

논문 2013-50-7-4

LTE-Advanced 시스템에서 스케줄링 및 프리코딩을 결합한 다중 포인트 협력 통신 기법의 성능 분석

(Performance Analysis of Coordinated Multi-Point with Scheduling and Precoding schemes in LTE-Advanced 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[©])

요 약

본 논문에서는 차세대 셀룰러 시스템을 위한 사용자들 간 다중 포인트 협력 통신 (CoMP; Coordinated Multi-Point) 기법에 대하여 설계하고 이를 바탕으로 성능 분석이 이루어졌다. LTE-Advanced (Long Term Evolution-Advanced) 시스템에서 몬테 카를로 모의실험이 이루어졌으며, CDF (Cumulative Distribution Function) 그래프를 통해 그 성능을 확인한다. CoMP를 사용하였을 때 성능이 향상되는 것을 확인하였으며, 스케줄링과 프리코딩 등 여러 기법을 추가로 적용하였을 때 더 좋은 결과를 얻는 것을 확인한다.

Abstract

In this paper, we design and analyze the performance of Coordinated Multi-Point (CoMP) techniques to the number of users for next-generation cellular systems. We perform Monte Carlo simulations with Long Term Evolution-Advanced (LTE-Advanced) and confirm the performance from the graph of the Cumulative Distribution Function (CDF). From simulation results, we show the significant performance gain when CoMP technique is used and also show better performance when we apply the various schemes additionally as scheduling and precoding.

Keywords : CoMP, Coordinated Beamforming, LTE-Advanced, Precoding, Scheduling.

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^[1-2].

그러나 최근 스마트폰의 보급으로 언제 어디서나 양질의 데이터 서비스를 지원 받고자 하는 사용자의 요구가 급증하고 있다. 이로 인해 셀 중심뿐만 아니라 셀 가장자리에 있는 단말들에게도 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

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

접수일자: 2013년2월24일, 수정완료일: 2013년6월27일

것이 어렵다. 이에 따라 전송지점 간 효율적인 간섭 제어 방법은 그 필요성이 더욱 증대되고 있다^[3-4].

이와 같이 전송지점 간 간섭을 제어하는 방법은 현재 표준 및 학계의 주요 사안으로 주목 받고 있으며, 특히 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 이러한 간섭 제어 기술을 다중 포인트 협력 통신(CoMP; Coordinated Multi-Point)이라 명명하고 LTE-Advanced(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-Advanced 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-Advanced 시스템 네트워크는 LTE-Advanced Release 11의 시나리오 1(Homogeneous Network)을 따른다. 이 경우 그림 1과 같이 세 개의 sector가 하나의 cell site를 이루어 협력통신이 이루어지며, 매크로셀 내에 사용자들이 무작위로 균일하게 분포한다고 가정한다^[5-7].

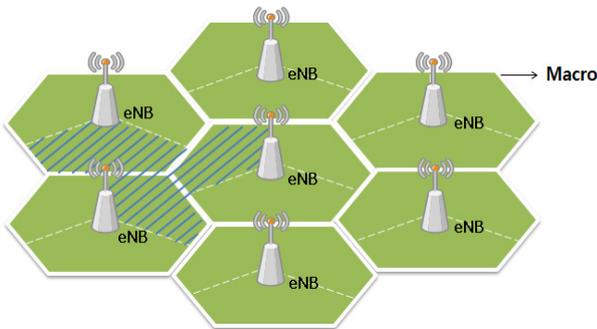


그림 1. LTE-Advanced Release 11의 시나리오 1 구조
Fig. 1. Structure of Scenario 1 in LTE-Advanced Release 11.

기존의 셀룰러 시스템은 사용자들이 각각의 기지국으로부터 신호를 받을 때 주변 기지국들에서 오는 간섭 신호를 함께 받는다. 하나의 cell site 내에 세 개의 sector가 존재하고, H_{i1} 를 i 번째 셀 C_i 에서 첫 번째 사용자 M_1 까지의 채널이라고 했을 때, C_i 내에 위치한 사용자의 수신된 신호 Y_1 은 다음과 같다.

$$Y_1 = H_{i1} W_1 X_1 + H_{i2} W_2 X_2 + H_{i3} W_3 X_3 + Z_1 \tag{1}$$

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_i 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 C_i 내에 위치한 사용자의 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio) 식은 다음과 같다.

$$SINR = \frac{\|H_{i1} W_1\|^2 P_1}{\|H_{i2} W_2\|^2 P_2 + \|H_{i3} W_3\|^2 P_3 + N} \tag{2}$$

이러한 문제점에 대한 개선 방안으로 본 논문에서 제안하는 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)으로 3GPP LTE-Advanced에서 논의되고 있다.

CoMP JP 방식에서 C_i 내에 위치한 사용자에 대한 SINR 식은 다음과 같다.

$$SINR = \frac{\|H_{i1} W_1 \sqrt{P_1} + H_{i2} W_2 \sqrt{P_2} + H_{i3} W_3 \sqrt{P_3}\|^2}{N} \tag{3}$$

위의 식에서 보는 것과 같이, 사용자가 위치한 셀의 기지국이 주변 기지국들과의 협력을 통해 같은 신호를 전달해준다. 이를 통해 다른 셀로부터 오는 신호 또한 간섭 신호가 아닌 유용한 신호로 사용하며, 오직 잡음만

이 신호를 방해하는 요소로 작용하는 것을 알 수 있다.

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

$$Y_1 = H_{11}W_1X_1 + H_{21}W_2X_2 + H_{31}W_3X_3 + Z_1 \quad (4)$$

$$Y_2 = H_{12}W_1X_1 + H_{22}W_2X_2 + H_{32}W_3X_3 + Z_2 \quad (5)$$

$$Y_3 = H_{13}W_1X_1 + H_{23}W_2X_2 + H_{33}W_3X_3 + Z_3 \quad (6)$$

이를 통해 각각의 SINR을 측정하여 가장 높은 SINR을 갖는 프리코딩 행렬을 각 셀에 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. 이를 CoMP에 적용함으로써 보다 높은 전송 효율을 얻고자 한다. 각 기법에 대한 설명은 다음과 같다.

1. 스케줄링

CoMP 성능을 향상시킬 수 있는 방법 중 하나로 스케줄링이 있으며, 본 논문에서는 FFAP(Flexible Frequency Allocation Plan) 기법과 CS(Coordinated Scheduling) 기법을 적용한다.

FFAP 기법은 CoMP 기술을 적용하는 사용자에게 특정 주파수 대역을 할당하는 방법이다. 이 기법의 구조

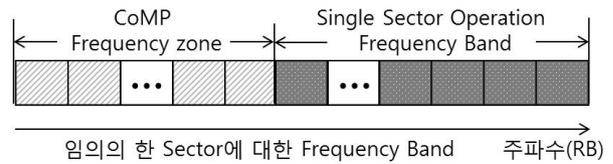


그림 2. CoMP FFAP 기법의 구조
Fig. 2. Structure of CoMP FFAP scheme.

는 그림 2와 같다.

먼저 CCU(Cell Center User)와 CEU는 수신된 SINR을 기반으로 나뉘며, 식 (10)과 같이 γ 를 기준으로 SINR 값이 γ 보다 작거나 같은 경우 CEU로 본다.

$$SINR \leq \gamma \quad (10)$$

이 때 γ 는 predetermined threshold이다. 그 후 전체 사용자 대 CEU(Cell Edge User)의 비율에 따라서 전체 주파수 대역 중 일부를 CEU에 할당한다. CoMP frequency zone에 대한 비율은 다음과 같다.

$$\beta = \frac{N_{CEU}}{N_{CCU} + N_{CEU}} \times \alpha \quad (11)$$

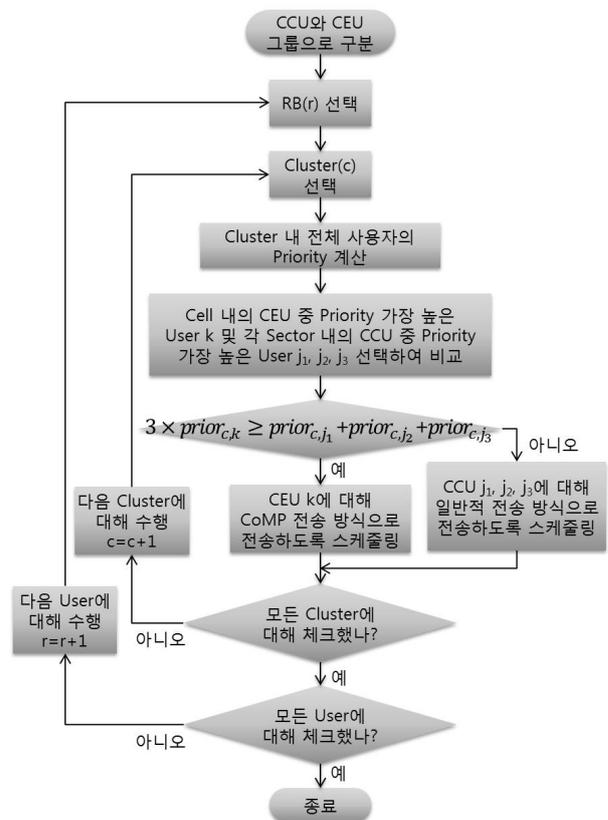


그림 3. CoMP CS 기법의 흐름도
Fig. 3. Flow Chart of CoMP CS scheme.

이 때, N_{CEU} 와 N_{CCU} 는 각각 CEU와 CCU의 수를 의미한다. α 는 CCU에 할당되는 주파수의 비율값으로써, 본 논문에서는 최적값인 0.8로 모의실험이 이루어진다.

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^[8].

2. 프리코딩

CoMP의 성능을 향상시키기 위한 또 다른 방법인 프리코딩은 송신단에서 신호에 특정 행렬을 곱함으로써 신호의 SINR 및 스펙트럼 효율을 높이는 방법이며, 본 논문에서는 QRD(QR Decomposition), THP(Tomlinson Harashima Precoding), PD(Polar Decomposition) 및 SVD(Singular Value Decomposition), 기법을 적용한다.

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.

$$\begin{aligned} H &= RQ^H \\ W &= QF \end{aligned} \quad (12)$$

이 때, Q 는 unitary or semi-unitary matrix, R 은 lower triangular matrix이다.

THP 기법은 비선형 프리코딩 기법으로, Costa's "writing on dirty paper result"의 정보이론에 근거한다^[9]. 즉, 송신단에서 간섭 신호를 미리 안다면 간섭이 없는 채널 환경과 동일한 채널 용량을 얻을 수 있다. 이러한 Costa's 프리코딩을 기반으로, 경계 값을 넘는 점에 대하여 대칭적으로 비선형 연산인 modulo 작업을 추가로 사용하는 기법이 THP 프리코딩이다. modulo 연산은 다음 식을 이용하여 이루어진다.

$$\text{mod}_A(x) = x - A \left\lfloor \left(x - \frac{A}{2} \right) / A \right\rfloor \quad (13)$$

이 기법을 간단한 블록도로 표현하면 그림 4와 같다.

SVD 기법은 송·수신단에서 직교 행렬을 곱하여 채

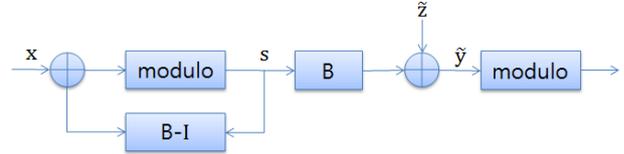


그림 4. THP 프리코딩 기법의 블록도

Fig. 4. Block Diagram of THP precoding scheme.

널을 병렬로 분리시키는 방법이다. 채널 행렬 H 및 프리코딩 행렬 W 에 대한 기본 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H &= U\Sigma V^H \\ W &= V \end{aligned} \quad (14)$$

이 때 U 는 $m \times m$ unitary or semi-unitary matrix, Σ 는 양의 대각 성분을 갖는 $m \times n$ rectangular diagonal matrix, V 는 $n \times n$ unitary matrix이다.

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

$$\begin{aligned} H &= QSP^H = AU^H \\ A &= QSQ^H \\ W &= U = PQ^H \end{aligned} \quad (15)$$

이 때 A 는 gain matrix로써 positive semi-definite Hermitian matrix, U 는 phase matrix로써 unitary or semi-unitary matrix이다.

IV. 모의실험 환경 및 결과 분석

본 논문에서는 LTE-Advanced 시스템의 동종 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-Advanced 표준을 따르고 있다^[10]. 표 1을 기반으로 Matlab을 이용하여 시스템 레벨 시뮬레이터를 제작하였다.

시뮬레이션 파라미터에 따라 시스템 구조를 제작한

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 cell site
No. of MS per cell	100 MSs
Antenna Configuration	BS: 2, MS: 2
BS Max TX Power	49 dBm - 20 MHz Carrier
Cell Radius (R) = ISD/ROOT3	[Case 1] 500/ROOT3≈289m → Interference limited Micro Cell
Path Loss Model	$L = 128.1 + 37.6\log_{10}(R)$, R in kilometers
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 between UE and cell	>=35 meters
BS antenna gain plus cable loss	14 dBi for micro, macro cell case
Antenna Pattern	70 degree sectored beam =70 degree, $A_m=20\text{dB}$
Scheduling scheme	FFAP, CS
Precoding scheme	QR, THP, PD, SVD

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

2. 모의실험 결과 분석

제안한 기법의 성능 평가를 위한 기준으로 Non-CoMP 방식을 사용하며, 이 경우 일반적인 전송 방식을 사용하여 사용자에 신호를 전송한다.

가. 스케줄링을 적용한 CoMP 모의실험

그림 5와 6은 CoMP CB 기법에 다양한 스케줄링을 적용했을 때의 SINR과 스펙트럼 효율에 따른 CDF 그래프를 각각 보이고 있다. 두 결과로부터 Non-CoMP 방식을 사용할 때보다 CoMP에 여러 스케줄링을 적용하였을 때 CDF 그래프 성능이 향상되는 것을 확인할

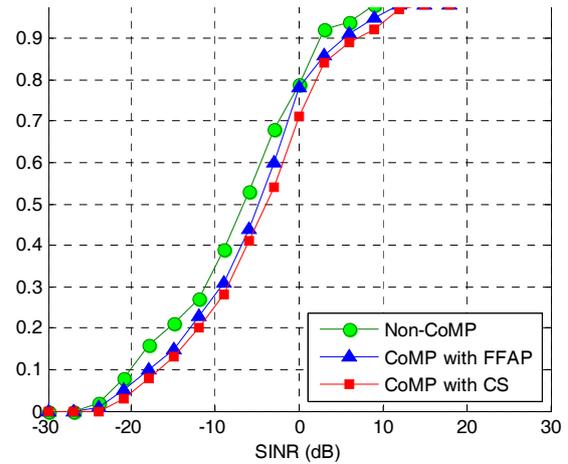


그림 5. 스케줄링 기법에 따른 SINR CDF 그래프
Fig. 5. CDF of SINR according to scheduling schemes.

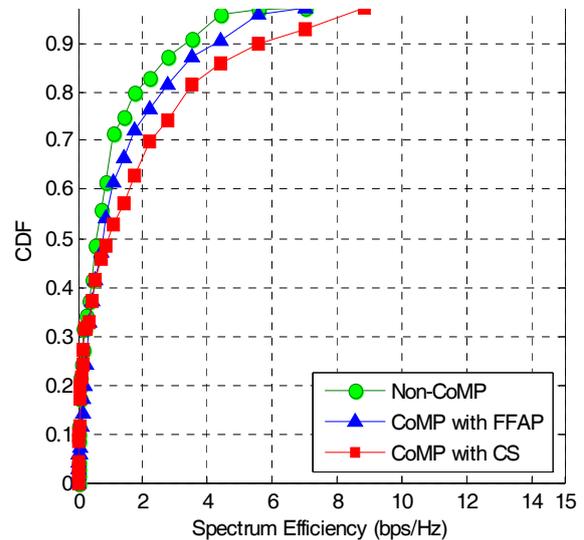


그림 6. 스케줄링 기법에 따른 스펙트럼 효율 CDF 그래프
Fig. 6. CDF of Spectrum Efficiency according to scheduling schemes.

수 있으며, CS 기법 적용 시 시스템의 성능 향상에 가장 기여도가 높은 것을 알 수 있다.

나. 프리코딩을 적용한 CoMP 모의실험

그림 7과 8은 CoMP CB 및 CS 기법에 프리코딩을 적용했을 때의 SINR과 스펙트럼 효율에 따른 CDF 그래프를 각각 보이고 있다. 두 결과로부터 CoMP에 다양한 프리코딩을 적용했을 때 성능 이득을 가져오는 것을 확인할 수 있다. 프리코딩을 적용한 경우 QRD, THP, PD, SVD 순으로 성능 향상을 보인다.

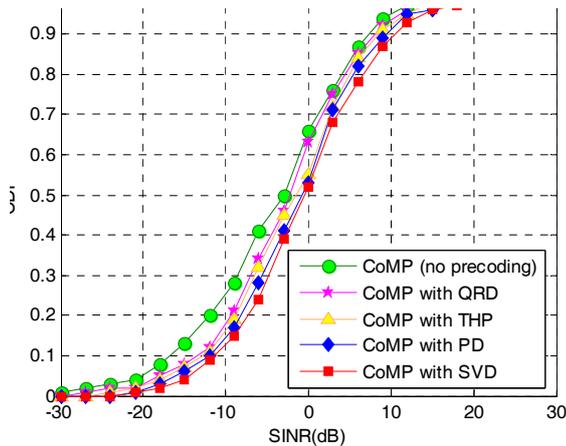


그림 7. 프리코딩 기법에 따른 SINR CDF 그래프
Fig. 7. CDF of SINR according to precoding schemes.

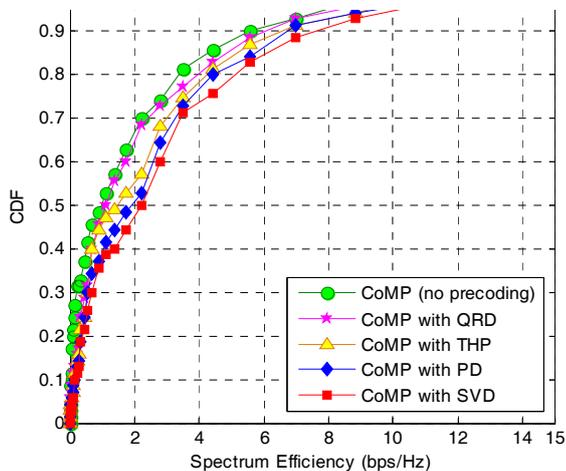


그림 8. 프리코딩 기법에 따른 스펙트럼 효율 CDF 그래프
Fig. 8. CDF of Spectrum Efficiency according to precoding schemes.

V. 결 론

본 논문에서는 차세대 셀룰러 시스템을 위한 사용자들 간 다중 포인트 협력 통신 기법에 대하여 성능 분석이 이루어졌다. LTE-Advanced 시스템을 기반으로 모의실험이 이루어졌으며, CoMP 기법을 사용하였을 때 성능이 향상되는 것을 확인하였다. 또한 CoMP에 다양한 스케줄링 기법, 프리코딩 기법 등을 적용했을 때 기존 CoMP 기법에 비해 성능을 더욱 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

LTE-Advanced 시스템의 네트워크인 동종 네트워크 환경을 기반으로 성능 평가가 이루어졌으며, 추후 연구 개발 과제로 이종 네트워크와 같은 여러 시나리오에서의 성능 평가 작업이 이루어질 계획이다.

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] Yong-Ping 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.
- [6] 3GPP TR 36.819, "Coordinated multi-point operation for LTE physical layer aspects (Release 11)", 3rd Generation Partnership Project, Sept. 2011.
- [7] Jung Ah C. Lee, "Coordinated Multi-point Transmission in 3GPP LTE-Advanced", 대한전자공학회 ITC-CSCC, pp.1609-1612, 2009.
- [8] 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.
- [9] M.H.M. Costa, "Writing on dirty paper," IEEE Trans. Info. Theory, vol. 29, no. 3, pp.439-441, May 1983.
- [10] 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>