

# 이종 네트워크에서 클러스터 코디네이터 노드 기반의 셀간 간섭 관리 방법

양 모 찬\*, 오 선 애\*, 신 오 순\*\*, 신 요 안<sup>o</sup>

## Cluster Coordinator Node Based Inter-Cell Interference Management Methods in Heterogeneous Networks

Mochan Yang\*, Shanai Wu\*, Oh-Soon Shin\*\*, Yoan Shin<sup>o</sup>

### 요 약

차세대 이동통신 시스템 규격으로서 3GPP LTE-Advanced (Third Generation Partnership Project Long Term Evolution-Advanced)는 급격하게 증가하는 무선 데이터 트래픽 요구를 해결하기 위해 펌토 셀 혹은 피코 셀과 같은 소형 기지국 및 단말과 단말 사이에 근거리 통신을 수행하는 D2D (Device-to-Device) 통신 방식을 도입하였다. 대형 기지국인 매크로 셀과 소형 기지국인 펌토 셀과 피코 셀 그리고 D2D 통신이 한 개의 셀 내에 혼재하면서 생기는 다양한 간섭 상황이 정립되었으며, 이를 해결하기 위해서 다양한 주제 범위에서 연구가 되었다. 따라서 본 논문에서는 이러한 HetNet (Heterogeneous Network)에서 매크로 셀과 타 기종 네트워크 사이의 간섭을 관리하고 주파수 효율성을 높일 수 있는 간섭회피 방법을 제시한다. 본 논문에서 고려하는 CCN (Cluster Coordinator Node)의 도움을 받는 셀간 간섭회피 방법은 하나의 MeNB (Macro enhanced Node-B)와 다수 소형 셀들이 공존하는 HetNet 환경에서 다수 소형 셀들을 하나의 CCN이 관리하는 구조를 고려한다. HetNet에서 셀간 간섭관리를 위한 구체적인 방법으로 본 논문에서는 CCN 영역 내에 사용자들의 간섭회피를 위한 자원할당 방법을 제안하고, 이들 성능을 시스템 레벨 모의시험을 통해 검증하였다.

**Key Words** : 3GPP LTE-Advanced (Third Generation Partnership Project Long Term Evolution- Advanced), HetNet (Heterogeneous Network), Resource Allocation, Femto Cell, Pico Cell, D2D (Device-to-Device), ICI (Inter-Cell Interference), CCN (Cluster Coordinator Node)

### ABSTRACT

3GPP LTE-Advanced (Third Generation Partnership Project Long Term Evolution-Advanced) as a next generation mobile communication standard introduced small base stations such as femto cells or pico cells, and D2D (Device-to-Device) communications between mobiles in the proximity in order to satisfy the needs of rapidly growing wireless data traffic. A diverse range of topics has been studied to solve various interference situations which may occur within a single cell. In particular, an introduction of a small base station along with D2D

※ 본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 중견연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012-0005330).

◆ 주저자 : 송실대학교 대학원 정보통신공학과, ymc0124@ssu.ac.kr, 학생회원

○ 교신저자 : 송실대학교 정보통신전자공학부, yahsin@ssu.ac.kr, 중신회원

\* 송실대학교 대학원 정보통신공학과, sunae0814@ssu.ac.kr, 학생회원

\*\* 송실대학교 정보통신전자공학부, osshin@ssu.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2013-02-090, 접수일자 : 2012년 2월 21일, 최종논문접수일자 : 2013년 2월 22일

communication raises important issues of how to increase the channel capacity and frequency efficiency in HetNets (Heterogeneous Networks). To this end, we propose in this paper methods to manage the interference between the macro cell and other small cells in the HetNet to improve the frequency efficiency. The proposed CCN (Cluster Coordinator Node)-assisted ICI (Inter-Cell Interference) avoidance methods exploit the CCN to control the interference in HetNet comprising of an MeNB (Macro enhanced Node-B) and a large number of small cells. A CCN which is located at the center of a number of small cells serves to avoid the interference between macro cell and small cells. We propose methods of resource allocation to avoid ICI for user equipments within the CCN coverage, and evaluate their performance through system-level computer simulations.

## I. 서 론

차세대 이동통신 시스템 규격으로서 3GPP LTE-Advanced (Third Generation Partnership Project Long Term Evolution-Advanced)는 급격하게 증가하는 무선 데이터 트래픽 요구를 해결하기 위해 펌토 셀 혹은 피코 셀과 같은 소형 기지국과 단말과 단말 사이에 근거리 통신을 수행하는 D2D (Device-to-Device) 통신 방식을 도입하였다. 셀룰러 네트워크에서 저전력 노드인 피코 셀, 펌토 셀들이 배치됨에 따라 셀 내에 기지국 밀집도가 증가하게 되었고, 전체적인 주파수 효율성 및 데이터 용량의 증가를 위해 매크로 셀의 트래픽을 소형 셀들로 이전하는 방법들이 제시되었다. 또한 셀룰러 네트워크에서 스마트 모바일 장치의 대중화로 인한 데이터 트래픽 요구의 급격한 증가와 함께, 저전력 노드인 소형 셀들의 새로운 배치 방식은 모바일 네트워크 사업에서 시스템 용량을 증가시키는 비용 효율적인 방법으로서 중요한 관심을 받게 되었다<sup>1,2</sup>. LTE 시스템에서 SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access)와 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)는 각각 상향링크와 하향링크의 전송 방식으로 사용된다. OFDMA 기반 시스템은 높은 데이터 전송률에 대한 사용자의 요구를 만족시키고, 시간 및 주파수 자원을 직교하게 할당함으로써 셀 내부에서 생기는 다양한 간섭을 회피할 수 있게 해주었다<sup>3,4</sup>. 셀룰러 네트워크에서 다수의 매크로 셀들 사이에 셀간 간섭이 발생하게 되어 SFR (Soft Frequency Reuse) 또는 FFR (Fractional Frequency Reuse)과 같은 간섭관리 방식이 도입 되었다<sup>5-7</sup>. 펌토 셀 그리고 피코 셀과 같은 소형 셀과 매크로 셀이 혼재한 HetNet (Heterogeneous Network)에서는 위와 같은 경우보다 더욱 간섭 상황이 복잡해지게 되었고, 이로 인해서 더욱 향상된 셀간 간섭관리 방법이 필요하게 되었다. 3GPP LTE-Advanced Release-10에서

는 HetNet에 적합한 새로운 간섭관리 방법으로 eICIC (enhanced Inter-Cell Interference Coordination) 기능을 추가하게 되었다<sup>8</sup>. 특히, 시간 및 주파수 그리고 전력 자원을 효율적으로 배분 및 사용하는 것에 관련된 사항들이 주요 내용이다. 시간 영역에서 기술은 간단하면서도 실효성이 높지만 자원 효율성이 떨어지는 문제점이 생기게 된다. 전력제어 측면에서는 간섭이 누적되는 경우 통신 불능이 발생할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 클러스터 코디네이터 노드 (Cluster Coordinator Node; CCN)라는 새로운 노드를 추가하여 HetNet 환경에서 매크로 셀과 타 기종 네트워크 사이의 간섭을 관리하고 주파수 효율성을 높일 수 있는 간섭회피 방법을 제시한다. 본 논문에서 고려하는 CCN의 도움을 받는 셀간 간섭 회피 방법은, 하나의 MeNB (Macro enhanced Node-B)와 다수의 소형 셀들이 공존하는 HetNet 환경에서 다수의 소형 셀들을 하나의 CCN이 관리하는 구조를 고려한다. CCN은 다수 소형 셀들의 중심에 위치하면서 매크로 셀과 소형 셀 사이에서 발생하는 셀간 간섭을 제어하는 역할을 수행한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3GPP LTE-Advanced에서 고려하는 기존의 셀간 간섭 제어 방식들을 정리한다. 3장에서는 CCN 기반 셀간 간섭을 효율적으로 제어하기 위한 CCN의 기능을 정의하고, 4장에서는 HetNet에서 발생할 수 있는 셀간 간섭 시나리오를 살펴본다. 5장에서는 CCN 기반 간섭회피 방법을 제안한다. 6장에서는 제안 방법을 적용한 시스템 레벨 모의실험 결과를 제시하며, 마지막으로 7장에서 결론을 맺는다.

## II. 3GPP LTE-Advanced의 셀간 간섭 제어 방식

3GPP Release-8 및 9에서는 HetNet 상황을 고

려하는 특별한 ICIC 방법이 소개되지 못했고 HetNet 환경에도 효율적이지 못했다. 이를 보완하기 위해 HetNet 환경에 주력화된 eICIC 방법이 Release-10에서 제시되었고, 크게 시간 및 주파수 영역 그리고 전력제어 세가지 범주에서 기능이 설명될 수 있다<sup>[9]</sup>.

2.1. 시간 영역 기술

시간 영역에서 eICIC 기술은 다른 노드들과 간섭을 완화하는 스케줄링 기술이며, 크게 서브프레임 정렬과 OFDM 심벌 이동 두가지 기술로 분류된다<sup>[10]</sup>.

2.1.1. 서브프레임 정렬

매크로 셀과 펌토 셀이 혼재하는 HetNet 환경에서는 제어 및 데이터 채널이 상호 겹치게 되어 간섭이 발생하게 된다. eICIC는 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 펌토 셀에서 ABSF (Almost Blank Sub-Frame)라 불리는 기능을 추가하였다<sup>[11,12]</sup>. ABSF 기능은 제어 및 데이터 신호는 전송하지 않고 참조 신호만 전송하는 방법으로 그림 1과 같이 나타난다<sup>[13]</sup>. 피코 셀에서도 유사한 방법으로 ABSF 기능을 수행하게 된다. 매크로 셀과 피코 셀이 혼재하는 HetNet에서는 매크로 셀의 하향링크 채널이 피코 셀에 큰 간섭을 일으키는 경우가 발생하므로, 매크로 셀에서 ABSF 기능을 수행하여 간섭을 완화하게 된다.

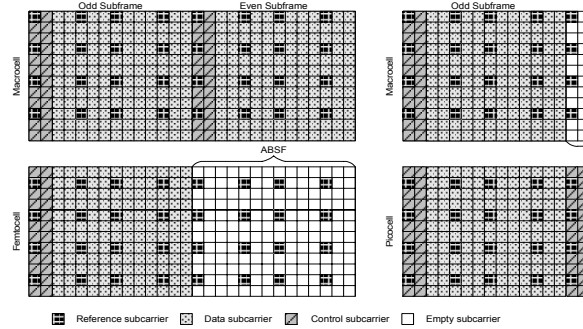


Fig. 1. Examples of ABSF in eICIC

2.1.2. OFDM 심벌 이동

MeNB와 HeNB (Home eNB)의 서브프레임 경계는 그림 2와 같이 하나 혹은 그 이상의 OFDM 심벌 개수의 차이에 의해 결정된다. 이와 같은 심벌 이동은 HeNB의 제어 신호에 의한 간섭 없이 MUE (Macro User Equipment)의 제어 채널 검출을 가능하게 한다<sup>[10]</sup>. MUE의 PDCCH (Physical Downlink

Control Channel)는 여전히 HeNB의 PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)와 겹치기 때문에, HeNB는 MUE의 제어 채널 검출에 대해서 간섭을 주지 않기 위해 MUE의 PDCCH와 겹쳐지는 몇개 서브프레임에 대해서 ABSF와 같이 신호를 전송하지 않는 방법을 사용한다<sup>[14,15]</sup>.

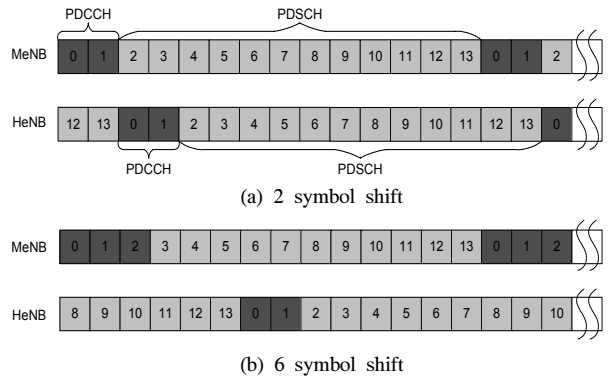


Fig. 2. Examples of OFDM symbol shift in eICIC

2.2. 주파수 영역 기술

주파수 영역에서 eICIC 기술은 다른 셀들의 제어 채널과 동기 혹은 참조 신호들이 감소된 대역폭에서 서로 직교하게 신호를 전송하기 위해 주파수 자원을 스케줄링 하는 방법들이다. MeNB는 MUE의 피드백을 통해서 MUE가 간섭 받은 정도를 결정하고, HeNB로 MUE의 ID를 백홀 채널을 통해 전송하게 된다.

2.3. 전력제어 기술

HetNet에서 간섭을 제어하는데 사용되는 방법인 전력제어 기술은 펌토 셀에서 주로 사용된다. 펌토 셀에서 방사된 전력을 감소시켜 펌토 셀의 채널 용량을 감소시키고 간섭을 받는 MUE의 성능을 향상시키는 방법으로 사용된다. 펌토 셀의 전송 전력은 기본적으로 매크로 셀로부터 받는 하향링크 전송 전력에 의해 결정된다. 다음은 4가지 종류의 펌토 셀 전송 전력 결정 방법을 타나낸 것이다<sup>[9]</sup>.

2.3.1. HeNB에서 가장 강하게 수신한 MeNB의 전력을 이용하는 방법

이 방법의 경우 펌토 셀 전송 전력은 다음과 같이 결정된다.

$$P_{tx} = \max(\min(\alpha P_M + \beta, P_{max}), P_{min}) \quad (1)$$

여기서  $P_{max}$ 와  $P_{min}$ 은 HeNB 전송 전력의 최대

값 및 최소값을 각각 의미하고,  $P_M$ 은 HeNB에서 가장 강한 MeNB로부터 수신 전력을 나타내며,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 비례 상수이다.

2.3.2. HeNB와 MUE사이의 경로 손실을 이용하는 방법

여기서 펠토 셀 전송 전력은 다음 같이 결정된다.

$$P_{tx} = \text{med}(P_M + P_{ofst}, P_{\max}), P_{\min}) \quad (2)$$

이 때 전력 오프셋은

$P_{ofst} = \text{med}(P_{ipl}, P_{ofst-\max}, P_{ofst-\min})$ 에 의해 결정되며,  $P_{ipl}$ 은 HeNB와 MUE에서 발생하는 실내 경로 손실을 보상하는 전력 오프셋 값을 의미한다. 또한  $P_{ofst-\max}$ 와  $P_{ofst-\min}$ 은 각각 최대 및 최소  $P_{ofst}$ 의 값을 의미한다.

2.3.3. HUE의 기준 SINR을 이용하는 방법

이 방법에서 HUE (HeNB User Equipment)의 수신 SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)은 펠토 셀의 전송 전력에 의해 제한되고 적절한 기준 SINR을 얻기 위해서 관찰된다. HeNB의 전송 전력은 HUE의 수신 SINR에 의해서 다음과 같이 결정된다.

$$P_{tx} = \max(P_{\min}, \min(\widehat{PL} + P_{rec,HUE}, P_{\max})) \quad (3)$$

여기서,

$P_{rec,HUE} = 10 \log_{10}(10^{I/10} + 10^{N_0/10}) + SINR_{tar}$ 에 의해 결정되며,  $I$ 는 HUE에서 검출된 간섭을 나타내고,  $N_0$ 는 잡음의 전력스펙트럼밀도를 나타내며,  $SINR_{tar}$ 은 HUE에 대한 기준 SINR 값을 나타낸다. 한편  $\widehat{PL}$ 은 HeNB와 HUE 사이의 경로 손실을 의미한다.

2.3.4. MUE의 기준 SINR을 이용하는 방법

이 방법의 목적은 MUE에서 최소 SINR을 보장하기 위한 것으로, HeNB 전송 전력은 다음 식 (4)와 같이 결정된다.

$$P_{tx} = \max(\min(\alpha P_{SINR} + \beta, P_{\max}), P_{\min}) \quad (4)$$

여기서  $P_{SINR}$ 은 인접한 펠토 셀 간섭을 고려하는 MUE의 SINR을 나타낸다.

위에서 살펴본 기존의 eICIC 기술 가운데, 시간

영역의 ABSF 등은 간단하면서도 실효성이 높지만 자원 효율성이 떨어지는 문제점이 생기게 된다. 전력제어는 간섭이 누적되는 경우 통신 불가능이 발생하는 경우가 있을 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 CCN이라는 새로운 노드를 추가하여 HetNet 환경에서 시간 및 주파수 자원을 효율적으로 활용하면서 간섭을 회피하는 방법을 제시하고자 한다.

### III. CCN의 기능

본 논문에서는 다양한 HetNet 환경에서 매크로 셀과 타 기종 네트워크 사이의 간섭을 관리하고 주파수 효율성을 높일 수 있는 새로운 간섭회피 방법을 제시하고자 한다. 본 논문에서 고려하는 CCN의 도움을 받는 셀간 간섭회피 방법은 그림 3과 같이 하나의 MeNB와 다수 PeNB (Pico eNB)들이 공존하는 HetNet 환경에서 다수 PeNB가 하나의 CCN을 공유하는 구조를 고려한다. CCN은 다수 PeNB의 중심에 위치하면서, 매크로 셀과 피코 셀 사이에서 발생하는 셀간 간섭을 제어하는 역할을 수행한다. CCN은 MeNB로부터 하향링크 신호와 MUE의 상향링크 신호를 Overhearing하여 셀간 간섭을 회피하는 역할을 수행한다.

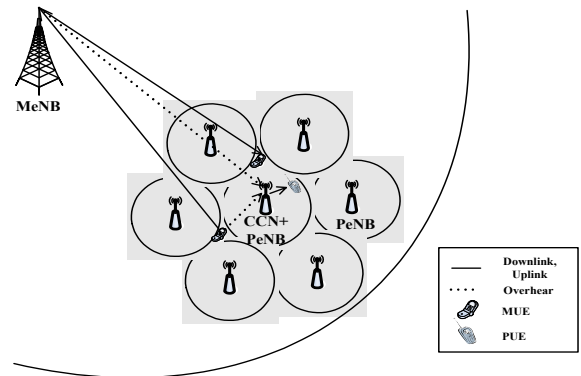


Fig. 3. CCN deployments in HetNet

그림 3에서 보는 것처럼 CCN은 인접해 있는 MUE의 신호와 MeNB의 신호를 Overhearing 할 수 있다. 본 논문에서 고려하는 CCN은 간섭관리 기능을 효율적으로 수행하기 위해 기능적으로 다음과 같은 사항을 요구한다.

- 1) CCN은 다수의 소형 셀 등 이기종 네트워크가 집중되어 설치될 때 매크로 셀과 타 기종 네트워크 사이의 간섭을 관리하는 역할을 하는 노드로 정의한다.
- 2) CCN은 노드의 특성에 따라 별도의 셀 ID를

가질 수도 있고 갖지 않을 수도 있다 (만약 별도의 셀 ID를 가지게 되는 경우 별도의 셀을 생성하게 된다).

- 3) CCN은 전용 제어 정보를 각 셀에게 전송할 수 있어야 한다.
- 4) UE들은 CCN의 존재를 인식해서는 안 된다.
- 5) CCN은 전용 제어 신호를 전송하기 위한 별도의 유무선 인터페이스가 정의되어야 한다 (무선인 경우 제어 신호 전송을 위해 전용 채널을 할당 받는 것을 원칙으로 한다).
- 6) CCN은 제어 신호 전달을 위해서 5)에서 정의된 유무선 인터페이스를 통해 eNB에게 전송할 수 있지만 UE들에게 전송하지는 못한다 (CCN은 기본적으로 UE들에게 인식되지 않는다는 것을 의미한다).
- 7) CCN은 다수 소형 셀 및 국지적 통신을 관리하며, 클러스터 단위로 소형 셀 그룹을 형성할 수 있다.
- 8) CCN은 각 셀 그리고 UE에서 전송하는 제어 신호를 Overhearing 및 복호하고, 이 정보를 셀간 간섭회피를 위해 활용하는 것을 기본적으로 고려한다.

CCN은 기능적으로 살펴보았을 때 신호를 복호한 후 자원을 할당하는 과정을 포함하기 때문에 Layer 2까지 기능을 지원하는 것이 바람직하다. 다음 표 1은 eNB, 릴레이 그리고 CCN 기능을 비교한 것이다<sup>8,16</sup>. 한편 본 논문에서는 상향링크 신호의 Overhearing은 MUE에 대해서만 수행하는데, 이는 PUE (PeNB UE)의 경우 PUE와 CCN 사이 경로 손실을 고려한다면 링크가 형성되기 어렵기 때문이다.

Table 1. Comparison functions between eNB, relay, and CCN

기능	노드	eNB	Type I 릴레이	Type II 릴레이	CCN
IP 헤더 압축 및 사용자 데이터 암호화		지원	지원	지원 없음	지원 없음
이동성 연결		지원	지원	지원 없음	지원 없음
라디오 허가 제어 및 페이징		지원	지원	지원 없음	지원 없음
스케줄링을 위한 시그널링 및 채널 측정		지원	지원	지원 없음	지원
동적 자원할당 및 스케줄링		지원	지원	지원 없음	지원

#### IV. HetNet 환경에서 셀간 간섭 시나리오

본 논문에서는 HetNet 환경에서 발생할 수 있는 셀간 간섭 시나리오를 크게 아래 그림 4, 5와 같이 두가지로 나누어 고려한다. 그림 4에서는 HetNet 환경에서 셀룰러 네트워크가 하향링크 전송중인 경우를 고려한 것으로, 동일한 자원을 사용할 때 MeNB와 PeNB가 각각 PUE와 MUE에게 서로 간섭을 줄 수 있는 경우를 나타낸 것이다. 그림 5에서는 HetNet 환경에서 셀룰러 네트워크가 상향링크 전송중인 경우를 고려한 것으로, 동일한 자원을 사용할 때 MUE와 PUE가 각각 PeNB와 MeNB에게 각각 서로 간섭을 주는 경우를 고려한다. 특히 상향링크의 경우에서 PUE가 MeNB에게 주는 간섭보다 MUE가 PeNB에게 주는 간섭이 상대적으로 크다는 것을 고려해야 한다.

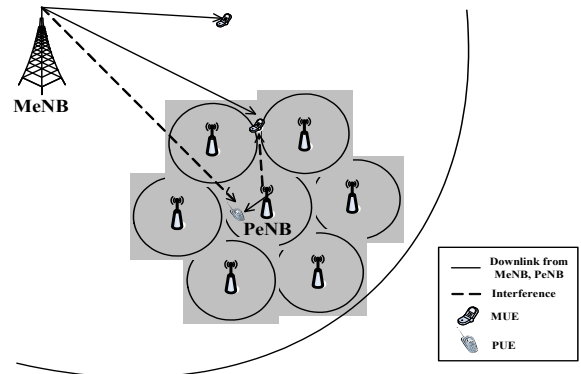


Fig. 4. Downlink interference scenario in HetNet

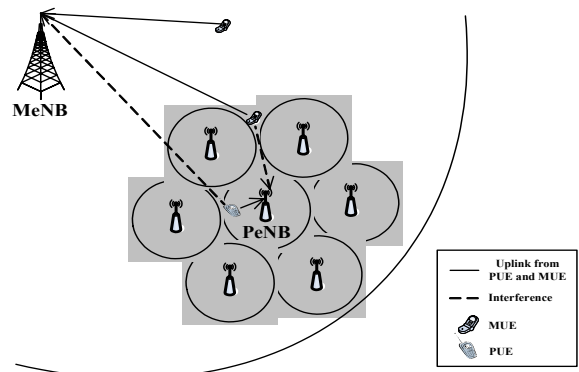


Fig. 5. Uplink interference scenario in HetNet

#### V. HetNet 환경에서 셀간 간섭회피를 위한 CCN 기반의 자원할당 방법

이번 장에서는 그림 4, 5와 같이 매크로 셀과 피코 셀이 혼재된 상황에서 MUE의 QoS (Quality of

Service) 보장을 위한 셀간 간섭회피 방법을 제시하고자 한다. 본 논문에서 고려하는 CCN 중심의 프레임 구조는 그림 6과 같으며, 여기서 알 수 있듯이 FDD (Frequency Division Duplexing) 하에서 상향 및 하향링크 간섭을 고려한다.

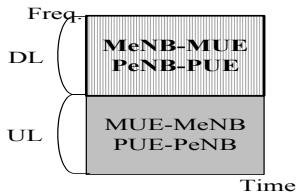


Fig. 6. General frame structure for dynamic resource allocation

본 논문에서는 CCN 기반 상하향 링크에서 간섭을 해결하기 위해 다음과 같은 간섭회피 절차를 제시한다. 본 논문에서 고려하는 간섭회피 방법에서는 소형 셀의 기지국 및 D2D 통신을 수행하는 단말이 자원을 직접적으로 할당할 때, CCN의 자원 정보를 획득한 후에 수행하는 것을 원칙으로 한다. D2D 등 타 기종 네트워크의 간섭이 추가되는 부분은 제안하는 방식에서 소형 셀과 동등한 방식을 적용하는 것으로 한다. 그림 7에서 보는 것처럼 본 논문에서 제시하는 간섭회피 방법은 크게 4 단계에 걸쳐서 이루어진다.

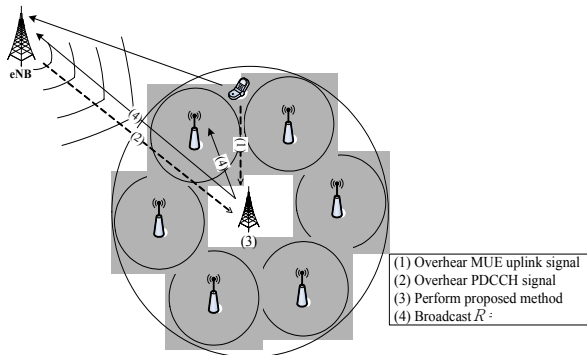


Fig. 7. Overall interference avoidance procedures based on CCN

- 1) CCN은 자신의 영역에 있는 MUE의 신호를 Overhearing하고 제안하는 간섭회피 방법의 대상 노드로 고려한다.
- 2) CCN은 eNB가 전송하는 제어 정보인 PDCCH 신호를 Overhearing하고 제안하는 간섭회피 방법을 수행하기 위한 정보로 저장한다.
- 3) CCN은 1단계와 2단계에서 얻은 정보를 통해서 제안하는 간섭회피 방법을 수행한다.

- 4) CCN은 브로드캐스트를 통해 제안하는 기법에 따라 매크로 셀 및 각 소형 셀 등에 간섭회피 정보  $R^c$ 를 전달한다.

본 논문에서 고려하는 간섭회피 방법은 크게 두 가지로 분류된다. 첫번째 적응 고정적으로 자원을 할당하는 방식 및 두번째 적응 동적으로 자원을 할당하는 방식이다. 아래 제시하는 간섭회피 절차 #1에서 자원할당은 하향링크와 상향링크의 자원할당 모두에 적용된다.

### 5.1. 간섭회피 절차 #1

- ① CCN은 MUE의 상향링크 신호를 Overhearing 하여 셀간 간섭 및 시스템간 간섭관리가 필요한 MUE의 집합을  $S$ 로 정의한다.

$$S = \{MUE \mid \gamma_{MUE} \geq \Gamma\} \quad (5)$$

$$T = \{MUE \mid S^c\} \quad (6)$$

여기서,  $\gamma_{MUE}$ 은 CCN에서 수신 전력을 나타내며 MUE의 수신 전력을 나타내며  $\Gamma$ 는 임계값이다.

- ② CCN은 MeNB→UE로 전송하는 PDCCH 신호를 Overhearing하여 디코딩 후 버퍼에 저장하여 기록한다.
- ③ CCN은 현재 셀룰러 통신을 수행하는 MUE의 하향링크 및 상향링크 자원을 PDCCH 정보를 통하여 파악한다.
- ④ 절차 (3)을 통해 파악된 MUE의 자원을 간섭을 일으킬 수 있는 간섭 후보 자원  $R_s$ 로 지정한다.
- ⑤ CCN은  $R_s$ 의 인덱스 정보를 MeNB에게 전달하여 MeNB가 위험성이 높은 MUE에 대해서 해당 자원을 고정적으로 사용하도록 지시한다.
- ⑥ MeNB는  $S$ 에 대해서 자원을 할당할 때 CCN이 전달해준 RB (Resource Block) 인덱스에 따라서 고정적으로 할당하지만 다음과 같은 경우 자원할당을 새롭게 수행한다.
  - A.  $S$ 의 그룹 내에 있는 MUE가 QoS를 만족하기 위한 SINR을 만족하지 못할 경우 자원을 RR (Round Robin) 혹은 PF (Proportional Fairness)와 같은 스케줄링에 따라 동적 할당을 수행한다.



B.  $S$ 의 그룹 내에 있는 MUE가 통신을 하기 위한 자원할당 스케줄링을 요구하지 않는 경우 할당된 자원을 해제하고 RR 혹은 PF 스케줄링에 따라 동적 할당을 수행한다.

- ⑦ CCN은 계속적으로  $S$ 의 그룹을 재편성하고  $S$ 에게 할당된 자원 정보 변화가 있을 경우에 대해서 변경 사항을 브로드캐스트 하여 MeNB와 타기종 네트워크 (본 논문의 경우 예시적으로 PeNB)에 알려준다.
- ⑧ MeNB는 자원할당 정보가 포함된 PDCCH 정보를 전달하며, CCN은  $S$ 의 자원할당에 변화가 있는 경우 해당 정보를 브로드캐스트 하여 eNB와 타기종 네트워크 (본 논문의 경우 예시적으로 PeNB)에 전달하여 해당 MUE의 자원할당을 고정한다.

본 논문에서 제안하는 간섭회피 절차 #1에 대한 신호 흐름도를 그림 8과 같이 나타내었다.

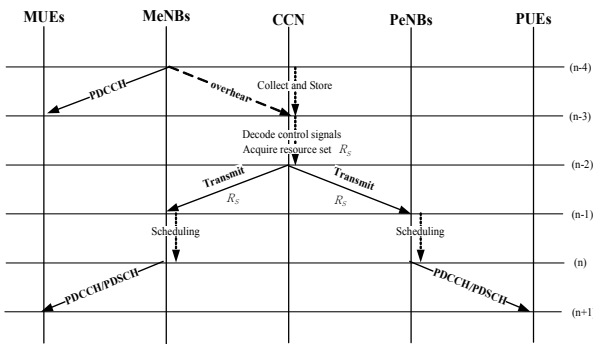


Fig. 8. Signal flow charts for interference avoidance based on CCN (Interference avoidance procedures #1)

그림 8에서 CCN 기반 간섭회피 신호 흐름도를 살펴보면, CCN은  $n-4$  번째에서 PDCCH 신호를 Overhearing한 후  $n-3$  번째에서 PDCCH의 신호를 복호하여 MUE의 자원할당 정보  $R_S$ 를 얻게 된다.  $n-2$  번째에서  $R_S$ 를 MeNB와 PeNB에게 전송한 후 각각  $n-1$  번째에서 자원할당을 수행한다.  $n$  번째에서 MeNB와 PeNB는 하향링크 신호를 해당 자원 정보에 따라 전송하게 된다. 위와 같은 자원할당 방법은 MeNB가 이미 자원할당 정보를 취득한 후 그 정보를 간섭회피를 위한 정보로 재가공하는 방법으로 이미 얻어진 자원 정보를 고정시켜서 수행하는 방법이다. 따라서, 본 논문에서는 이와 다르게 CCN이 직접 자원할당을 수행하여 간섭을 회피하는 추가적인 방법을 고려하고자

한다. 이러한 간섭회피 절차 #2에서는 하향링크에 대한 적응 동적으로 자원을 할당하는 방법을 제시한다.

### 5.2. 간섭회피 절차 #2

- ① CCN은 MUE의 상향링크 신호를 Overhearing하여 셀간 간섭 및 시스템간 간섭관리가 필요한 MUE의 집합을  $S$ 로 정의한다.
- ② CCN은 MUE→MeNB로 전송하는 PUCCH (Physical Uplink Control Channel) 신호를 Overhearing하여 디코딩 후 버퍼에 저장하여 기록한다.
- ③ CCN은 (2)에서 획득된 PUCCH 신호로부터 하향링크에 대한 채널 상태 정보와 스케줄링 요구 정보를 획득한다.
- ④ CCN  $S$ 에 대해 자원을 할당하고 MUE의 자원을 간섭을 일으킬 수 있는 간섭 후보 자원  $R_S$ 로 지정한다.
- ⑤ CCN은  $R_S$ 의 인덱스 정보를 브로드캐스트 하여 MeNB와 타기종 네트워크 (본 논문의 경우 예시적으로 PeNB)에게 전달하여 MeNB는 해당 자원을 고정하여 사용하도록 하고, PeNB는 해당 자원을 사용하지 않도록 금지하여 셀룰러와 타기종 네트워크 사이에 간섭이 발생하지 않도록 한다.

본 논문에서 제안하는 간섭회피 절차 #2에 대한 신호 흐름도를 그림 9와 같이 나타내었다. 그림 8에서 제시된 간섭회피 절차 #1과 다르게 CCN은  $n-4$  번째에서 상향링크 신호인 PUCCH 신호를 Overhearing한 후  $n-3$  번째에서 제안된 셀간 간섭회피 방법을 수행하고,  $n-2$  번째에서 해당 정보를 각각의 MeNB와 PeNB에게 전송한다.

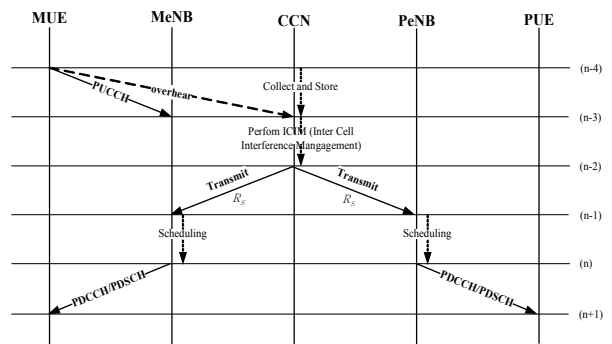


Fig. 9. Signal flow charts for interference avoidance based on CCN (Interference avoidance procedures #2)

본 논문에서 제시하는 간섭회피를 위한 자원할당 방법은, 그림 10과 같이 기본적으로 FFR=1인 동적인 자원할당 방법을 고려하며 RR, PF, Max CINR (Carrier-to-Interference-plus-Noise Ratio) 등의 다양한 스케줄링 기법을 통해 RB를 할당하는 것이 가능하다. 한편 CCN과 PeNB를 위한 제어 채널은 간섭이 없도록 고정적으로 할당되어 있다고 고려한다. 또한 그림 11과 같이 본 논문에서 제시하는 간섭회피 방법에서는, CCN이 MeNB의 PDCCH 신호를 Overhearing하고 이 정보를 이용해 자원할당을 수행한 후 간섭을 일으킬 수 있는  $R=\{RB_3, RB_4, RB_{43}, RB_{45}, RB_{47}\}$  정보를 MeNB와 PeNB에게 전달한다. MeNB는 CCN에게 전달받은 자원할당 정보를 포함해서 동적 자원할당을 수행하며, PeNB는 해당 자원을 제외한 다른 자원에 대해서 동적 자원할당을 수행한다.

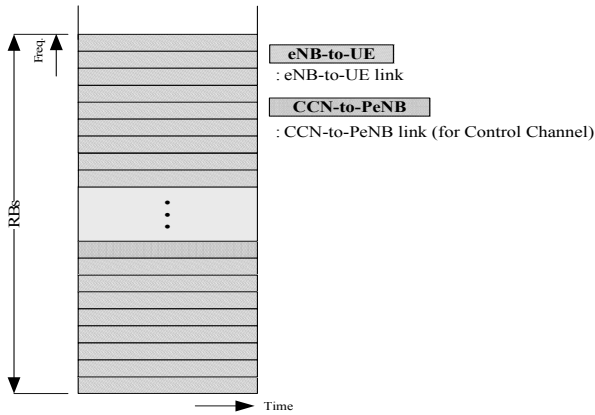


Fig. 10. Example of dynamic resource allocation for each eNB (FFR=1)

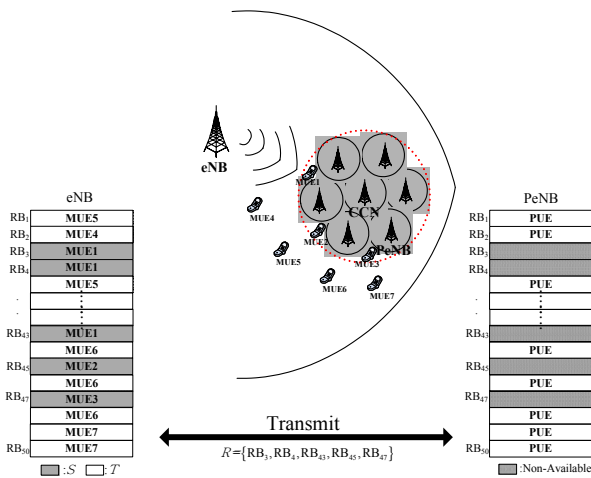


Fig. 11. The proposed CCN-based resource allocation method

## VI. 모의실험 결과

본 논문에서는 CCN 기반의 간섭관리 방법을 제안하였고 특히 그 중에서도 간섭회피를 위한 자원할당 방법을 살펴보았다. 제안 방법의 성능을 분석하고자 3GPP LTE-Advanced 네트워크 환경에서 시스템 레벨 모의실험을 수행하였다. 모의실험을 위한 다중 셀 레이아웃은 2계층의 19개 셀 중 3개 셀만을 고려하였으며, 셀 반경 (Inter-Sector Distance; ISD)은 3GPP Case 3 시나리오<sup>[17]</sup>의 1,732m로 설정하였고, 3 섹터 환경을 고려하였다. 또한, 각 노드 간의 경로 손실 및 Shadowing을 적용하였다<sup>[18]</sup>. 표 2는 시스템 레벨 모의실험에서 사용한 주요 파라미터를 요약한 것이다.

Table 2. Major parameters used in the system-level simulation

Parameters	Values
Duplex mode	FDD
Channel link	Downlink
Center frequency	2 GHz
Bandwidth	10 MHz
# of FFT / CP points	1,024 / 128
# of used sub-carriers per OFDMA symbol	600
# of RBs per sub-frame	50
RB size	12 Sub-carriers @ freq. domain 12 OFDMA symbols @ time domain
# of OFDMA symbols per sub-frame	12
Sub-frame duration	1 msec
Cell layout	19 cells (2-tiers / 57 sectors)
Cell radius (scenario)	500 m (3GPP case 1)
Thermal noise density	-174 dBm/Hz
Traffic model	Full buffer
Serving cell attachment	RSRP-based
Scheduler	Proportional fairness and no coordination
Maximum MeNB TX power	46 dBm
Maximum PeNB TX power	37 dBm
MCS levels(7 levels)	QPSK (1/2), (3/4) 16-QAM (1/2), (3/4)



	64-QAM (2/3), (3/4), (5/6)
# of UEs per cell	100
# of CCNs per sector	1
# of PeNBs per sector	6
CCN drop condition	Fixed and symmetric (distance from eNB: $0.625 \times \text{ISD}$ )
PeNB drop condition	Fixed and symmetric (condition1: distance from CCN: $4 \times \text{min.dist. CCN and PeNB}$ ) (condition2: distance from eNB: $0.721 \times \text{ISD}$ )
CCN coverage	80m / 120m / 160m / 200m
Forgetting factor $\beta$ for PF scheduling	0.001 / 0.9989[19]
Fading channel model	ITU-R M.1225 PED-B[20]
UE velocity	3 km/h
# of drops / sub-frames for simulation	1 / 100
Minimum distance between nodes	between eNB and PeNB : 75m between PeNB and PeNB: 40m between eNB and UE: 35m between CCN and UE: 10m between PeNB and UE: 10m between UEs: 10m / 80m
MeNB antenna pattern	3D antenna pattern
PeNB antenna pattern	Omni-directional
MeNB antenna gain	14 dBi
PeNB antenna gain	5 dBi

CCN 3개의 배치는 eNB를 주위로  $0.625 \times 500\text{m}$ 의 일정 거리와 함께  $120^\circ$  간격인 한 섹터에 1개씩 있는 것을 고려하였으며, PeNB 18개의 배치는 CCN을 주위로 6개가 160m의 일정 거리와 함께  $60^\circ$  간격인 한 섹터에 6개씩 있는 것을 고려하였다. 섹터 전체에 UE를 고루 분포시키기 위해 각 UE간 일정한 최소 거리를 설정하여 두가지 형태로 배치하였다. 모의실험에서 고려하는 총 UE 수는 각 eNB당 100개이며, 각 형태별로 UE Drop은 총 1번을 수행하였으며, 각 셀의 용량을 계산할 때 평균값을 취하였다.

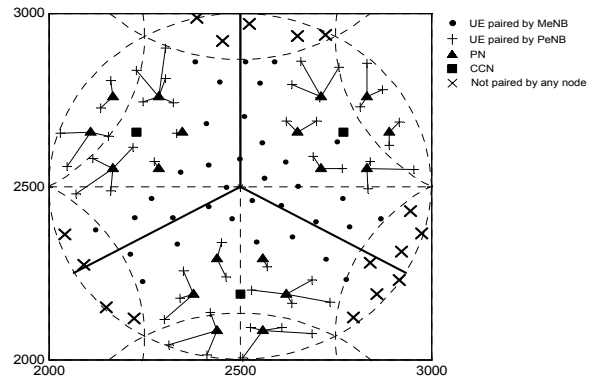


Fig. 12. UE deployments #1

그림 12의 UE Drop 환경 #1에서 CCN 3개의 배치는 앞서 언급한 바와 같이 eNB를 주위로  $0.625 \times 500\text{m}$ 의 일정 거리와 함께  $120^\circ$  간격인 한 섹터에 1개씩 있는 것을 고려하였으며, PeNB 6개의 배치는 eNB를 주위로  $0.721 \times 500\text{m}$ 의 일정거리와 함께  $60^\circ$  간격인 한 섹터에 2개씩 있는 것을 고려하였다. UE의 배치는 전체 섹터 중 특정 지역에 UE가 밀집하는 현상을 발생하지 않기 위해서 각 UE간 적당한 거리를 설정하였다. 모의실험에서 고려하는 총 UE 수는 각 eNB당 100개이며, UE Drop은 총 1번을 수행하였으며, 각 셀의 용량을 계산할 때 평균값을 취하였다.

그림 13에서는 그림 12와 같이 UE 분포를 등간격으로 배치한 경우에서 평균 용량을 비교한 것이다. 이 그림에서 nUE는 CCN의 영역에 있는 MUE의 개수를 나타내며, PF 스케줄링을 위한 망각인자는  $\beta = 0.9989$ 를 고려하였다. 그림에서 보는 바와 같이, CCN의 도움 없이 일반적인 동적 자원할당 (FFR=1)을 하는 경우 CCN의 영역에 있는 MUE의 용량이 MUE 개수에 따라 약  $0.1 \sim 20\text{Mbps}$ 로 확인되었다. 제안하는 자원할당 방법을 적용하는 경우 CCN 영역 MUE의 용량이 약  $0.2 \sim 22\text{Mbps}$ 로 나타나는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 등간격으로 UE가 분포하는 경우에는 간섭의 영향이 매우 작게 미치기 때문에 제안 기법을 적용함으로써 얻게 되는 이득이 적어지게 된다. 그림 14에서는 망각인자  $\beta$ 가 0.001인 경우로 일반적인 동적 자원할당 (FFR=1)을 적용한 경우 CCN의 영역에 있는 MUE의 용량이  $2.5 \sim 12.5\text{Mbps}$ 로 확인되었으며, 제안 기법을 적용한 경우  $3.5 \sim 13.8\text{Mbps}$ 로 약간 증가하는 것을 확인할 수 있다.

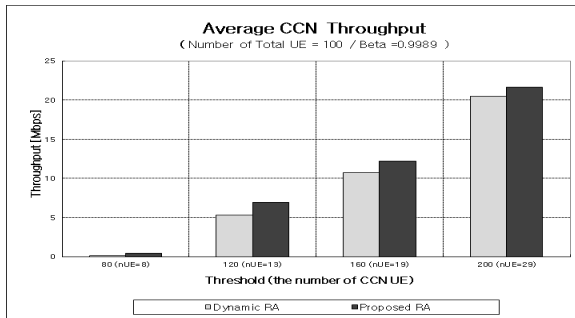


Fig. 13. Comparison of average throughput according to the number of CCN-UEs in UE deployments #1 ( $\beta = 0.9989$ )

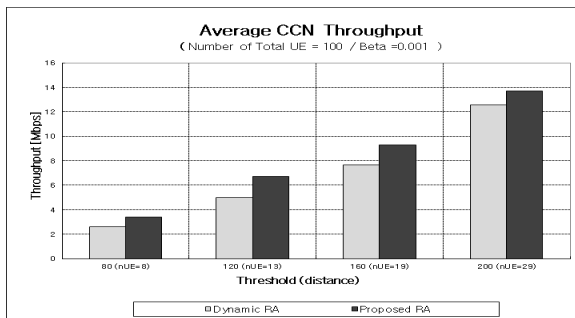


Fig. 14. Comparison of average throughput according to the number of CCN-UEs in UE deployments #1 ( $\beta = 0.001$ )

그림 15의 UE Drop 환경 #2에서는 UE의 분포를 CCN 주위에 집중하여 배치한 경우를 나타낸 것으로, CCN의 효율성을 집중적으로 살펴보기 위한 환경으로 고려하였다. 본 실험 환경에서 제안 기법의 비교 대상인 동적 자원할당은 FFR=1의 경우를 고려하였다. PeNB의 영역은 80m, 120m, 160m, 200m로 나누어 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 16은 UE Drop 환경 #2에서 망각인자  $\beta = 0.9989$  일 때 제안 기법을 적용한 경우와 일반적인 동적 자원할당 (FFR=1)을 적용한 경우의 CCN 영역에 있는 MUE의 용량을 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, CCN의 도움 없이 일반적인 동적 자원할당을 하는 경우 CCN의 영역에 있는 MUE의 용량이 MUE 개수에 따라 약 0~12Mbps로 확인되었다. 특히, MUE 개수가 10일 때 0Mbps로 나타난 것은 동적 자원할당 알고리즘이 CCN 영역의 MUE들이 받는 간섭을 효과적으로 제어하지 못한 것으로 판단된다. 반면, 제안하는 자원할당 방법을 적용하는 경우 효과적인 셀간 간섭관리를 통해 CCN 영역 MUE의 용량이 약 9~21Mbps로 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히, MUE의 개수가 적을 때 CCN을

통한 간섭회피가 더 효율적으로 동작하게 되는 것을 알 수 있다. 그림 17은 PF 스케줄러의 망각인자  $\beta$ 가 0.001일 때의 결과를 도출한 것으로, CCN MUE 개수에 따라서 약 2~7Mbps의 평균 용량이 확인되었다. 그림 16의 결과와 비교할 때 최소 평균용량은 2Mbps가 높지만, 최고 평균용량은 약 14Mbps 낮게 확인되었다.

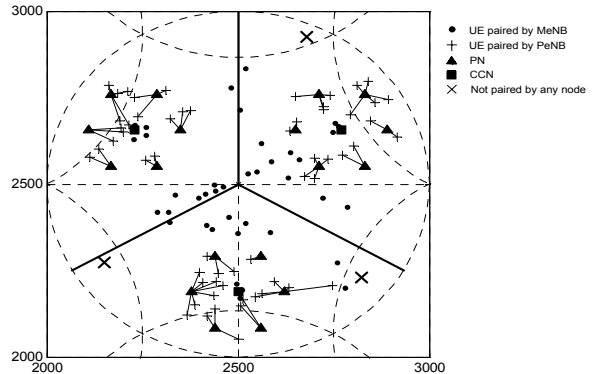


Fig. 15. UE deployments #2

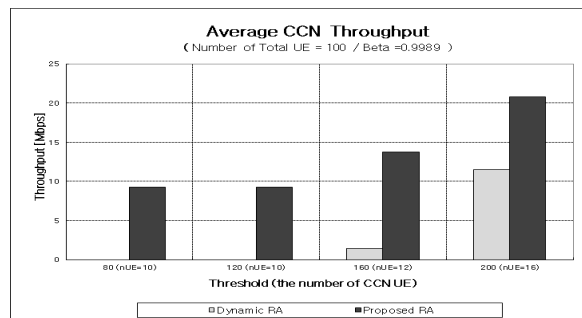


Fig. 16. Comparison of average throughput according to the number of CCN-UEs in UE deployments #2 ( $\beta = 0.9989$ )

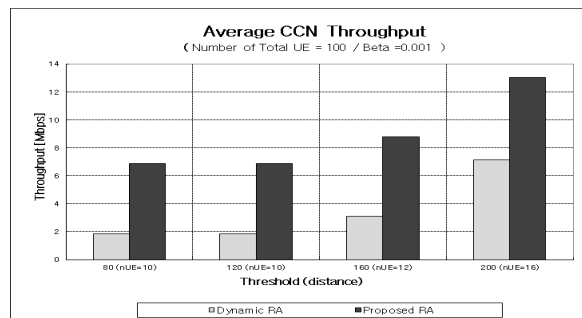


Fig. 17. Comparison of average throughput according to the number of CCN-UEs in UE deployments #2 ( $\beta = 0.001$ )

## VII. 결 론

본 논문은 3GPP LTE-Advanced HetNet 환경에서 셀간 간섭을 회피하고 셀 전체 용량을 높이기 위하여 CCN 기반의 셀간 간섭관리 방법을 제안하였다. 현재 3GPP LTE-Advanced Release-10에서는 셀간 간섭을 극복하기 위한 eICIC 기능들을 추가하였지만, 여전히 HetNet에서 셀간 간섭관리의 중요성은 높다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다수 소형 셀들의 중심에 위치한 CCN이 셀간 간섭을 효율적으로 관리하는 새로운 방식을 제안하였다. 제안된 CCN은 인접한 MeNB와 MUE가 전송하는 제어 신호를 Overhearing해서 셀간 간섭관리를 수행하며, 제안된 기법은 실제 셀룰러 환경에서 간단하면서도 효율성이 높을 수 있는 간섭회피 방법을 제시하였다. 시스템 레벨 모의실험에서는 두가지 UE 배치 시나리오에서 CCN의 효율성을 보다 정확하게 검증하였고, 소형 셀중에서 PeNB를 특별히 선정하여 수행하였다. 모의실험 결과, 제안된 기법은 FFR=1인 동적 자원할당 방법과 비교하여 최소 1Mbps에서 최대 9Mbps까지 전체 셀 용량을 증가시키는 것을 확인하였다. 향후, 펌토 셀 및 D2D와 같은 이기종 네트워크가 추가되는 좀 더 복잡한 환경에 대한 후속 연구를 진행하고자 한다.

## References

- [1] M. Yavuz, F. Meshkati, S. Nanda, A. Pokhariyal, N. Johnson, B. Raghothaman, and A. Richardson, "Interference management and performance analysis of UMTS/HSPA+ femtocells," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp. 102-109, Sep. 2009.
- [2] P. Choi, S. Pae, Y. Kwon, and M. Jung, "Mobility and interference management technology in femtocell network for LTE-Advanced," *KICS Inform. Commun. Mag.*, vol. 28, no. 8, pp. 18-25, July 2011.
- [3] R. V. Nee and R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [4] C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, and R. D. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit and power allocation," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 17, no. 10, pp. 1747-1758, Oct. 1999.
- [5] X. Zhang, C. He, L. Jiang, and J. Xu, "Inter-cell interference coordination based on softer frequency reuse in OFDMA cellular systems," in *Proc. ICNNSP 2008*, pp. 270-275, Las Vegas, U.S.A., Aug. 2008.
- [6] Z. Bakhti and S. S. Moghaddam, "Inter-cell interference coordination with adaptive frequency-reuse for VoIP and data traffic in downlink of 3GPP-LTE," in *Proc. ICAICT 2010*, Tashkent, Uzbekistan, Oct. 2010.
- [7] X. Mao, A. Maaref, and K. H. Teo, "Adaptive soft frequency reuse for inter-cell interference coordination in SC-FDMA based 3GPP LTE uplink," in *Proc. IEEE GLOBECOM 2008*, New Orleans, U.S.A., Dec. 2008.
- [8] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); overall description; stage 2 (Release 10)," 3GPP TS 136.300 V10.3.0, 2011.
- [9] 3GPP, "Summary of the description of candidate eICIC solutions," 3GPP TSG RAN WG1, R1-104968 (CMCC), Aug. 2010.
- [10] LG Electronics, "Comparison of time-domain eICIC solutions," 3GPP TSG RAN WG1 R1-104661, Aug. 2010.
- [11] Qualcomm Inc., "Improving control reliability in severe interference conditions," 3GPP TSG RAN WG1 R1-103561, June 2010.
- [12] CATT, "Analysis of time-partitioning solution for control channel," 3GPP TSG RAN WG1 R1-103494, June 2010.
- [13] D. Lopez-perez, I. Guvenc, G. de la Roche, M. Kountouris, T. Q. S. Quek, and J. Zhang, "Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 22-30, June 2011.
- [14] Motorola, "Downlink control protection in LTE," 3GPP TSG RAN WG1 R1-101122, Feb. 2010.
- [15] Fujitsu, "Discussion on enhanced ICIC schemes for control channel in HetNet," 3GPP TSG RAN WG1 R1-104049, June 2010.
- [16] Texas Instruments, "On the design of relay node for LTE-Advanced," 3GPP TSG RAN

WG1 R1-090290, Jan. 2009.

- [17] Qualcomm Europe, Vodafone, "Evaluation methodology for LTE-A-heterogeneous networks," 3GPP TSG-RAN WG1 R1-082554, June 2008.
- [18] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9)," 3GPP TR 36.814 V9.0.0, Mar. 2010.
- [19] 3GPP2, "CDMA2000 evaluation methodology," 3GPP2 CR 1002-A, May 2009.
- [20] ITU-R, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000," ITU-R Rec. M.1225.

**양 모 찬 (Mochan Yang)**



2005년 8월 숭실대학교 정보통신전자공학부 (학사)  
 2009년 2월 숭실대학교 정보통신공학과 (석사)  
 2009년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 (박사과정)  
 <관심분야> OFDM 시스템, 협

력통신 시스템

**오 선 애 (Shanai Wu)**



2011년 6월 연변과학기술대학 컴퓨터전자통신공학 (학사)  
 2011년 9월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 (석사과정)  
 <관심분야> 이동 및 무선통신

**신 오 순 (Oh-Soon Shin)**



1988년 2월 서울대학교 전기공학부 (학사)  
 2000년 2월 서울대학교 전기공학부 (석사)  
 2004년 2월 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 (박사)  
 2004년 3월~2005년 9월 미국

Harvard University 박사후연구원  
 2006년 4월~2007년 8월 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
 2007년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 전임강사/조교수  
 <관심분야> 통신시스템, 통신이론, 통신신호처리

**신 요 안 (Yoan Shin)**

한국통신학회논문지 vol. 34, no. 1 참조