.

$$\left(\frac{S}{I}\right)_{ij} = \frac{\|\widehat{H}_{ij}^1\|}{\|\widehat{H}_{ij}^2\| + N} \quad (6)$$

여기서  $N$ 는 열잡음 전력을 나타낸다.

### 3.1 조율 빔 스위칭

각 셀은 독립적으로 각 RB에 사용할 프리코더를 프리코더 코드북에서 랜덤하게 선택한다.

$$e_{ij}^l = \text{rand}(E_{2,3} \ E_{1,4} \ E_{2,4} \ E_{1,1} \ E_{2,1} \ E_{1,2} \ E_{2,2}) \quad (7)$$

결정된 프리코더들은  $T_p$ 슬롯 후 반복되어 사용된다. 즉,

$$e_{ij}^l = e_{(i+T_p)j}^l \quad (8)$$

단말들은 RB별로 선택된 프리코더가 적용된 채널의 SIR을 측정 한 후, SIR이 가장 좋은 RB에 대하여 해당 RB의 인덱스와 해당 RB에서의 SIR을 피드백한다.

스케줄러는 단말이 채널을 측정 한  $i$ 번째 시간슬롯의 프리코더 패턴이 반복되는  $i+T_p$ 번째 슬롯에 단말이 보고한 RB를 이용하여 서비스한다. 스케줄러는 모든 사용자들의 피드백을 받아 각 RB별 가장 높은 SIR을 피드백하는 단말을 서비스하는 최대 처리율 스케줄러를 가정한다.

이와 같이 랜덤 빔 스위칭을 하고 여러 단말 중 각 RB별 높은 SIR을 피드백하는 단말을 선택함으로써, 다중사용자 다이버시티 이득을 얻게 된다. 또한, SIR이 높은 단말은 다른 셀로부터의 간섭이 작은 것을 의미하므로, 높은 SIR의 단말을 선택함으로써 셀간 간섭을 줄이는 효과가 있다.

그러나, 랜덤하게 빔을 사용함으로써 특정 RB에서 인접셀과 빔의 충돌이 발생하게 된다. 이렇게 충돌이 발생한 RB에 대하여 최대 처리율 스케줄링을 하더라도 해당 사용자는 낮은 전송율로 서비스 될 수 밖에 없다.

### 3.2 SIR 기반 빔 스위칭

제안하는 SBS에서는 인접셀과 빔의 충돌이 발생한 RB에서는 사용하는 프리코더를 업데이트 해주어 충돌이 발생하지 않도록 한다. 업데이트 하는 기준은 셀 내 단말들중 해당 RB에서 단말이 원하는 프리코더로 서비스했을 때 최고의 SIR을 제공할 수 있는 단말을

선택하는 것이다. 해당 RB는 선택된 단말의 선호하는 프리코더로 빔을 업데이트 한다. 단말은 선호하는 프리코더를 기지국에 알리기 위해 PMI(Preferred Matric Index)를 보고하고, PMI에 해당하는 프리코더를 사용한 경우에 예상 SIR을 추정하여 피드백한다.

각 셀은 우선 CBS의 식(7)와 같이 독립적으로 각 RB에 사용할 프리코더를 코드북에서 랜덤하게 선택한다. 또한, 결정된 프리코더들은 식(8)과 같이  $T_p$  슬롯 후 반복되어 사용된다. 단말들은 서비스를 받기 위해 RB별로 결정된 프리코더가 포함된 채널의 SIR을 측정한다 후, SIR이 가장 좋은 RB에 대하여 해당 RB의 인덱스와 해당 RB에서의 SIR을 피드백한다. 여기까지는 CBS의 운영과 동일하다.

이와 같이 결정된 빔 스위칭 패턴은  $N_p T_p$  이후에 업데이트된다. 여기서  $N_p$ 는 업데이트 주기를 결정하기 위해 설정된 파라미터로  $N_p T_p$ 마다 빔이 업데이트 되는 것을 나타낸다. 매  $N_p T_p$ 의 주기로 RB별로 선호하는 프리코더  $e_{ij}^{PMI}$ 를 결정하고, 해당 프리코더로 서비스될 때  $(S/I)_{ij}^{PMI}$ 을 다음과 같이 추정한다.

$$\left(\frac{S}{I}\right)_{ij}^{PMI} = \frac{\|H_{ij}^1 e_{ij}^{PMI}\|^2}{\|H_{ij}^2\|^2 + N} \quad (9)$$

단말은 식(10)과 같이 가장 큰  $(S/I)_{ij}^{PMI}$ 의  $j^*$ 번째 RB를 선택한다.

$$j^* = \arg \max_j \left(\frac{S}{I}\right)_{ij}^{PMI} \quad (10)$$

단말은 RB의 인덱스  $j^*$ 와  $(S/I)_{ij^*}^{PMI}$ 를 피드백 한다. 기지국은 단말들로부터 피드백된  $(S/I)_{ij^*}^{PMI}$  중 가장 큰  $(S/I)_{ij^*}^{PMI}$ 을 피드백한 단말을 선택하여 서비스한다. RB의 프리코더는 PMI에 해당하는 프리코더로 업데이트된다. 이와 같은 방식으로 해당 슬롯의 모든 빔들이 업데이트 된다.

모든 셀의 업데이트 주기  $N_p T_p$ 는 동일하나, 인접 셀의 빔 스위칭 패턴의 변화를 반영하여 자신의 셀 빔 스위칭 패턴을 업데이트하기 위하여 동일 슬롯에 인접셀들이 업데이트되지 않도록 한다.

#### IV. 성능 분석

CBS와 SBS의 RB당 평균 데이터 전송율은 각각

식(11)과 식(12)와 같이 구할 수 있다.

$$\overline{T_{RBS}} = \frac{1}{N_s} \frac{1}{N_{RB}} \sum_i \sum_j^{N_{RB}} \log_2 \left( 1 + \left(\frac{S}{I}\right)_{ij} \right) \quad (11)$$

$$\overline{T_{SBS}} = \frac{1}{N_s} \frac{1}{N_{RB}} \sum_i \sum_j^{N_{RB}} \log_2 \left( 1 + \left(\frac{S}{I}\right)_{ij}^{PMI} \right) \quad (12)$$

그림 3은 업데이트 횟수에 따른 평균 데이터 전송율을 나타낸다.  $N_{RB}$ 는 64,  $N_u$ 는 64,  $N_T$ 는 4, SNR은 5dB, 송신안테나의 AS(angle spread)는 8도, 수신안테나의 AS는 35도, 중심주파수 2GHz, 안테나간 간격은  $\lambda/2$ 를 가정하였다[5]. 페이딩은 매  $N_p T_p$  마다 독립적으로 발생되며,  $T_p$ 는 8슬롯,  $N_p$ 는 2를 가정하였다. 실제 시스템에서 SBS의 빔 업데이트는 단말의 이동에 따른 AoD의 변화를 반영하도록 이루어져야 하며, 페이딩의 변화를 추적하지 않도록 하여야 한다. 따라서 실제 시스템에서  $N_p T_p$ 는 1~2초 단위의 큰 값을 갖는 것이 적당하며, 본 논문에서는 시뮬레이션 속도를 고려하여  $N_p T_p$ 마다 독립적인 페이딩을 적용함으로써 이를 반영하였다. 각 사용자는 ER(equal resource) 스케줄러를 사용하여 매 슬롯 동일한 양의 RB를 사용하도록 한다. 한편 사용자가 사용하는 RB의 결정은 최대 처리율을 보장하도록 할당 가능한 사용자중 가장 높은 SIR의 사용자가 해당 RB를 점유하도록 한다.

실선은 셀 1의 전송율이고 점선은 셀 2의 전송율이다. 빔 스위칭 패턴 업데이트 이전인 첫 번째 업데이트

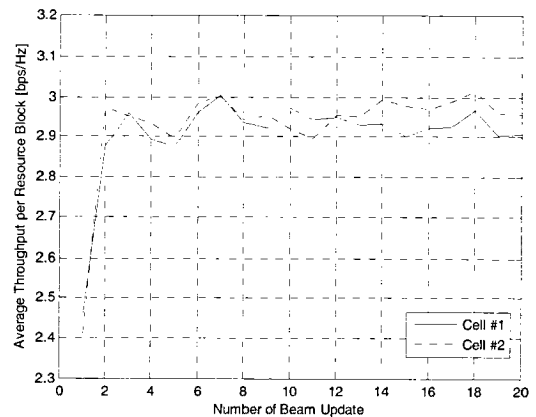


그림 3. 업데이트횟수에 따른 RB당 평균 데이터 전송율  
Fig. 3. Average cell throughput per RB according to number of update

트 주기에서는 CBS와 같이 랜덤하게 패턴이 설정되어 있어 평균 데이터 전송율이 낮으나, 두 번째 업데이트 주기부터는 평균 데이터 전송율이 증가한다. 업데이트를 계속하면서 평균 데이터 전송율에 변동이 있으나 비슷한 수준을 유지한다. 셀 1과 셀 2가 동일한 경향을 보인다.

그림 4는 사용자수에 따른 CBS와 SBS의 평균처리율이다. 두 방식 모두 사용자 수가 증가함에 따라 다중 사용자 다이버시티 효과에 의해 평균 처리율이 증가한다. 사용자가 1명인 경우 CBS와 SBS는 동일한 성능을 보인다. 이는 모든 시간과 RB에서 동일한 사용자가 사용되기 때문에 충돌을 회피하는 업데이트를 적용하는 것이 성능에 영향을 주지 않기 때문이다. 사용자수가 4명, 8명, 16명으로 증가하면서 CBS와 SBS의 성능차가 커지게 된다. 이는 SBS가 각각의 RB에서 인접셀의 빔을 회피할 수 있는 사용자를 선택하고, 해당 사용자의 PMI에 해당하는 빔을 사용하여 빔스위칭 패턴을 업데이트 하기 때문이다.

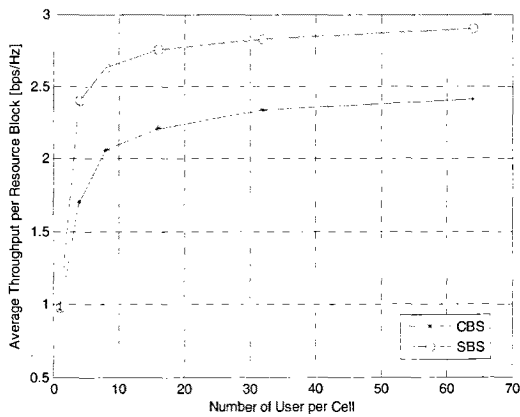


그림 4. 셀당 단말수에 따른 RB당 평균 데이터 전송율  
Fig. 4. Average cell throughput per RB according to number of users per cell

### V. 결 론

본 논문은 분산 제어되는 셀룰라 시스템에서 셀간 간섭을 제어하기 위하여 SIR 기반 빔 스위칭을 제안하였다. CBS는 셀의 빔스위칭 패턴을 랜덤하게 결정하여 인접셀간 빔충돌을 피할 수 없는 반면, SBS는 단말로부터 보고되는 SIR 추정값에 기반하여 셀의 빔을 업데이트함으로써 인접셀간 빔충돌을 회피한다. 인접셀들은 각각 독립적으로 자신의 빔 스위칭 패턴을 업데이트하며 인접셀간 빔의 충돌을 회피하는 빔스위칭 패턴으로 수렴해 간다. 본 논문은 두 인접한

셀 모델을 사용하여 SBS가 CBS에 비해 약 20%의 성능 이득이 있음을 보였다.

### 참 고 문 헌

- [1] Necker, M, "Interference Coordination in Cellular OFDMA Networks," IEEE Network, Vol.22, No.6, pp.12-19, 2009.
- [2] C. Botella, G. Pinero, A. Gonzalez, M. De Diego, "Coordination in a Multi-Cell Multi-Antenna Multi-User W-CDMA System: A Beamforming Approach," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.7, No.11, pp. 4479-4485, 2008.
- [3] O. Ozdemir, M. Torlak, "Opportunistic Beamforming over Rayleigh Channels with Partial Side Information," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol.7, No.9, pp.3417-3427, 2008.
- [4] Hosein, P.; van Rensburg, C., "On the Performance of Downlink Beamforming with Synchronized Beam Cycles," IEEE VTC, pp.1-5, 2009.
- [5] 3GPP contribution, "Evaluation methodology Document," <ftp://ftp.3gpp.org>, May 2008.

김 동 희 (Donghee Kim)

중신회원



1994년 2월 연세대학교 전기공학과 학사

1996년 8월 연세대학교 전기공학과 석사

2001년 8월 연세대학교 전기전자공학과 박사

2001년~2008년 삼성전자 통신연구소 표준연구팀 책임연구원

2006년~2008년 3GPP2 TSG-C WG3 부의장/평가 방법문서 기술편집장

2009년~현재 한국전자통신연구소 차세대통신방식 연구팀 초빙연구원

2008년~현재 전주대학교 전기전자정보통신공학부 조교수

<관심분야> 이동통신, MIMO, 협력통신, 방송시스템, D2D통신