

논문 2013-50-8-6

# 이종 네트워크에서 스케줄링 및 프리코딩을 결합한 다중 포인트 협력 통신 기술의 성능 분석

(Performance Analysis of CoMP with Scheduling and Precoding  
Techniques in the HetNet System)

김 보 라\*, 문 상 미\*, 사란쉬 말리크\*, 김 철 성\*\*, 황 인 태\*\*

(Bora Kim, Sangmi Moon, Saransh Malik, Cheolsung Kim, and Intae Hwang<sup>©</sup>)

## 요 약

다중 포인트 협력 통신 기술(CoMP; Coordinated Multi-Point)은 3GPP(3rd Generation Partnership Project)의 LTE-A(Long Term Evolution-Advanced) 시스템 기술 중 하나로 고려된다. 본 논문에서는 CoMP 기술의 세부 기법 중 하나인 CB(Coordinated Beamforming) 기법에 대하여 설계하고, 이를 바탕으로 성능 분석이 이루어졌다. LTE-A 시스템의 이종 네트워크(HetNet; Heterogeneous Network) 환경에서 몬테카를로 모의실험이 이루어졌으며, CDF(Cumulative Distribution Function) 그래프를 통하여 그 성능을 확인한다. 모의실험 결과를 통해 CoMP 기술을 사용하였을 때 성능 이득을 얻을 수 있으며, CoMP 기술에 다양한 스케줄링 및 프리코딩 기법을 적용하였을 때 더 좋은 성능을 가져오는 것을 확인할 수 있다.

## Abstract

Coordinated Multi-Point (CoMP) is considered as a technology in the 3rd Generation Partnership Project(3GPP) Long Term Evolution-Advanced (LTE-A) system. In this paper, we design and analyze the performance of the Coordinated Beamforming (CB) technique, which is one major category of CoMP. We perform Monte Carlo simulations with a Heterogeneous Network (HetNet) in LTE-A, and confirm the performance through a graph of the Cumulative Distribution Function (CDF). From the simulation results, we show significant performance gain with the CoMP technique, and better performance when we apply various schemes of scheduling and precoding.

**Keywords** : CoMP, Heterogeneous Network, LTE-A, Precoding, Scheduling

\* 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 연구 결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0301-13-3005).

※ 이 논문은 2012년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

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

접수일자: 2013년4월6일, 수정완료일: 2013년8월7일

## I. 서 론

이동 통신 기술은 고품질의 대용량 서비스에 대해 고속 지원을 요하는 통신 시장을 만족시키기 위해 끊임없이 발전해왔다. 그 중 4세대 이동 통신 환경은 이동 중 100Mbps 급, 정지 중 1Gbps 급의 데이터 전송 속도를 요구하는 차세대 무선 통신으로 유선과 무선, 통신과 방송 등을 통합하여 언제 어디서나 임의의 정보기기로 고속의 네트워크 접속을 가능하게 하는 것을 목표로 하고 있다<sup>[1~2]</sup>.

그러나 최근 스마트폰의 보급으로 언제 어디서나 양질의 데이터 서비스를 지원 받고자 하는 사용자의 요구가 급증하고 있다. 이로 인해 셀 중심뿐만 아니라 셀 가장자리에 있는 단말들에도 높은 데이터 속도를 지원할 수 있는 기술이 필요하게 되었다. 셀 중심은 단순히 각 셀 별로 추가의 안테나 포트를 지원하여 데이터 전송 속도를 증가시키는 것이 가능하지만 셀 가장자리는 주변 셀로부터 간섭에 큰 영향을 받기 때문에 셀 간 협력 없이는 어느 한계 이상으로 데이터 속도를 증가시키는 것이 어렵다. 또한 사용자가 밀집한 지역에서도 고속의 데이터 서비스 제공이 가능하도록 하기 위하여 매크로 셀의 영역 내의 피코셀 또는 펌토셀 같은 소형 셀을 통한 주파수 재활용 기술도 보급되고 있어 전송지점 간 효율적인 간섭 제어 방법은 그 필요성이 더욱 증대되고 있다<sup>[3-4]</sup>.

이와 같이 전송지점 간 간섭을 제어하는 방법은 현재 표준 및 학계의 주요 사안으로 주목 받고 있으며, 특히 3GPP에서는 이러한 간섭 제어 기술을 다중 포인트 협력 통신(CoMP; Coordinated Multi-Point)이라 명명하고 LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) Release 11의 워크 아이템으로 선정하였다.

본 논문에서는 기본적인 다중 포인트 협력 기법에 대해 살펴본 후, 다중 포인트 협력 기법 및 추가적인 여러 기법을 결합했을 경우 성능에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 모의실험 결과를 통해 알아본다. 4세대 이동통신 환경에서 부각되는 문제인 만큼 본 논문에 제안되는 환경들은 기본적으로 4세대 이동통신 모델인 LTE-A 시스템 환경에 기반을 두고 있다.

II장에서 기본적인 CoMP 시스템 모델을 정의하고, III장에서 스케줄링 및 프리코딩 기법에 대하여 간략하게 제시한다. IV장에서는 본 연구의 기반이 되는 모의 실험 환경 및 그 결과를 통해 CoMP 기법의 적용이 전체 성능에 미치는 영향에 대해 확인하고 마지막으로 결론을 맺도록 한다.

## II. 시스템 모델

LTE-A 시스템 네트워크 중 하나인 이종 네트워크 (HetNet; Heterogeneous Network)의 경우 그림 1과 같이 LTE-A Release 11 시나리오 4를 기반으로 한다. 그림 1-(a)와 같이 하나의 매크로셀이 세 개의 sector로

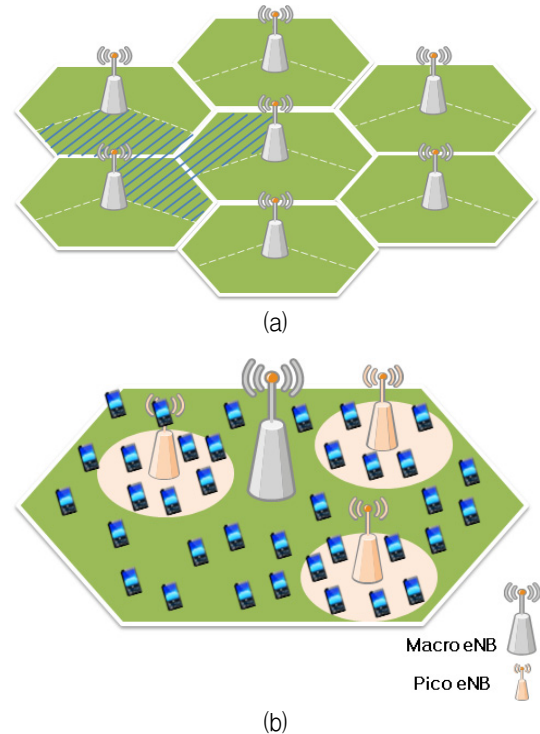


그림 1. LTE-A Release 11의 시나리오 4를 따르는 이종 네트워크 구조: (a) Macro only, (b) Macro and Pico

Fig. 1. Structure of the Heterogeneous Network complying with the LTE-A Release 11 Scenario 4: (a) Macro only, (b) Macro and Pico.

나뉘며, 인접한 sector 세 개가 하나의 cell site를 이루어 협력통신이 이루어진다. 또한 그림 1-(b)와 같이 여러 개의 피코셀이 하나의 매크로셀 내에 존재하며, 매크로셀과 함께 협력하여 통신이 이루어진다. 이 때 사용자는 피코셀과 매크로셀 내에 무작위로 균일하게 분포한다<sup>[5-8]</sup>.

기존의 셀룰러 시스템은 사용자들이 각각의 기지국으로부터 신호를 받을 때 주변 기지국들에서 오는 간섭 신호를 함께 받는다. 하나의 site 내에 세 개의 셀( $C_1, C_2, C_3$ )이 존재하고,  $H_{i1}$ 를  $i$ 번째 셀  $C_i$ 에서 첫 번째 사용자  $M_1$ 까지의 채널이라고 했을 때,  $C_1$  내에 위치한 사용자의 수신된 신호  $Y_1$ 은 다음과 같다<sup>[6]</sup>.

$$Y_1 = H_{11} W_1 X_1 + H_{21} W_2 X_2 + H_{31} W_3 X_3 + Z_1 \quad (1)$$

이 때  $W_i$ 는  $i$ 번째 셀에서의 프리코딩 행렬,  $X_i$ 는  $i$ 번째 셀이  $i$ 번째 셀 내의 사용자에게 송신되는 신호를 의미한다.  $Z_1$ 은  $C_1$  내에 위치한 사용자 안테나에서 발생한 백색 잡음이다.

식에서 보는 바와 같이, 주변 기지국들에서 오는 신호가 간섭으로 작용함에 따라 ICI(Inter-Cell Interference)가 발생하며, 채널 용량이 제한적이다. 이에 대한 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio) 식은 다음과 같다.

$$SINR = \frac{\|H_{11} W_1\|^2 P_1}{\|H_{21} W_2\|^2 P_2 + \|H_{31} W_3\|^2 P_3 + N} \quad (2)$$

이 때  $P_1$ 는  $i$ 번째 셀의 송신 전력,  $N$ 은 전체 잡음 전력을 의미한다.

이러한 문제점에 대한 개선 방안 중 하나인 CoMP 기법은 여러 기지국간에 협력 통신을 통해 간섭을 제어하는 기술이다. 협력에 참여하는 모든 셀이 하나의 셀처럼 동작하고 안테나들만 분산 배치되어 있어 모든 데이터와 채널 정보의 처리를 하나의 장치에서 수행한다. 이를 통해 사용자 자신의 기지국은 물론 주변 기지국으로부터 오는 신호 또한 고려함으로써 용량을 증대시켜 무선 자원 효율의 극대화를 가져올 수 있으며, 특히 셀 가장자리에 위치한 사용자의 전송률을 증가시킬 수 있다. CoMP 기법은 크게 JP(Joint Processing) 및 CS/CB(Coordinated Scheduling and/or Coordinated Beamforming)로 3GPP의 LTE-A에서 논의되고 있다.

CoMP JP 방식의 경우  $C_1$  내에 위치한 사용자 대한 SINR 식은 다음과 같다.

$$SINR = \frac{\|H_{11} W_1 \sqrt{P_1} + H_{21} W_2 \sqrt{P_2} + H_{31} W_3 \sqrt{P_3}\|^2}{N} \quad (3)$$

위의 식에서 보는 것과 같이 다른 셀로부터 오는 신호 또한 간섭신호가 아닌 유용한 신호로 사용되어, 신호를 방해하는 요소로는 잡음만 존재하는 것을 확인할 수 있다.

CoMP CB 방식의 경우 각 셀 내에 위치한 사용자의 수신된 신호는 다음과 같다.

$$Y_1 = H_{11} W_1 X_1 + H_{21} W_2 X_2 + H_{31} W_3 X_3 + Z_1 \quad (4)$$

$$Y_2 = H_{12} W_1 X_1 + H_{22} W_2 X_2 + H_{32} W_3 X_3 + Z_2 \quad (5)$$

$$Y_3 = H_{13} W_1 X_1 + H_{23} W_2 X_2 + H_{33} W_3 X_3 + Z_3 \quad (6)$$

이를 통해 각각의 SINR을 측정하여 SINR을 최대화할 수 있는 프리코딩을 적용함으로써, 주변 셀로부터 오는 간섭은 최소화하고 수신 신호 세기는 최대화할 수

있다. 이에 대한 프리코딩 식은 다음과 같다.

$$W_1' = \arg \max_{w_1} \frac{\|H_{11} W_1\|^2 P_1}{\|H_{21} W_2\|^2 P_2 + \|H_{31} W_3\|^2 P_3 + N} \quad (7)$$

$$W_2' = \arg \max_{w_2} \frac{\|H_{22} W_2\|^2 P_2}{\|H_{12} W_1\|^2 P_1 + \|H_{32} W_3\|^2 P_3 + N} \quad (8)$$

$$W_3' = \arg \max_{w_3} \frac{\|H_{33} W_3\|^2 P_3}{\|H_{13} W_1\|^2 P_1 + \|H_{23} W_2\|^2 P_2 + N} \quad (9)$$

본 논문에서는 복잡도 및 피드백 오버헤드 대비 성능이 가장 좋은 CoMP CB 방식을 이용하여 모의실험이 이루어진다.

### III. 스케줄링 및 프리코딩 기법

이번 장에서는 CoMP의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 스케줄링과 프리코딩 방식을 제안한다. 각 기법에 대한 설명은 다음과 같다.

#### 1. 스케줄링

본 논문에서는 스케줄링을 통해 CoMP 성능을 향상시키고자 하며, 그 종류로는 FFAP(Flexible Frequency Allocation Plan) 기법과 CS(Coordinated Scheduling) 기법을 사용한다.

FFAP 기법은 CoMP 기술을 적용하는 사용자에 특정 주파수 대역을 할당하는 방법이다. 이 경우 전체 사용자 대 CEU(Cell Edge User)의 비율에 따라서 전체 주파수 대역 중 일부를 CEU에 할당한다. 이 때, CCU(Cell Center User)와 CEU는 수신된 SINR을 기반으로 나누어지며, 특정값  $\gamma$ 를 기준으로 SINR 값이  $\gamma$ 보다 큰 경우 CCU,  $\gamma$ 보다 작거나 같은 경우 CEU로 구분된다.

CoMP FFAP 기법의 구조는 그림 2와 같다.

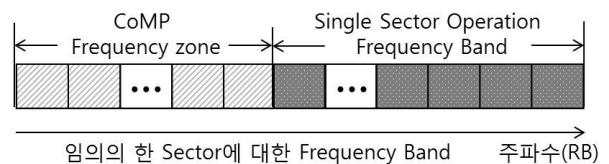


그림 2. CoMP FFAP 기법의 구조  
Fig. 2. Structure of the CoMP FFAP scheme.

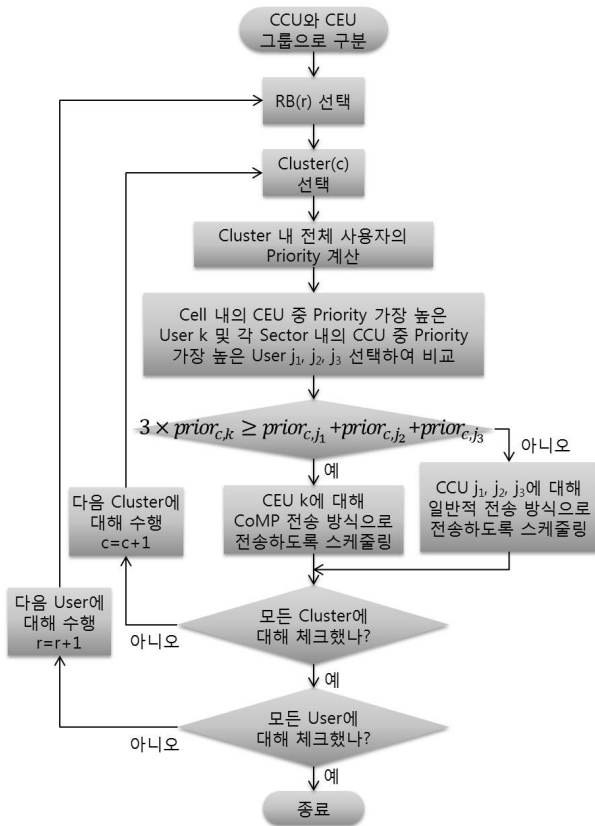


그림 3. CoMP CS 기법의 흐름도  
Fig. 3. Flow Chart of the CoMP CS scheme.

CS 기법은 각 RB(Resource Block)  $r$ 마다 각 cluster  $c$ 에 존재하는 CCU와 CEU에 대하여 데이터를 전송할 수 있는 기회를 주기 위한 방식이다. 그림 3은 이에 대한 흐름도를 보이고 있으며, 이와 같이 CCU와 CEU의 우선순위를 비교함으로써 스케줄링이 이루어진다. 먼저 하나의 cluster에 존재하는 세 개의 sector 내에서 sector 별로 우선순위가 가장 높은 CCU인  $j_1, j_2, j_3$ 에 대하여 우선순위(priority)  $prior_{c,j_1}, prior_{c,j_2}, prior_{c,j_3}$ 를 계산한 뒤, cluster 내에서 우선순위가 가장 높은 CEU인  $k$ 의 우선순위  $prior_{c,k}$ 와 비교한다. 이 때 사용자  $k$ 의 우선순위가 더 높은 경우 사용자  $k$ 에 CoMP 전송 방식을 적용하며, 사용자  $j_1, j_2, j_3$ 의 우선순위가 더 높은 경우 사용자  $j_1, j_2, j_3$ 에 일반적인 전송 방식을 적용하여 전송하도록 스케줄링 한다<sup>[9]</sup>.

2. 프리코딩

CoMP의 성능을 향상시키기 위한 또 다른 방법인 프리코딩은 송신단에서 신호에 특정 행렬을 곱함으로써 신호의 SINR 및 스펙트럼 효율을 높이는 방법이며,

그 종류로는 SVD(Singular Value Decomposition), PD(Polar Decomposition), THP(Tomlinson Harashima Precoding) 및 QRD(QR Decomposition) 기법을 사용한다.

SVD 기법은 송·수신단에서 직교 행렬인  $U, V$ 를 곱하여 채널들을 병렬로 분리시키는 방법이다. 채널 행렬  $H$  및 프리코딩 행렬  $W$ 에 대한 기본 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H &= U\Sigma V^H \\ W &= V \end{aligned} \tag{10}$$

PD 기법은 SVD 기법을 기반으로 하여 채널을 분리하며, 채널 행렬  $H$  및 프리코딩 행렬  $W$ 에 대한 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H &= QSP^H = AU^H \\ A &= QSQ^H \\ W &= U = PQ^H \end{aligned} \tag{11}$$

THP 기법은 비선형 프리코딩 기법으로, Costa의 “writing on dirty paper result”의 정보이론에 근거한다<sup>[10]</sup>. 즉, 송신단에서 간섭 신호를 미리 안다면 간섭이 없는 채널 환경과 동일한 채널 용량을 얻을 수 있다. Costas 프리코딩을 기반으로, 경계 값을 넘는 점에 대하여 대칭적으로 비선형 연산인 modulo 작업을 추가로 사용하는 기법이 THP 프리코딩이다. modulo 연산은 다음 식을 이용하여 이루어진다.

$$\text{mod}_A(x) = x - A \left\lfloor \left( x - \frac{A}{2} \right) / A \right\rfloor \tag{12}$$

이 기법을 간단한 블록도로 표현하면 그림 4와 같다.

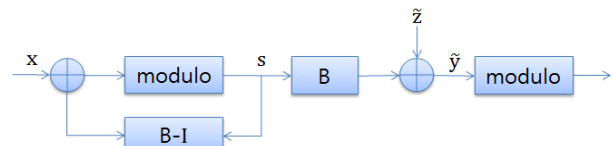


그림 4. THP 프리코딩 기법의 블록도  
Fig. 4. Block Diagram of THP precoding scheme.

QRD 기법은 QR 분해를 통해 채널 행렬을 분해하며, 이를 통해 프리코딩 행렬을 생성한다. 채널 행렬  $H$  및 프리코딩 행렬  $W$ 에 대한 기본 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H &= RQ^H \\ W &= QF \end{aligned} \tag{13}$$

#### IV. 모의실험 환경 및 결과 분석

본 논문에서는 LTE-A 시스템의 이중 네트워크 시나리오에서 적용되는 CoMP 기법에 따른 성능 변화와, CoMP의 기본적인 기법 및 추가적으로 스케줄링, 프리코딩 기법을 적용했을 때에 대한 성능 이득을 확인하고자 하며, CDF(Cumulative Distribution Function) 그래프를 통해 그 성능을 분석한다.

##### 1. 모의실험 환경

모의실험 환경은 3GPP LTE-A 표준을 따르고 있다<sup>[11]</sup>. 표 1을 기반으로 Matlab을 이용하여 시스템 레벨 시뮬레이터를 제작하였다. 본 논문에서는 하나의 매크로셀 내에 세 개의 피코셀이 존재하며, 피코셀은 매크로셀의 가장자리에 위치한다는 가정 하에 모의실험이 이루어졌다.

시뮬레이션 파라미터에 따라 시스템 구조를 제작한 후, 기지국과 위치에 따라 구분한다. 그 후 데이터 전송 및 채널을 통과하여 이에 대한 SINR 및 스펙트럼 효율 측정이 이루어진다.

표 1. 모의실험 파라미터  
Table 1. Simulation Parameters.

Parameter	Value
Carrier Frequency	2 GHz
Bandwidth	20 MHz
Cellular Structure	Hexagonal grid, 2-tiers, 7 cell sites, 3 sectors per site, 3 pico cells per site
No. of MS per Cell	100MSs
Antenna Configuration	BS: 2, MS: 2
BS Max TX Power	Macro cell: 49 dBm Pico cell: 30 dBm
Cell Radius (R)=ISD/ROOT3	[Case 3] 1732/ROOT3= $\sim$ 1000m
Path Loss Model	Macro cell: $L = 128.1 + 37.6\log_{10}(R)$ , R in km Pico cell: $L = 140.7 + 37.6\log_{10}(R)$ , R in km
Shadow Std. Deviation	8 dB
MS Noise Level	174 dBm/Hz
UE Noise Figure	9 dB
NodeB Noise Figure	5 dB
Correlation distance of shadowing	50 m
Shadowing correlation between cells/sectors	0.5 / 1.0
Minimum distance	Macro-UE: >35m, Pico-UE: >10m, Macro-Pico: >75m, Pico-Pico: >40m
BS antenna gain plus cable loss	14 dBi for micro, macro cell case
Antenna Pattern	70 degree sectored beam =70 degree, $A_m=20$ dB
Scheduling scheme	FFAP, CS
Precoding scheme	SVD, PD, THP, QRD

##### 2. 모의실험 결과 분석

제안한 기법의 성능 평가를 위한 기준으로 Non-CoMP 방식을 사용하며, 이 경우 사용자는 하나의 셀로부터 신호를 전송받는다.

##### 가. 스케줄링을 적용한 CoMP 모의실험

CoMP CB 기법에 스케줄링을 적용했을 때의 SINR에 따른 CDF 그래프를 그림 5와 6에서 보이고 있다. 그림 5는 매크로셀간 협력이 이루어질 때 매크로셀 내 사용자에게 대한 SINR이며, 그림 6은 매크로셀과 피코셀

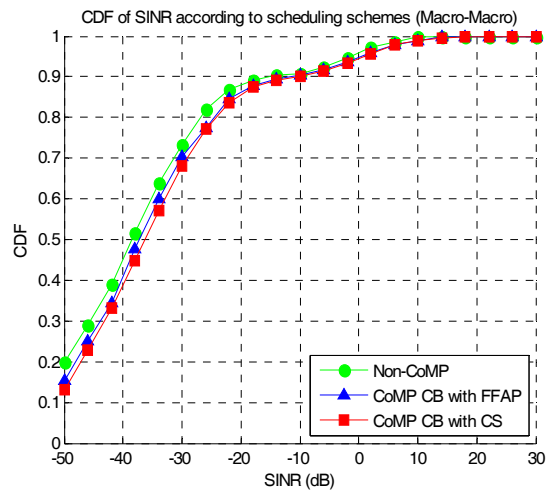


그림 5. 스케줄링 기법에 따른 매크로셀 사용자의 SINR CDF 그래프

Fig. 5. CDF of Macro UE SINR according to scheduling schemes.

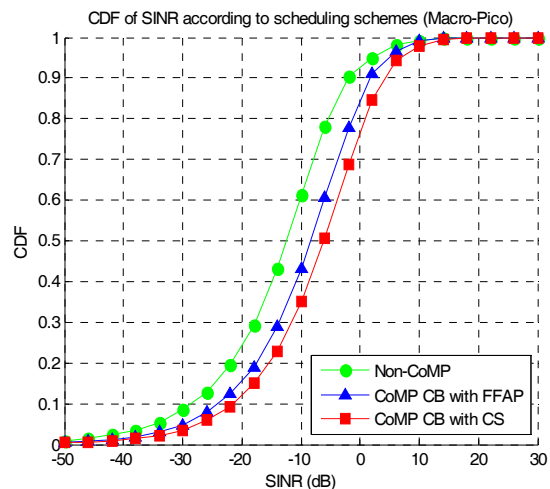


그림 6. 스케줄링 기법에 따른 피코셀 사용자의 SINR CDF 그래프

Fig. 6. CDF of Pico UE SINR according to scheduling schemes.

간 협력이 이루어질 때 피코셀 내에 존재하는 사용자에 대한 SINR이다. 두 결과로부터 Non-CoMP 방식을 사용할 때보다 스케줄링을 적용하였을 때 CDF 그래프 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있으며, CoMP CB 및 CS 기법을 사용하였을 때 시스템의 성능 향상에 가장 기여도가 높은 것을 알 수 있다. 또한 피코셀 내에 존재하는 사용자의 경우, 매크로셀의 가장자리에 위치하여 매크로셀로부터의 간섭의 영향을 적게 받기 때문에 전체적인 성능이 더 좋은 것을 확인할 수 있다.

CoMP CB 기법에 스케줄링을 적용했을 때의 스펙트럼 효율에 따른 CDF 그래프를 그림 7과 8에서 보이고 있다. 그림 7은 매크로셀간 협력이 이루어질 때 매크로셀 내 사용자에 대한 스펙트럼 효율이며, 그림 8은 매크

로셀과 피코셀간 협력이 이루어질 때 피코셀 내에 존재하는 사용자에 대한 스펙트럼 효율이다. 두 결과로부터 Non-CoMP 방식을 사용할 때보다 스케줄링을 적용하였을 때 CDF 그래프 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있으며, CoMP CB 및 CS 기법을 사용하였을 때 시스템의 성능 향상에 가장 기여도가 높은 것을 알 수 있다. 또한 매크로셀 내에 존재하는 사용자보다 피코셀 내에 존재하는 사용자의 스펙트럼 효율 성능이 더 향상되는 것을 확인할 수 있다.

나. 프리코딩을 적용한 CoMP 모의실험

그림 9와 10은 CoMP CB 및 CS 기법에 프리코딩을 적용했을 때의 SINR에 따른 CDF 그래프를 보이고 있

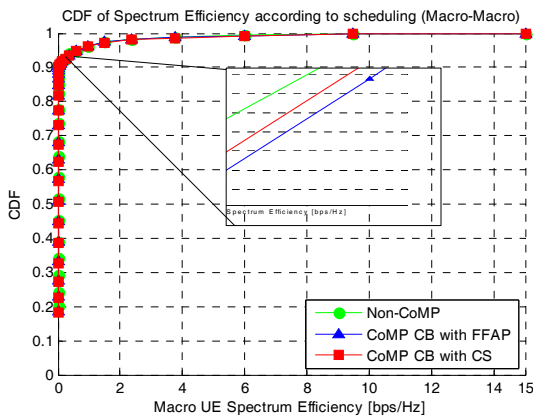


그림 7. 스케줄링 기법에 따른 매크로셀 사용자의 스펙트럼 효율 CDF 그래프

Fig. 7. CDF of Macro UE Spectrum Efficiency according to scheduling schemes.

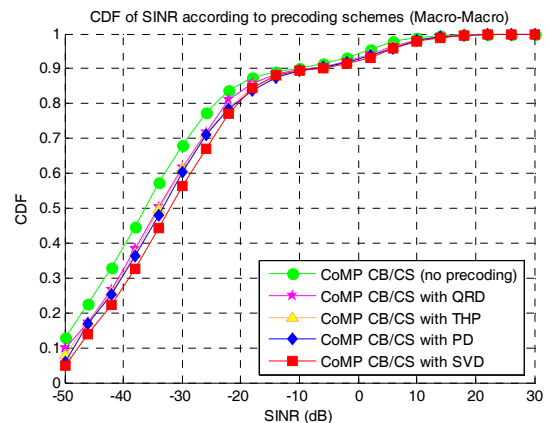


그림 9. 프리코딩 기법에 따른 매크로셀 사용자의 SINR CDF 그래프

Fig. 9. CDF of Macro UE SINR according to precoding schemes.

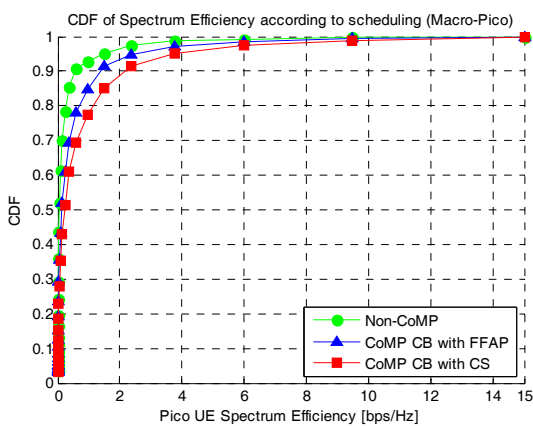


그림 8. 스케줄링 기법에 따른 피코셀 사용자의 스펙트럼 효율 CDF 그래프

Fig. 8. CDF of Pico UE Spectrum Efficiency according to scheduling schemes.

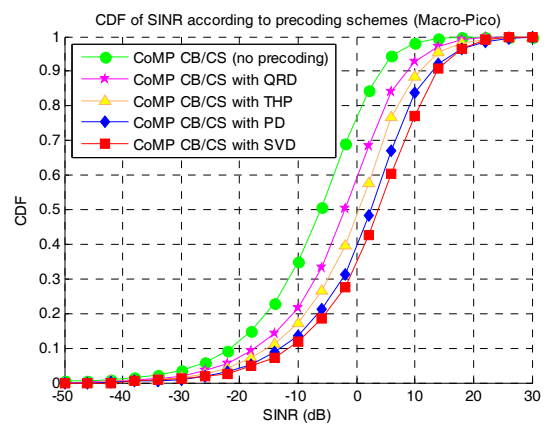


그림 10. 프리코딩 기법에 따른 피코셀 사용자의 SINR CDF 그래프

Fig. 10. CDF of Pico UE SINR according to precoding schemes.

다. 그림 9는 매크로셀간 협력이 이루어질 때 매크로셀 내 사용자에 대한 스펙트럼 효율을, 그림 10은 매크로셀과 피코셀간 협력이 이루어질 때 피코셀 내에 존재하는 사용자에 대한 스펙트럼 효율을 나타낸다. 두 결과로부터 CoMP 기법과 프리코딩을 함께 적용했을 때 성능 이득을 가져오는 것을 확인할 수 있다. 프리코딩을 적용한 경우 QRD, THP, PD, SVD 순으로 성능 향상을 보인다. 또한 피코셀 내에 존재하는 사용자의 경우 성능이 더 좋은 것을 확인할 수 있다.

그림 11과 12는 CoMP CB 및 CS 기법에 프리코딩을 적용했을 때의 스펙트럼 효율에 따른 CDF 그래프를 보이고 있다. 그림 11은 매크로셀간 협력이 이루어질 때 매크로셀 내 사용자에 대한 스펙트럼 효율을, 그림 12는 매크로셀과 피코셀간 협력이 이루어질 때 피코셀 내

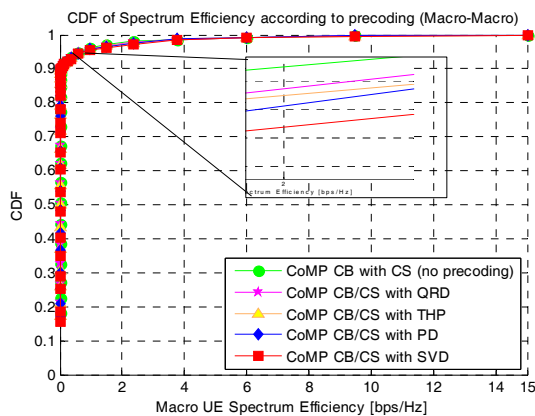


그림 11. 프리코딩 기법에 따른 매크로셀 사용자의 스펙트럼 효율 CDF 그래프

Fig. 11. CDF of Macro UE Spectrum Efficiency according to precoding schemes.

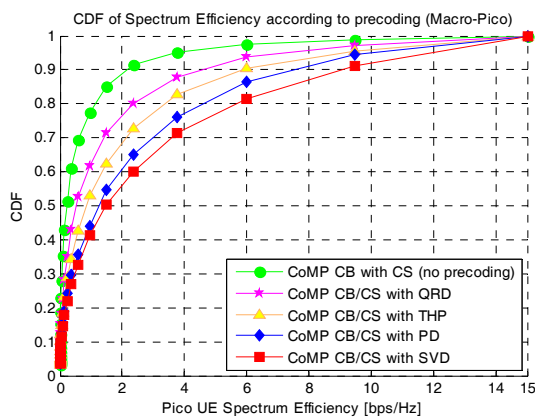


그림 12. 프리코딩 기법에 따른 피코셀 사용자의 스펙트럼 효율 CDF 그래프

Fig. 12. CDF of Pico UE Spectrum Efficiency according to precoding schemes.

에 존재하는 사용자에 대한 스펙트럼 효율을 나타낸다. 두 결과로부터 CoMP 기법과 프리코딩을 함께 적용했을 때 성능 이득을 가져오는 것을 확인할 수 있다. 또한 매크로셀 내에 존재하는 사용자보다 피코셀 내에 존재하는 사용자의 스펙트럼 효율 성능이 더 향상되는 것을 확인할 수 있다. 프리코딩을 적용한 경우 QRD, THP, PD, SVD 순으로 성능 향상을 보인다.

## V. 결 론

본 논문에서는 차세대 셀룰러 시스템을 위한 사용자들 간 다중 포인트 협력 통신 기법에 대하여 성능 분석이 이루어졌다. 또한 LTE-A 시스템의 네트워크인 동종 네트워크 환경을 기반으로 이종 네트워크를 형성하여 성능 평가가 이루어졌다.

매크로셀만 존재하는 경우와, 매크로셀의 가장자리에 피코셀이 존재할 경우의 CoMP 기법 적용에 따른 성능에 대하여 비교 분석하였다. 추가적으로, CoMP 기법과 스케줄링 기법, 프리코딩 기법을 결합했을 때 기존 CoMP 기법에 비해 성능을 더욱 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

최종적으로, 다수 개의 소형 셀이 존재하는 차세대 이동통신 환경에서도 CoMP 기술 적용이 가능하다고 결론지을 수 있다.

추후 연구과제로 전력 할당과 같은 추가 기술을 CoMP에 적용할 예정이며, 이를 통해 더욱 향상된 모의 실험 결과를 예상할 수 있다.

## REFERENCES

- [1] 3GPP TR 36.913, "Requirements for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)," 3rd Generation Partnership Project.
- [2] 3GPP, "IMT Advanced Technical Requirements - An India Perspective," REV-080050, Shenzhen, China, April 7-8, 2008, CEWiT.
- [3] Samsung, "Standard Trends and Performance Analysis of Cooperative Communication on a Point-to-Point Transmission based on LTE-Advanced", TTA Journal, Vol.139, pp.94-99, 2012.
- [4] M. S. Kim, "Coordinated Precoding With Vector Codebook for Cell Boundary Users of MIMO

- Interference Channel”, 대한전자공학회, 전자공학 회논문지, vol. 49 TC, no. 10, pp.54-59, Sep. 2012.
- [5] 3GPP TR 36.819, “Coordinated multi-point operation for LTE physical layer aspects (Release 11)”, 3rd Generation Partnership Project, Sept. 2011.
- [6] Y.-P. Zhang, “Joint Transmission for LTE-Advanced Systems with Non-Full Buffer Traffic”, Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2012 IEEE 75th, pp.1-6, May 2012.
- [7] Jung Ah C. Lee, “Coordinated Multi-point Transmission in 3GPP LTE-Advanced”, 대한전자공학회 ITC-CSCC, pp.1609-1612, 2009.
- [8] Y.-H. Nam, “Cooperative Communication Technologies for LTE-Advanced”, ICASSP, 2010 IEEE, pp.5610-5613, March 2010.
- [9] Jing LIU, “A Novel Transmission Scheme and Scheduling Algorithm for CoMP-SU-MIMO in LTE-Advanced System”, 2010 IEEE 71st, pp.1-5, May 2010.
- [10] M.H.M. Costa, “Writing on dirty paper”, IEEE Trans. Info. Theory, vol. 29, no. 3, pp.439-441, May 1983.
- [11] 3GPP TR 36.814, “Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9)”, 3rd Generation Partnership Project.

---

 저 자 소 개
 

---



김 보 라(학생회원)  
2012년 2월 전남대학교  
전자컴퓨터공학부 학사  
2012년 3월~현재 전남대학교  
전자컴퓨터공학과 석사과정

<주관심분야 : 이동통신, CoMP>



김 철 성(평생회원)  
1987년 Univ. of Arizona 박사  
1987년~1989년 한국전자통신 연  
구원  
1989년~현재 전남대학교 전자컴  
퓨터공학부 교수

<주관심분야 : 이동통신, 디지털통신, MIMO, OFDM, RFID>



문 상 미(학생회원)  
2012년 2월 전남대학교  
전자컴퓨터공학부 학사  
2012년 3월~현재 전남대학교  
전자컴퓨터공학과  
석사과정

<주관심분야 : 이동통신, ICIM>



황 인 태(평생회원)  
1990년 2월 전남대학교  
전자공학과 학사  
1992년 8월 연세대학교  
전자공학과 석사  
1999년 9월~2004년 2월 연세대학  
교 전기전자공학과 박사  
1992년 8월~2006년 2월 LG전자 책임 연구원  
2006년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부  
교수

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신시스템, mobile terminal system for next generation, physical layer software for mobile terminal, efficient algorithms for AMC, MIMO and MIMO-OFDM, Relaying scheme for wireless communication>



사란쉬 말리크(학생회원)  
2010년 라지프 간디 공과대학  
IT학과 학사  
2013년 2월 전남대학교 전자  
컴퓨터공학과 석사  
2013년 3월~현재 전남대학교  
전자컴퓨터공학과  
박사과정

<주관심분야 : MIMO, OFDM, Relay>