

논문 2013-50-8-5

LTE-Advanced 기반 이종 네트워크에서 셀 영역 확장에 대한 셀 선택과 ABS를 통한 간섭 관리 기법

(Interference Management with Cell Selection using Cell Range
Expansion and ABS in Heterogeneous Network based on
LTE-Advanced)

문 상 미*, 김 보 라*, 사란쉬 말리크*, 김 대 진**, 황 인 태**

(Sangmi Moon, Bora Kim, Saransh Malik, Daejin Kim, and Intae Hwang[©])

요 약

LTE(Long Term Evolution)-Advanced에서는 저전력 피코셀(picocell)과 같은 소형셀을 중첩하여 배치해 시스템 성능을 향상시키기 위한 HetNet(Heterogeneous Network)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 HetNet에서 데이터 오프로딩 효과를 증대시키기 위해 셀 영역 확장(CRE: Cell Range Expansion) 기술이 소개되었다. 본 논문에서는 최적의 오프로딩 효과를 위해 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio) 기반 셀 선택 기법을 제안한다. 셀 확장 영역에 존재하는 사용자의 간섭 관리를 위해 ABS를 사용하며, 스펙트럼 효율을 증가시키기 위하여 동적인 ABS 비율을 사용한다. 모의실험 결과, 제안한 기법에서 피코셀뿐만 아니라 매크로셀 사용자의 스펙트럼 효율이 향상되어 전체적인 사용자의 성능이 향상된 것을 볼 수 있다.

Abstract

Long Term Evolution (LTE) - Advanced has developed Heterogeneous Network (HetNet) that consists of a mix of macrocells and low-power nodes such as picocells to improve the system performance. Also, to encourage data offloading in HetNet, Cell Range Expansion (CRE) have been introduced. In this paper, we propose a cell selection scheme based on Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) for optimal offloading effect. And we manage the interference for user located in cell range expanded region using Almost Blank Subframe (ABS) with flexible ABS ratio to improve the spectrum efficiency in time domain. Simulation results show that proposed scheme can improve spectrum efficiency of macrocell and picocell user. Eventually, proposed scheme can improve overall user performance.

Keywords : ABS, Cell selection, CRE, HetNet, Interference, SINR

* 학생회원, ** 평생회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과

(School of Electronics & Computer Engineering Chonnam National University)

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

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-3005)

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2013R1A1A2007779)

※ 이 논문은 2012년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

접수일자: 2013년4월9일, 수정완료일: 2013년7월31일

I. 서론

최근 스마트폰의 급격한 보급과 음성 위주의 이동 통신 서비스가 무선 멀티미디어 콘텐츠를 중심으로 하는 데이터 위주의 서비스로 전환됨에 따라 데이터 트래픽이 기하급수적으로 증가하고 있다. 매크로셀(macrocell) 기반의 point-to-point 링크의 스펙트럼 효율은 이미 이론적 한계치에 도달함에 따라 시스템 스펙트럼 효율을 향상시키기 위해 매크로셀 배치 밀집도를 증가시킬 수 있다. 하지만 셀 분할(cell-splitting) 기반의 매크로셀 적용은 셀 간 간섭제어의 어려움으로 인해 그 이득이 제한적으로 얻어지는 실정이다. 따라서, 네트워크의 용량을 증대시키기 위해 저전력 피코셀(picocell)과 같은 소형셀을 중첩하여 배치해 단위 면적당 셀 용량 증대와 셀 경계 지역에 위치한 단말의 서비스 품질을 향상시키기 위한 HetNet(Heterogeneous Network)이 소개 되었다^{[1][2]}.

피코셀 배치는 네트워크에 상당한 성능 향상을 가져다 주지만, 많은 문제점이 발생한다. 주요 문제점 중 하나로 매크로셀과 피코셀간 간섭 문제를 생각할 수 있다. 예를 들어, 그림 1과 같이 매크로셀 내에서 기지국의 신호와 피코셀의 신호 간 상호 간섭이 발생하여 오히려 성능을 저하시키는 문제점이 발생할 수 있다. 즉, 연결되어 신호를 받고 있는 서빙 셀의 신호세기 보다 주변의 간섭 신호가 더 커 성능 저하가 발생할 수 있다^[3].

3GPP(3rd Generation Partnership Project) REL-8/9에서 표준화된 간섭 관리는 구체적으로 HetNet 설정을 고려하지 않았고 지배적인 HetNet 간섭 시나리오에 대

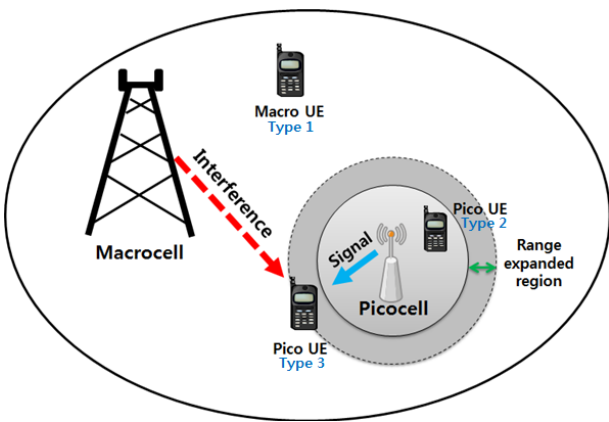


그림 1. HetNet에서 지배적인 DL cross-tier 간섭 시나리오
 Fig. 1. Dominant DL cross-tier interference scenario in HetNet.

해 효과적이지 않다. 따라서 이러한 지배적인 간섭 시나리오를 해결하기 위해, Release 10에서 시간 도메인 기반 간섭 관리 기술을 표준화하였다. 이는 전송시간 구간의 일부를 매크로셀이 전송하지 않게 설정하고 이 구간에서 피코셀들에서 데이터 전송을 수행하게 성능을 개선한다. 이와 같이 매크로셀이 전송하지 않는 구간을 ABS(Almost Blank Subframe)이라고 한다. 예를 들어, 보행자 사용자가 피코셀의 범위 영역에서 피코셀에 연결되어 있을 경우, 매크로셀-피코셀 사용자의 하향링크(DL: Down Link) 인접 셀 간섭을 완화하기 위해 매크로셀 사용자는 ABS를 사용한다^[4].

피코셀은 일반적으로 매크로 셀에 비해 수십 배 작은 전송 전력 레벨을 사용하여 하향 링크로 신호를 전송한다. 이때, 사용자가 셀을 선택하는 방법은 다음과 같다. 가장 일반적인 방법으로 RSRP(Reference Signal Received Power)를 측정하여 가장 높은 신호 세기를 제공하는 셀을 자신의 서빙 셀로 선택하는 방법이다. 하지만 피코셀과 같이 전송 전력 자체가 처음부터 크게 차이가 나는 경우, 반드시 신호의 세기만을 측정하여 서빙 셀을 선택하는 것이 최적의 셀 선택 방법은 아닐 수 있다. 즉, 상향링크의 측면에서는 보다 가까운 위치에 존재하는 피코셀을 서빙 셀로 선택하는 것이 보다 최적일 것이며, 또한 매크로셀의 트래픽 오프로딩이라는 목적을 달성하기 위해 신호 세기 자체가 아닌 경로 손실(path loss)이 더 작은 셀을 자신의 서빙 셀로 선택하는 것도 가능하다. 이러한 목적을 위해 이미 REL-8부터 셀 선택에서 사용할 수 있는 신호 세기를 계산할 때 오프셋 값을 적용할 수 있도록 하였다. 이렇게 오프셋 값을 이용하여 실제 신호 세기에 의해 형성되는 피코 셀의 커버리지를 인위적으로 확장하는 방법을 사용할 수 있으며, 이를 셀 영역 확장(CRE: Cell Range Expansion)이라고 부른다. 즉, 피코 셀의 셀 영역 확장은 매크로 셀의 트래픽 오프로딩 효과, 그리고 상향 링크의 성능 향상 효과 등을 위해 흔히 고려할 수 있는 방식이다. 그러나 셀 영역 확장을 사용하게 되면 지배적 간섭 시나리오가 만들어진다^[5~6].

오프로딩 효과를 얻기 위해, 핸드오버(handover) 기준으로 RSRP, path loss와 같은 오프셋 값이 필요하다. 큰 오프셋을 사용하면, 피코셀에 연결되어 오프로딩 된 사용자를 위해 더 많은 자원들이 보호된다. 따라서, 본 논문에서는 최상의 성능을 얻기 위해 CRE에 대한 오프

셋 값과 자원의 양을 효과적으로 관리할 수 있는 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio) 기반 셀 선택 기법을 제안한다. 또한 셀 확장 영역에 존재하는 사용자의 간섭 관리를 위해 ABS를 사용하며, 스펙트럼 효율을 증가시키기 위하여 동적인 ABS 비중을 사용한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 기본적인 HetNet 시스템 모델을 정의하고 III장에서 셀 선택과 ABS를 통한 간섭 완화기법을 제안한다. IV장에서는 모의실험 결과를 통해 성능평가를 하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 피코셀과 함께 3GPP LTE(Long Term Evolution)-Advanced 네트워크에서 하향링크를 고려한다. 그림 2는 매크로셀, 피코셀, 매크로셀 사용자 및 피코셀 사용자로 구성된 간단한 HetNet을 보여준다.

LTE-Advanced 시스템에서, 매크로셀과 피코셀 모두 같은 주파수 밴드에서 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 시스템이 작동된다. 따라서, 매크로셀 사용자 m 의 sub-carrier k 에서 수신 SINR은 다음과 같다.

$$SINR_{m,k} = \frac{P_{M,k}G_{m,M,k}}{N_0 + \sum_M P_{M',k}G_{m,M',k} + \sum_P P_{P,k}G_{m,P,k}} \quad (1)$$

여기서 $P_{M,k}$ 와 $P_{M',k}$ 각각 sub-carrier k 에서 서빙 매크로셀 M 과 이웃 매크로셀 M' 의 송신 전력이다. $G_{m,M,k}$ 와 $G_{m,M',k}$ 는 각각 sub-carrier k 에서 매크로셀 사용자 m 과 서빙 매크로셀 M , 매크로셀 사용자 m 과 이웃 매크로셀 M' 사이의 채널 이득이다. 이와 유사하게, $P_{P,k}$

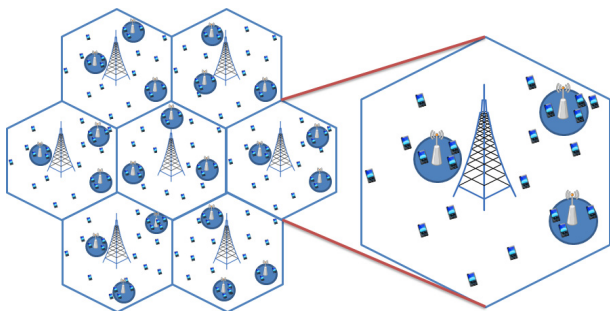


그림 2. 매크로셀과 피코셀로 구성된 이종 네트워크
Fig. 2. Heterogeneous Network consists of macrocells and picocells.

는 sub-carrier k 에서 이웃 피코셀 P 의 송신 전력이고, $G_{m,P,k}$ 는 sub-carrier k 에서 매크로셀 사용자 m 과 이웃 피코셀 P 사이의 채널 이득이다. N_0 는 white noise power spectral density이다.

피코셀 사용자의 경우, 매크로셀과 주변 피코셀에게 간섭을 받는다. 매크로셀 사용자와 유사하게 피코셀 사용자 p 의 수신 SINR은 다음과 같다.

$$SINR_{p,k} = \frac{P_{P,k}G_{p,P,k}}{N_0 + \sum_M P_{M,k}G_{p,M,k} + \sum_{P'} P_{P',k}G_{p,P',k}} \quad (2)$$

여기서 $P_{P,k}$ 와 $P_{P',k}$ 각각 sub-carrier k 에서 서빙 피코셀 P 와 이웃 피코셀 P' 의 송신 전력이다. $G_{p,P,k}$ 와 $G_{p,P',k}$ 는 각각 sub-carrier k 에서 피코셀 사용자 p 와 서빙 피코셀 P , 피코셀 사용자 p 와 이웃 피코셀 P' 사이의 채널 이득이다. 이와 유사하게, $P_{M,k}$ 는 sub-carrier k 에서 이웃 매크로셀 M 의 송신 전력이고, $G_{p,M,k}$ 는 sub-carrier k 에서 피코셀 사용자 p 와 이웃 매크로셀 M 사이의 채널 이득이다. N_0 는 white noise power spectral density이다.

또한, 매크로셀 M 에서 매크로셀 사용자 m 과 피코셀 P 에서 피코셀 사용자 p 의 전체 capacity는 각각 식 (3)과 (4)로 정의된다.

$$C_{m,M} = \sum_{k=0}^{N_{RB}} \frac{BW}{N_{RB}} \log_2(1 + SINR_{m,k}) \quad (3)$$

$$C_{p,P} = \sum_{k=0}^{N_{RB}} \frac{BW}{N_{RB}} \log_2(1 + SINR_{p,k}) \quad (4)$$

여기서 BW 은 시스템의 대역폭이고, N_{RB} 는 사용자가 할당받은 Resource Block의 수이다.

III. 셀 선택과 간섭 관리 기법

1. 셀 선택 기법

셀 선택을 위해 정확한 채널의 품질을 얻는 방법으로는 수신 SINR을 구하는 것이다. 따라서 본 논문에서는 SINR 기반 셀 선택을 위하여 그림 3과 같이 전송시간 구간의 일부를 매크로셀이 전송하지 않는 ABS 구간에서 SINR을 구한다.

또한, 매크로셀에서 피코셀로 오프로딩 효과를 최대화하기 위하여 오프셋 값(α_{SINR})을 추가하여 아래 기준에

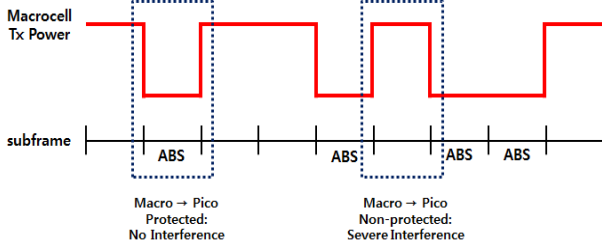


그림 3. 셀 선택을 위한 측정 자원

Fig. 3. Measurement resources for cell selection.

따라 사용자는 셀 인덱스를 선택한다.

$$i_{SINR} = \operatorname{argmax}_{0 \leq i \leq N_P} SINR'_i \quad \text{and} \quad (3)$$

$$\begin{cases} SINR'_i = SINR_{Nonprotected,i} & Macrocell: i=0 \\ SINR'_i = SINR_{Protected,i} + \alpha_{SINR} & Pico cell: 1 \leq i \leq N_P \end{cases}$$

여기서 i 와 N_P 는 각각 셀 인덱스와 피코셀의 수이고, i_{SINR} 과 $SINR'_i$ 은 각각 SINR 기반으로 선택된 셀 인덱스와 셀 선택에 사용된 i 번째 셀의 SINR 값이다. 또한, $SINR_{Nonprotected}$ 와 $SINR_{Protected}$ 는 각각 i 번째 셀에서 ABS가 적용된 SINR과 ABS가 적용되지 않은 SINR 값을 나타낸다.

2. 간섭 관리 기법

간섭 관리를 위해 본 논문에서는 시간 도메인에서 자원을 분할한다. 시간 분할된 자원을 할당하기 전에 사용자를 그림 1에서 보여주듯이 3 종류로 나눈다.

- **Type 1 사용자:** 매크로셀 커버리지 안에 존재하는 사용자
- **Type 2 사용자:** 피코셀 커버리지 안에 존재하는 사용자
- **Type 3 사용자:** 셀 확장 영역에 존재하는 사용자

그림 4와 같이, 매크로셀은 셀 확장으로 인하여 피코셀에 연결된 사용자를 보호하기 위해 특정한 시간 동안 전송하지 않는 ABS를 사용한다. 피코셀은 피코셀에 연결된 Type 3 사용자에게 ABS를 사용하여 데이터를 전송함으로써 HetNet에서 매크로셀로부터 간섭 문제를 해결할 수 있다.

또한, 매크로셀 영역 내에 많은 피코셀들이 존재할 경우 ABS의 비중을 크게 하는 것이 성능관점에서 유리하지만 인접한 매크로셀 영역 내에서는 피코셀들이 없는 관계로 ABS를 적용하는 것이 매크로셀의 성능을 악화 시키는 결과만 초래할 수 있다. 따라서 얼마나 많은

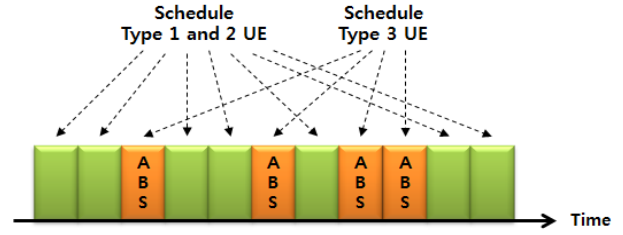


그림 4. 시간 영역에서 ABS를 사용한 제안 간섭 관리 기법

Fig. 4. The proposed interference management scheme using ABS in time domain.

ABS가 스케줄링 되어야 하는지 결정하는 것은 중요하다. 따라서 본 논문에서는 ABS의 비율 β 를 매크로셀과 피코셀 사용자의 비율에 따라 다음과 같이 정의된다.

$$\beta = \frac{\text{Number of Type 3 UEs}}{\text{Number of Type 1 and 2 UEs}} \quad (4)$$

이와 같이, Type 3의 피코셀 사용자가 ABS동안 데이터를 전송하는 것뿐만 아니라, Type 2의 피코셀 사용자는 매크로셀과 같은 시간 영역에서 데이터를 전송한다. 따라서 자원을 ABS 비율 β 를 다르게 함으로써 시스템의 효율을 최대화 할 수 있다.

IV. 모의실험 결과 및 분석

1. 모의실험 모델 및 파라미터

모의실험은 ISD가 1732m인 7개의 매크로셀과 매크로셀 마다 3개의 피코셀로 구성된 하향링크에서 LTE-Advanced 표준에 따라 간략화한 시스템 레벨 모

표 1. 모의실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters.

Parameter	Value	
	Macro Cell	Pico Cell
Number of Cells	7	3/Macro
Cell Coverage	Radius 1km (ISD = 1,732m)	-
Channel Bandwidth	10MHz	
White Noise Power Density	-174dBm/Hz	
BS Transmit Power	46dBm	30dBm
Path Loss	$L = 128.1 + 37.6 \log R$ (R in km)	$L = 140.7 + 37.6 \log R$ (R in km)
Minimum distance between UE and cell	$\geq 35m$	$\geq 10m$

의 실험으로 이루어졌다^[7]. 주요 파라미터 값들은 표 1과 같다.

또한, 다양한 오프셋 값(6dB, 12dB)을 적용하여 셀 선택 및 간섭 관리 기법에 대하여 모의실험을 성능을 분석한다. 간섭 관리 기법은 시간 도메인에서 제안한 ABS를 적용하였고, 모의실험을 간단하게 하기 위하여 주파수 도메인에서는 간섭 관리가 적용되지 않는다. 즉, 매크로셀과 피코셀에게 랜덤하게 sub-carrier를 할당한다.

2. 성능 비교 분석

성능 이득을 평가하기 위해, 사용자 스펙트럼 효율을 분석한다. 사용자 스펙트럼 효율은 한 사용자의 1Hz 당 셀 throughput으로 bps/Hz/user로 나타낸다. 또한, 제안된 기법은 baseline과 비교 분석이 이루어지며, baseline은 오프셋 값(α_{SNR})이 0dB이며, ABS의 비율 β 는 동적이지 않고 고정된 경우이다.

그림 5는 셀 선택 기법에서 오프셋 값(α_{SNR})이 6dB일 때, 사용자의 스펙트럼 효율에 대한 CDF(Cumulative Distribution Function)이다.

셀 확장으로 인하여 매크로셀로부터 간섭의 영향을 많이 받는 Type 3의 사용자의 경우 제안된 기법을 통해 ABS를 적용하여 간섭을 제거한다. 따라서 피코셀 사용자의 경우 baseline보다 상당한 성능향상을 가져다 준다. 반면에, 매크로셀 사용자의 경우 피코셀로부터 간섭의 영향이 크기 때문에 낮은 스펙트럼 효율을 갖지만, 제안된 기법을 통해 약간의 성능향상을 가져준다.

따라서, 제안된 기법을 통해 매크로셀 사용자와 피코셀 사용자를 합한 전체 사용자의 스펙트럼 효율이 향상된 것을 볼 수 있다.

그림 6은 셀 선택 기법에서 오프셋 값(α_{SNR})이 12dB일 때, 사용자의 스펙트럼 효율에 대한 CDF(Cumulative Distribution Function)이다.

오프셋 값(α_{SNR})이 6dB일 때와 비슷하게 제안된 기법을 통해 사용자의 스펙트럼 효율이 향상된다. 하지만, 매크로셀 사용자의 성능 향상이 거의 없다. 이와 같은 이유는 피코셀로 오프로딩된 사용자가 증가함에 따라 ABS 비율도 증가하여 시간 도메인에서 사용할 수 있는 자원이 줄어들었기 때문이다.

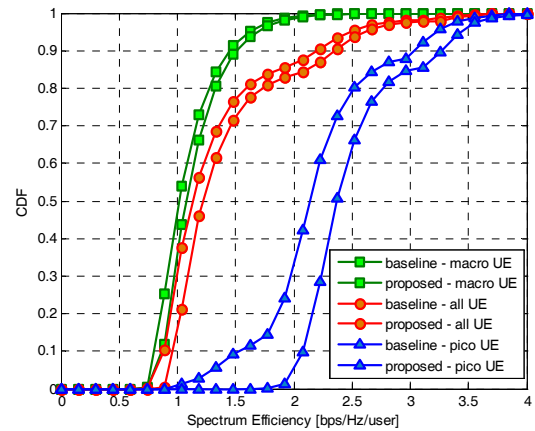


그림 5. 사용자의 셀 스펙트럼 효율 CDF($\alpha_{SNR} = 6\text{dB}$)
Fig. 5. CDF of user spectrum efficiency ($\alpha_{SNR} = 6\text{dB}$).

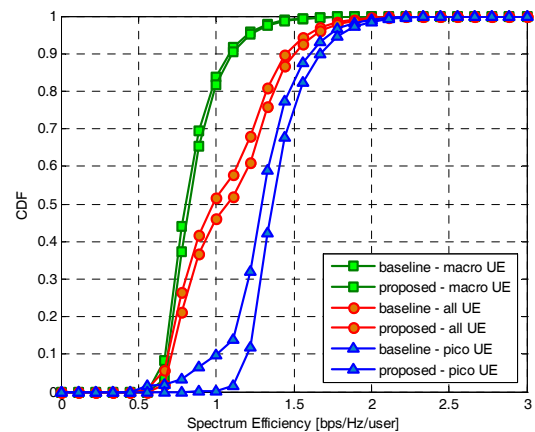


그림 6. 사용자의 셀 스펙트럼 효율 CDF($\alpha_{SNR} = 12\text{dB}$)
Fig. 6. CDF of user spectrum efficiency ($\alpha_{SNR} = 12\text{dB}$).

V. 결론

본 논문에서는 LTE-Advanced 하향링크 기반 매크로셀과 피코셀이 공존하는 HetNet 시나리오에서 셀 선택과 간섭 관리 기법에 대하여 제안하였다.

피코셀의 셀 영역 확장으로 인한 셀 선택기법은 SINR을 기반으로 하며 셀 확장 범위는 다양한 오프셋 값을 통해 달라질 수 있다. 추가적으로, 매크로셀과 피코셀간 간섭을 감소시키기 위하여 시간영역에서 ABS를 사용하고, 스펙트럼 효율을 증가시키기 위하여 동적인 ABS 비율을 사용한다.

모의실험 결과, 제안된 기법이 기존의 사용자의 스펙트

럼 효율 관점에서 상당한 성능 향상을 가져다 준다. 따라서, 이와 같은 성능 향상으로 인해 제안 기법이 차세대 무선 통신 환경인 HetNet 시나리오에서 전체적인 셀 성능을 향상시키는 더 효율적인 LTE-Advanced 기반의 셀룰라 환경을 구성할 것으로 기대한다.

REFERENCES

[1] 김정호, "LTE/LTE-Advanced 핵심기술 및 발전 전망", 대한전자공학회, 전자공학회논문지-TC, 제 49권 TC편, 제 6호, pp. 8-14, 2012년 6월
 [2] A. Damnjanovic, J. Montojo, J. Cho, H. Ji, J. Yang, and P. Zong, "UE's Role in LTE Advanced Heterogeneous Networks," IEEE Comm. Mag., vol. 50, no. 2, pp. 164-176, Feb. 2012.

[3] David López-pérez, Smail Güvenç, Guillaume De la Roche, Marios Kountouris, Tony Q. S. Quek, Jie Zhang, "Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks", IEEE Wireless Communications, Vol. 18, No. 3, pp. 22-30, June 2011.
 [4] R1-104661, Comparison of Time-Domain eICIC Solutions, 3GPP Std., Madrid, Spain, Aug. 2010.
 [5] 윤영우, "LTE-Advanced 표준 기술 (REL-10 동향 및 REL-11 전망)", 한국통신학회지 (정보와통신) 제28권 제6호, pp. 61-83, 2011년 5월
 [6] R1-100142, "System performance of heterogeneous networks with range expansion," Jan. 2010.
 [7] 3GPP, TR 36.814 v9.0.0, "Further advancements for EUTRA physical layer aspects".

저 자 소 개



문 상 미(학생회원)
 2012년 2월 전남대학교
 전자컴퓨터공학부 학사
 2012년 3월~현재 전남대학교
 전자컴퓨터공학과 석사과정
 <주관심분야 : 이동통신, ICIM>



김 보 라(학생회원)
 2012년 2월 전남대학교
 전자컴퓨터공학부 학사
 2012년 3월~현재 전남대학교
 전자컴퓨터공학과
 석사과정
 <주관심분야 : 이동통신, CoMP>



사란쉬 말리크(학생회원)
 2010년 라지프 간디 공과대학
 IT학과 학사
 2013년 2월 전남대학교 전자
 컴퓨터공학과 석사
 2012년 3월~현재 전남대학교 전
 자컴퓨터공학과
 박사과정
 <주관심분야 : MIMO, OFDM, Relay>



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 멀티미디어연구
 소 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, 차세
 대이동통신, MIMO, OFDM, MIMO-OFDM,
 Relay, ICIM, CoMP, MTC>