

논문 2016-53-5-2

# 밀집한 소형셀 네트워크에서 클러스터링 기반 새로운 간섭 관리 기법

## (Clustering based Novel Interference Management Scheme in Dense Small Cell Network)

문 상 미\*, 추 명 훈\*, 이 지 혜\*, 권 순 호\*\*, 김 한 중\*\*\*, 김 대 진\*\*\*\*, 황 인 태\*\*\*\*

(Sangmi Moon, Myeonghun Chu, Jihye Lee, Soonho Kwon,  
Hanjong Kim, Daejin Kim, and Intae Hwang<sup>©</sup>)

### 요 약

LTE-A(Long Term Evolution-Advanced)에서는 비용 효율적 방법으로 급증하는 무선 데이터 서비스를 대처하고 사용자의 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위해 SCE(Small Cell Enhancement)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 수많은 소형셀이 밀집하여 불규칙하게 배치되기 때문에 전송품질 저하 등 많은 문제가 발생하게 된다. 본 논문에서는 밀집한 소형셀 네트워크에서 클러스터링 기반 간섭 관리 기법을 제안한다. 제안 기법은 UE(User Equipment)로부터 받은 RSRP(Reference Signal Received Power)를 비교하여 소형셀의 클러스터를 구성한다. 클러스터 내에서 ABS를 적용하여 소형셀 간 간섭을 완화시킨다. 또한, 전력제어를 적용하여 클러스터 간 간섭을 줄인다. 모의실험 결과, 제안한 기법에서 소형셀 사용자의 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio), 전송률 및 스펙트럼 효율이 향상되어 전체적인 셀 성능이 향상 되는 것을 볼 수 있다.

### Abstract

In Long Term Evolution-Advanced (LTE-A), small cell enhancement(SCE) has been developed as a cost-effective way of supporting exponentially increasing demand of wireless data services and satisfying the user quality of service(QoS). However, there are many problems such as the transmission rate and transmission quality degradation due to the dense and irregular distribution of a large number of small cells. In this paper, we propose a clustering based interference management scheme in dense small cell network. We divide the small cells into different clusters according to the reference signal received power(RSRP) from user equipment(UE). Within a cluster, an almost blank subframe(ABS) is implemented to mitigate interference between the small cells. In addition, we apply the power control to reduce the interference between the clusters. Simulation results show that proposed scheme can improve Signal to Interference plus Noise Ratio(SINR), throughput, and spectral efficiency of small cell users. Eventually, proposed scheme can improve overall cell performance.

**Keywords :** ABS, Clustering, Dense small cell network, Power Control, SCE

\* 학생회원, \*\*\*\* 평생회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과

(School of Electronics & Computer Engineering Chonnam National University)

\*\* 정회원, 한국항공우주연구원 나로우주센터 (NARO Space Center, Korea Aerospace Research Institute)

\*\*\* 평생회원, 한국기술교육대학 정보기술공학부 (School of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education)

© Corresponding Author(E-mail: hit@jnu.ac.kr)

※ 이 논문(저서)은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014H1C1A1066568)

※ 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015R1D1A1A01059397)

I. 서론

급증하는 모바일 트래픽 용량에 대처하고 사용자의 QoS(Quality of Service)를 만족시킬 수 있는 기술 중 하나로 단위면적당 용량 증대에 기여할 수 있는 소형셀 기술이 부각되고 있다<sup>[1~2]</sup>. 이동통신 표준화 단체인 3GPP에서도 모바일 트래픽의 폭증을 해결하고 사용자의 QoS/QoE(Quality of Experience)를 향상하기 위한 기술로 소형셀 향상 기술(SCE: Small Cell Enhancement)과 매크로 기지국 커버리지 안에 소형셀 기지국이 중첩된 HetNet(Heterogeneous Network) 환경에 대한 연구 및 표준화를 진행하고 있다. HetNet 환경에서 소형셀은 공공장소, 인구 밀집 지역 등에서 효과적인 트래픽 수용 기술로 등장하고 있으며, 매크로셀과의 간섭제어 및 협력전송에 의하여 용량 증대 효과를 가져올 수 있다.

3GPP에서 고려하는 소형셀 배치 시나리오는 그림 1과 같이 크게 4가지로 나눌 수 있다<sup>[3]</sup>.

시나리오 1은 소형셀이 기존의 매크로셀 네트워크에 중첩되도록 배치된다. 이 때, 매크로셀과 소형셀은 같은 주파수 대역을 사용하는 것으로 가정하기 때문에 하향 링크에서 소형셀이 매크로셀로부터 겪는 간섭은 매우 크다. 그렇기 때문에 매크로셀과 소형셀의 간섭을 제어하기 위해 ABS(Almost Blank Subframe)<sup>[4]</sup>, CoMP(Coordinated Multi Point)<sup>[5],[6]</sup>와 같은 간섭 제어 기법을 요한다. 시나리오 2a와 2b는 소형셀의 환경이 outdoor와 indoor로 나뉜다. 이 때, 매크로셀과 소형셀이 서로 다른 주파수 대역을 사용하여 매크로셀과 소형셀 간의 간섭은 없다. 이 경우에는 같은 주파수 대역을 쓰는 소형셀들 간 간섭을 제어하는 기술이 필요하다. 마지막으로 시나리오 3은 indoor 배치 시나리오이다. 이 시나리오는 outdoor 서비스 영역과 매크로셀이 존재하지 않고, indoor환경에서의 소형셀만 고려한다.

밀집한 소형셀 네트워크에서는 수많은 소형셀이 밀집하여 불규칙하게 배치되기 때문에 ABS 기술을 적용하기에 더욱 어려움에 직면해 있다. 또한, CoMP 기법은 데이터와 CSI(Channel State Information) 공유를 요구하기 때문에 밀집한 소형셀 네트워크에서는 CoMP의 이점을 얻을 수 없는 것이 명백하다. 따라서, 효율적이고 실제적으로 밀집한 소형셀 네트워크에서 셀 간 간섭 완화는 여전히 해결해야 할 문제점이다. 본 논문에서는 밀집한 소형셀 네트워크에서 클러스터링 기반 간섭 관리 기법을 제안한다. 제안 기법은 UE(User Equipment)로부터 받은 RSRP(Reference Signal Received Power)

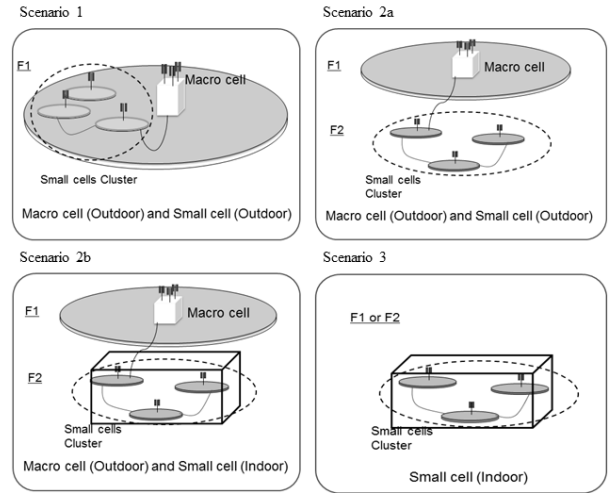


그림 1. 소형셀 배치 시나리오  
Fig. 1. Small cell deployment scenario.

를 비교하여 소형셀의 클러스터를 구성하고 클러스터 내에서 ABS를 적용하여 소형셀 간 간섭을 완화시킨다. 또한, 전력제어를 적용하여 클러스터 간 간섭을 줄인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 시스템 모델을 정의하고 III장에서 클러스터링 기반 간섭 완화 기법을 제안한다. IV장에서는 모의실험 결과를 통해 성능 평가를 하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 3GPP 표준화를 기반으로 하였으며 실제 응용 시스템 관점에서 연구를 수행 하였다. 그림 2와 같이 소형셀 시나리오 2a는 매크로셀과 소형셀이 서로 다른 주파수 대역을 사용하여 피크 데이터율을 증가시키고 더 큰 효율을 달성시킨다. 소형 셀은 효율적으로 높은 주파수 대역을 사용하고 기존의 매크로셀 네트워크에 중첩되도록 배치된다. 이와 같은 시나리오는 Advanced C-RAN(Centralized-Radio Access Network)라고 불리며, 광섬유와 고밀도 BDE(Baseband Digital Equipment)로부터 수많은 RRH(Remote Radio Head)를 확장하여 코어 네트워크 사이의 제어 신호를 증가시키지 않고 속도 및 용량을 증가시킬 수 있다.

이 시나리오에서는 주요 간섭은 더 이상 3GPP REL-11의 매크로셀과 소형 셀 사이의 간섭이 아니라 소형셀 간 간섭이다. 또한 간섭 레벨은 outdoor 환경에서 고밀도 배치 때문에 3GPP REL-9에서와 같은 소형셀 사이보다 훨씬 더 높다. 소형셀 밀도의 증가로, 소형셀 사용자 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)

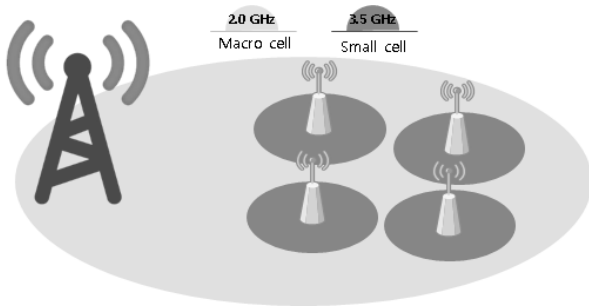


그림 2. 소형셀 배치  
Fig. 2. Small cell deployment.

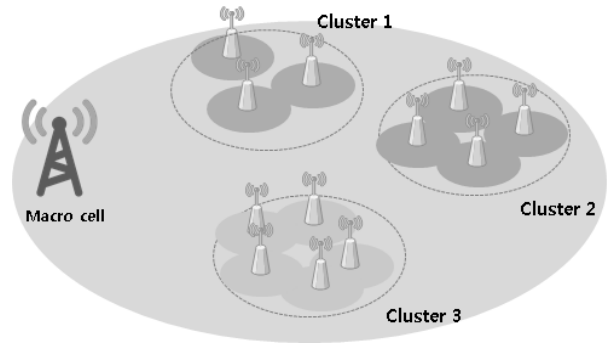


그림 3. 소형셀 클러스터링  
Fig. 3. Small cell Clustering.

은 저하된다. 따라서, 클러스터링 기반 간섭 관리 기법이 소형셀 간 간섭 문제를 해결하기 위해 필요하다.

### III. 제안 알고리즘

본 장에서는 클러스터링 기반 간섭 관리 기법을 제안 한다. 제안 기법은 UE로부터 받은 RSRP를 비교하여 소형셀의 클러스터를 구성하고 클러스터 내에서 ABS를 적용하여 소형셀 간 간섭을 완화시킨다. 추가적으로, 클러스터간 간섭을 줄이기 위해 전력제어를 적용한다.

#### 1. RSRP 기반 클러스터링

본 절에서는 RSRP를 기반으로 소형셀을 서로 다른 클러스터로 구분한다. UE로부터 받은 이웃셀의 RSRP 값을 서빙셀과 비교하여 문턱값과 보다 크다면 간섭 셀로 고려하여 같은 클러스터로 생각한다. 따라서 아래 기준에 따라 소형셀을 클러스터로 구분하며 그림 3과 같다.

$$Cluster_j = \begin{cases} 1, & \text{if } RSRP_i \geq Threshold_j \\ 0, & \text{if } RSRP_i < Threshold_j \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $i$ 는 소형셀의 인덱스이고  $j$ 는 클러스터의 기준이 되는 소형셀을 나타낸다. 본 논문에서는 문턱 값은 6dB를 적용하였다.

#### 2. 시간 도메인 간섭 관리

클러스터 내에서 소형셀 간 간섭을 줄이기 위하여 ABS를 적용하며 이에대한 비율과 패턴은 다음과 같다.

ABS 비율  $\alpha$ 는 클러스터에서 각 소형셀 내의 사용자 비율에 따라 다음과 같이 정의된다.

Small cell 1	Small cell 2	Small cell 3	Small cell 4
ABS			ABS
	ABS		ABS
ABS		ABS	
	ABS		ABS
			ABS
ABS			
	ABS		ABS
		ABS	
	ABS		ABS
ABS		ABS	

그림 4. ABS 패턴의 예  
Fig. 4. Example of ABS pattern.

$$\alpha = 1 - \frac{\text{Number of serving small cell UEs}}{\text{Number of cluster UEs}} \quad (2)$$

이와 같이, 클러스터 내 서빙 소형셀 사용자 수에 따라 ABS 비율  $\alpha$ 를 다르게 함으로써 시스템의 효율을 최대화 할 수 있다.

ABS 패턴은 클러스터 내에서 소형셀 간 간섭이 최소화 할 수 있도록 그림 4와 같이 선택한다.

#### 3. 전력 제어

본 절에서는 추가적으로 클러스터의 경계 영역에 있는 소형셀들 사이 간섭을 줄이기 위해 전력 제어 기법을 제안한다. 제안한 전력 제어 기법의 순서도는 그림 5와 같이 간략화 할 수 있다. 먼저 클러스터  $j$ 의 소형셀은 주기적으로 커버리지 이내에 클러스터  $i$ 의 소형셀 사용자의 유무를 확인한다. 클러스터  $j$ 와  $i$ 의 소형셀 사이의 경로 손실 값이 문턱값보다 크다면 클러스터  $j$ 의 소형셀은 최대 전력으로 송신한다.

그러나 일정 수준 이하의 경로 손실 값을 갖는다면 클러스터  $j$ 의 소형셀은 사용자의 최소 SINR을 보장하

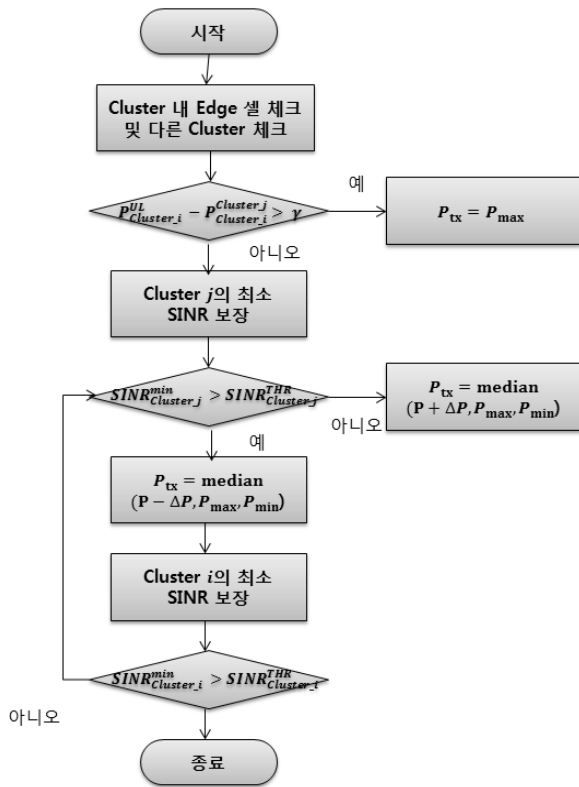


그림 5. 제안 전력 제어 기법의 흐름도  
 Fig. 5. Flow Chart of the proposed power control scheme.

기 위하여 자신에게 접속된 사용자 중 가장 작은 SINR인  $SINR_{Cluster-j}^{min}$ 와 펌토셀 사용자의  $SINR_{Cluster-j}^{Thr}$ 와 비교 분석 후 송신 전력을 제어한다. 목표 SINR보다 작은 SINR을 갖는 클러스터  $j$ 의 소형셀 사용자가 존재하는 경우 소형셀의 전송 전력을 증가시키고, 그 반대의 경우 소형셀의 전송 전력을 감소시켜 클러스터  $i$ 의 소형셀 사용자에게 미치는 간섭의 영향을 줄인다.

추가적으로 클러스터  $j$ 의 소형셀 사용자의 SINR을 보장하면서 클러스터  $i$ 의 소형셀 사용자의 SINR을 향상시키기 위해 클러스터  $j$ 의 소형셀 전송 전력을 감소시킨다.

여기서  $P_{Cluster-i}^{UL}$ 는  $i$ 번째 클러스터 사용자의 상향링크 전송 전력,  $P_{Cluster-i}$ 는  $j$ 번째 클러스터에서  $i$ 번째 클러스터 사용자의 수신 전력이며,  $\gamma$ 는 클러스터  $i$ 와 클러스터  $j$  사이의 거리를 결정하기 위한 문턱값으로써 dB 단위로 표현된다.  $SINR_{Cluster-j}^{min}$ 와  $SINR_{Cluster-i}^{min}$ 는 각각 클러스터  $j$  사용자의 최소 SINR과 클러스터  $j$  반경 이내에 존재하는 클러스터  $i$  사용자의 최소 SINR이다.  $SINR_{Cluster-j}^{Thr}$ 와  $SINR_{Cluster-i}^{Thr}$ 는 클러스터  $j$ 와

표 1. 모의실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters.

Simulation Parameters	Macro Cell	Small Cell
System Bandwidth	10 MHz (50 PRBs)	
Carrier frequency	2.0 GHz	3.5 GHz
Total BS Tx power	46 dBm	30 dBm
Channel Model	UMa	UMi
Pathloss [dB] (R in km)	128.1 + 37.6log <sub>10</sub> (R)	140.7 + 36.7log <sub>10</sub> (R)

$i$  사용자의 목표 SINR이다. 그리고  $P_{max}$ 와  $P_{min}$ 은 각각 클러스터  $j$ 에서 소형셀의 최대 및 최소 송신 전력이고,  $\Delta P$ 는 측정 SINR과 목표 SINR에 따라 클러스터  $j$ 에서 소형셀의 송신 전력의 크기를 조절할 수 있는 파라미터이다.

#### IV. 모의실험 결과 및 성능 분석

본 장에서는 기존 및 제안한 간섭 관리 기법에 대하여 성능 분석이 이루어졌다. 이에 대한 모의실험 모델 및 파라미터와 모의실험 결과는 다음과 같다.

##### 1. 모의실험 모델 및 파라미터

모의실험은 LTE-A 표준에 따라 소형셀 시나리오 2a에서 간략화한 시스템 레벨 모의실험이 이루어졌다. 매크로셀과 소형셀에 대한 주요 파라미터 값들은 표 1과 같다.

##### 2. 성능분석

제안한 기법의 성능 향상 평가를 위해 다음과 같은 기법들과 비교 분석한다. No ICIC는 소형셀 사용자 모두에게 랜덤하게 자원을 할당하는 기법이다. 또한, ABS는 제안된 기법 중 소형셀 클러스터링 후 클러스터 내에서 ABS만 사용하여 간섭을 관리하는 기법이고, ABS+Power Control는 클러스터 내 또는 클러스터 간 간섭을 관리하기 위하여 ABS 및 전력 제어 기법을 적용한 기법이다.

그림 6은 소형셀 사용자의 수신 SINR CDF (Cumulative Distribution Function)를 나타낸 것이다.

제안한 기법에서 ABS만 적용된 경우, 클러스터의 기준 소형셀들을 중심으로 간섭을 미치는 소형셀들을 클러스터링 한 후 클러스터 내 ABS를 적용하여 셀 간섭을 줄임으로써 성능 향상을 가져다 준다. 하지만 클러

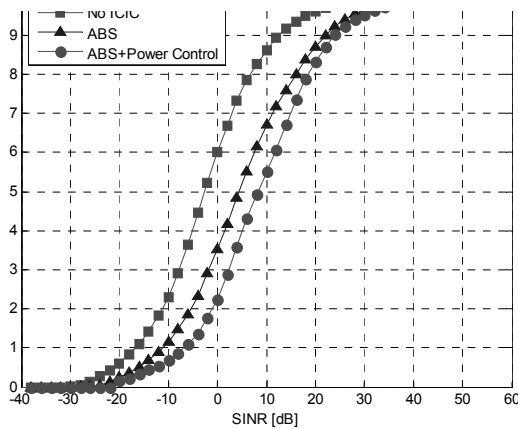


그림 6. 소형셀 사용자의 SINR CDF  
Fig. 6. SINR CDF of Small Cell Users.

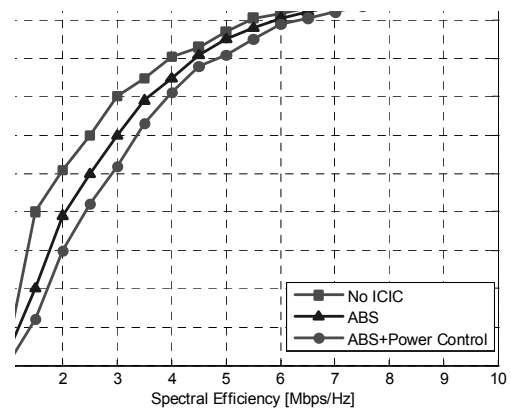


그림 8. 소형셀 사용자의 스펙트럼 효율 CDF  
Fig. 8. Spectral Efficiency CDF of Small Cell Users.

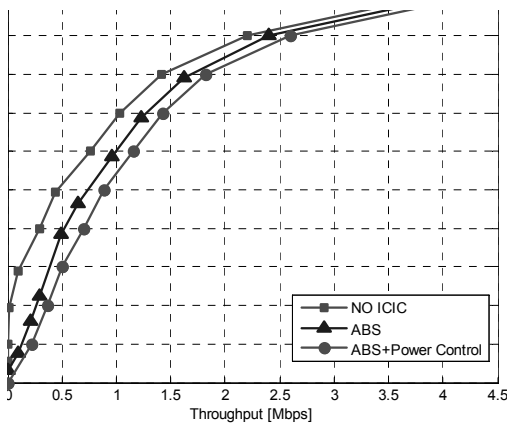


그림 7. 소형셀 사용자의 전송률 CDF  
Fig. 7. Throughput CDF of Small Cell Users.

스터의 경계에 있는 소형셀의 경우 다른 클러스터의 소형셀 간에 간섭이 발생하게 된다. 따라서 클러스터 간 간섭을 줄이기 위하여 전력 제어를 적용하여 셀 경계의 간섭이 감소하여 SINR 성능이 향상된 것을 볼 수 있다.

성능 향상 평가를 위해 전송률 및 스펙트럼 효율에 대하여 비교 분석한다. 그림 7과 그림 8은 각각 소형셀 사용자의 전송률과 스펙트럼 효율 CDF이다.

No ICIC, ABS, ABS+Power Control 순으로 스펙트럼 효율 성능이 향상된 것을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 밀집한 소형셀 네트워크에서 클러스터링 기반 간섭 관리 기법을 제안하였다. 제안 기법은 UE로부터 받은 RSRP를 비교하여 소형셀의 클러스터를 구성한다. 클러스터 내에서 ABS를 적용하여 소형셀 간 간섭을 완화시킨다. 또한, 전력제어를 적용하여 클러스

터 간 간섭을 줄인다. 모의실험 결과, 제안한 기법에서 소형셀 사용자의 SINR, 전송률 및 스펙트럼 효율이 향상되어 전체적인 셀 성능이 향상 되는 것을 볼 수 있다.

## REFERENCES

- [1] Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2010-2015. White Paper, Feb. 2011.
- [2] Insoo Hwang; Bongyong Song; Soliman, S.S., "A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks," Communications Magazine, IEEE, vol.51, no.6, pp.20,27, June 2013.
- [3] 3GPP TR 36.872 v12.1.0, "Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Physical Layer Aspects," December 2013.
- [4] Sangmi Moon, Bora Kim, Saransh Malik, Daejin Kim, and Intae Hwang, "Interference Management with Cell Selection using Cell Range Expansion and ABS in heterogeneous Network based on LTE-Advanced," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.50, NO.8, August 2013.
- [5] Bora Kim, Sangmi Moon, Saransh Malik, Cheolsung Kim, and Intae Hwang, "Performance Analysis of Coordinated Multi-Point with Scheduling and Precoding schemes in LTE-Advanced System," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.50, NO.7, July 2013.
- [6] Bora Kim, Sangmi Moon, Saransh Malik, Cheolsung Kim, and Intae Hwang, "Performance Analysis of CoMP with Scheduling and Precoding Techniques in the HetNet System," Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.50, NO.8, August 2013.

저 자 소 개



**문 상 미**(학생회원)  
 2012년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사  
 2014년 8월 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사  
 2014년 9월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정  
 <주관심분야: 이동통신, ICIM, MIMO-OFDM, D2D, SCE, V2X>



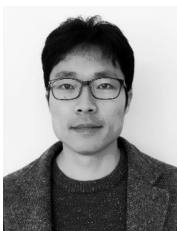
**추 명 훈**(학생회원)  
 2015년 8월 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사  
 2015년 9월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정

<주관심분야: 디지털통신, 무선통신시스템, 차세대이동통신, V2V Channel estimation & tracking>



**이 지 혜**(학생회원)  
 2016년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학과 학사  
 2016년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정

<주관심분야: 디지털통신, 무선통신시스템, 차세대이동통신, 3D-MIMO>



**권 순 호**(정회원)  
 2002년 2월 전남대학교 컴퓨터공학과 학사  
 2004년 8월 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사  
 2004년 7월~현재 한국항공우주연구원 선임연구원

2016년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야: 디지털통신, 무선통신시스템, D2D, 차세대이동통신>



**김 한 종**(평생회원)  
 1986년 2월 한양대학교 전자공학과 학사  
 1988년 8월 연세대학교 전자공학과 석사  
 1988년 9월~1994년 2월 연세대학교 전자공학과 박사

1994년 9월~현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수  
 <주관심분야: 디지털통신, 무선통신시스템, 방송시스템, 신호처리 및 마이크로 프로세서 응용>



**김 대 진**(평생회원)  
 1984년 서울대학교 전자공학과 학사  
 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사

1991년 7월~1996년 12월 LG전자 멀티미디어연구소 책임연구원  
 1997년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수  
 <주관심분야: 디지털 통신, 디지털 방송>



**황 인 태**(평생회원)  
 1990년 2월 전남대학교 전자공학과 학사  
 1992년 8월 연세대학교 전자공학과 석사  
 1999년 9월~2004년 2월 연세대학교 전기전자공학과 박사

1992년 8월~2006년 2월 LG전자 책임 연구원  
 2006년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

<주관심분야: 디지털통신, 무선통신시스템, 차세대이동통신, MIMO, OFDM, MIMO-OFDM, Relay, ICIM, CoMP, D2D, SCE, MTC>