
멀티 포인트 시스템에서 시스템 레벨 시뮬레이션에 기반을 둔 스펙트럼 효율성 검증

정방철* · 신원용** · 반태원***

Spectral Efficiency Evaluation of Coordinated Multi-point Systems Based on System Level Simulations

Bang Chul Jung* · Won-Yong Shin** · Tae Won Ban***

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아
수행된 기초연구 사업임 (No.2010-0011140)

요 약

본 논문에서는 셀 경계지역 사용자의 스펙트럼 효율성 향상을 위하여 3GPP LTE-A (Long-Term Evolution-Advanced) 시스템에서 논의되는 셀 간 협력 전송기법 중 하나인 CoMP (Coordinated Multi-Point) 시스템을 소개하고, 성능 검증을 위해 시스템 레벨 시뮬레이터를 개발한다. 셀 간 협력 전송 시 시스템의 성능 개선 정도를 확인하기 위하여 기존 이동통신 시스템 중 가장 높은 성능을 보이는 3GPP LTE-A 시스템을 참조 시스템으로 선정하여 성능 비교를 수행한다. CoMP 시스템 레벨 시뮬레이션은 널리 사용되고 있는 OPNET을 기반으로 하는데, 셀 간 협력 전송 시스템 설계를 바탕으로 CU (Central Unit), CeNB (CoMP eNodeB), UE (User Equipment), MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 채널 모델 등의 모듈을 구현한다. WINNER 무선 채널 모델 및 ITU (International Telecommunication Union) 네트워크 모델 환경을 통하여 하위 5%의 스펙트럼 효율성을 가지는 셀 가장자리 사용자의 성능을 검증할 때, 3GPP LTE-A 참조 시스템 대비 제안한 CoMP 시스템의 용량이 약 2.5배 정도 증가하였음을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, so as to improve spectral efficiency for cell-boundary users, we introduce a coordinated multi-point (CoMP) system, which is one of inter-cell cooperative transmission strategies studied in 3GPP long-term evolution-advanced (LTE-A) systems, and develop a system-level simulator to evaluate performance. To identify performance improvement of the system with inter-cell cooperative transmission, we select a 3GPP LTE system as a reference, which shows the highest performance among the existing mobile communication systems, and conduct a performance comparison. System-level simulation is performed based on widely-used OPNET tool. We implement modules including central unit (CU), CoMP eNodeB (CeNB), user equipment (UE), and multiple-input multiple-output (MIMO) channel model, while designing the inter-cell cooperative transmission system. Under WINNER wireless channel model and international telecommunication union (ITU) network model environments, we then evaluate the performance of edge users who belong to the lower 5% in terms of spectral efficiency. It is finally shown that throughput of the proposed CoMP system gets improved up to 2.5 times compared to that of the 3GPP LTE reference system.

키워드

셀 경계지역 사용자, 시스템 레벨 시뮬레이션, 스펙트럼 효율성, 일원화된 멀티 포인트

Key word

Cell-boundary user, system-level simulation, spectrum efficiency, coordinated multi-point (CoMP)

* 정회원 : 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양산업연구소(bcjung@gnu.ac.kr) 접수일자 : 2011. 08. 09
** 정회원 : 하버드 대학교 심사완료일자 : 2011. 09. 01
*** 정회원 : KT (교신저자)

I. 서 론

셀 간 간섭 문제는 셀룰라 환경에서 성능에 영향을 미치는 큰 요소로써, 이를 극복하는 연구는 오래 전부터 진행되어 왔다. 최근 세계 주요 산업체에서는 차세대 이동통신의 핵심 원천 기술로 셀 간 간섭을 능동적으로 제어하기 위한 셀 간 협력 간섭 제어 기술에 주목하여 왔고, 최근 3GPP LTE-A (Long-Term Evolution-Advanced)와 IEEE 802.16m 등의 이동통신 표준 단체에 활발히 기고하고 있다. 현재까지 논의된 셀 간 간섭을 줄이는 방법을 크게 네 가지로 분류할 수 있는데, 셀 간 간섭 랜덤화 기법, 셀 간 간섭 제어 기법, 셀 간 간섭 회피 기법, 셀 간 간섭 조절 기법이 있다. 이 중 본 연구에서 중점적으로 다룬 내용은 차세대 이동통신 시스템의 요소 기술로 주목받고 있는 셀 간 협력 전송 방법이다.

기존에 연구된 기지국 간 협력에 관련해서는 다양한 기술들이 있는데, 빔형성 기반의 기지국/노드 협력 신호 전송 기술 [1], 협력 통신을 위한 분산 환경 시공간 부호화 기술 [2], 기지국 간 협력을 통한 간섭 제거/억제 및 신호 검출 기술 [3], 최적 노드/채널 검색 및 기지국/단말 분산 협력 센싱 기술 [4], 분산 오류 정정 및 제어 기술 [5], 기지국간 자원 할당 협력을 통한 간섭 억제 기술 [6] 등이 있다.

본 논문에서는 셀 경계지역 사용자의 스펙트럼 효율성 향상을 위하여 LTE-A 시스템에서 현재 활발하게 논의되는 셀 간 협력 전송기법 중 하나인 CoMP (Coordinated Multi-Point) 시스템을 소개한다. 이 개념은 네트워크 다중 안테나 시스템이라고도 불리는데, 지역적으로 떨어져 있는 기지국을 통한 가상 다중 안테나 시스템 구성을 바탕으로 기존 다중 안테나 시스템의 한계를 극복할 수 있어 주파수 효율이 높은 고속 데이터 전송을 가능하게 한다. 연구의 주요 목적은 CoMP 시스템 성능 검증을 위한 OPNET 기반 시스템 레벨 시뮬레이터 개발이다.

본 시스템은 인접 기지국을 분산 안테나로 간주하여 셀 간 협력 전송을 효과적으로 수행하기 위한 시뮬레이션 시나리오와 관련된 기능을 포함한다. 기지국 협력 전송이 기존 시스템 대비 얼마만큼의 성능 개선을 가져오는지 확인하기 위하여, 기존 이동통신 시스템 중 가

장 높은 성능을 보이는 3GPP LTE-A 시스템을 참조 시스템으로 선정하여 CoMP 시스템과 동일한 환경에서 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이터는 폭넓게 사용되고 있는 OPNET을 활용하는데, 본 시뮬레이터는 협력 전송을 중앙에서 관리하는 중앙 관리 장치와 이에 의해 제어되는 기지국 및 단말로 구성되므로 새로운 시뮬레이터 구조 개발이 필요하다. 구체적으로 CoMP 시스템 레벨 시뮬레이터에서는 CU (Central Unit), CeNB (CoMP eNodeB), UE (User Equipment), MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 채널 모델 등의 모듈을 구현한다. 또한 CoMP 시스템 레벨 시뮬레이터 설계를 위해 CoMP 시스템 설계, WINNER 무선 채널 모델 및 ITU (International Telecommunication Union) 네트워크 모델 환경을 보인다. CoMP 시스템의 성능 검증 및 분석을 위한 성능 지표로써 하위 5%의 성능을 가지는 셀 가장자리 사용자의 주파수 효율성을 사용한다. 이 경우 3GPP LTE-A 참조 시스템 대비 제안한 CoMP 시스템의 스펙트럼 효율성이 2.5배 정도 향상되었음을 보인다. 또한 FFR (Fractional Frequency Reuse) 기법을 사용하였을 때에도 CoMP 시스템을 적용함으로써 FFR 바깥쪽 사용자의 스펙트럼 효율성이 대략 2.3배 증가하였음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장 및 III장에서 시스템 레벨 시뮬레이터 구성 및 CoMP 시스템 시뮬레이터 설계에 대해 각각 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션 결과를 보이고, V장에서 본 논문을 요약 및 마무리한다.

II. 시스템 레벨 시뮬레이터 구성

본 논문에서의 CoMP 시스템은 기지국 간 협력을 기반으로 하고 있으며 이를 위해 협력을 통해 일원화를 하는 실체가 필요하다. 하지만 이는 기존 이동통신 시스템의 시뮬레이터 구조로 구현하기 어려운 측면이 있으므로 새로운 시뮬레이터 구조가 필요하다. 본 시뮬레이터는 협력 전송을 중앙에서 관리하는 중앙 관리 장치와 이에 의해 제어되는 기지국과 단말로 구성되므로, 기존 이동통신 시스템 시뮬레이터의 기지국-단말의 단순한 구조와는 확연히 다르다. 또한 성능 분석을 위해 시스템 사

양 및 운영 방안의 정의가 필요하며 요소기술이 시스템 레벨에서 어떠한 성능을 보이는지 검증하기 위해 OPNET 기반 시스템 레벨 시뮬레이터 개발을 수행하도록 한다.

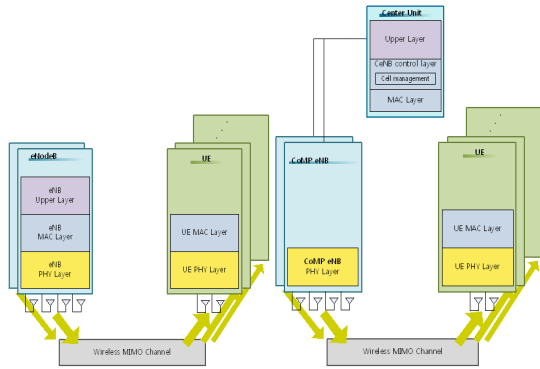


그림 1. 시스템 레벨 시뮬레이터 구성도
Fig.1 System-level simulator architecture

CoMP 시스템 및 참조 시스템인 3GPP LTE-A 시스템의 시스템 레벨 시뮬레이터는 그림 1과 같이 구성된다. LTE-A 시스템 레벨 시뮬레이터는 eNodeB, UE, MIMO 채널 모델로 구성되어 있으며, CoMP 시스템 레벨 시뮬레이터는 CU (Central Unit), CeNB (CoMP eNodeB), UE, MIMO 채널 모델로 구성되어 있다. 두 시스템을 비교해 보면 LTE-A 시스템의 기지국인 eNodeB의 기능이 본 시스템에서는 CeNB와 CU로 분산되어 수행됨을 확인할 수 있다. 본 시스템에서는 사용자와 직접 통신을 하는 안테나 역할의 CeNB와 CeNB 간 협력을 위한 CU가 존재한다. CeNB는 CU로부터 전송에 관한 메시지를 전달받은 뒤 사용자에게 데이터를 전송하고 사용자로부터 피드백 정보를 수집하여 CU에게 전달하게 된다. CU는 CeNB로부터 전달받은 각 사용자 채널과 과거 데이터 정보를 이용하여 가상 셀 구성 및 협력 전송을 위한 전송 방식을 결정한다. CeNB는 CU로부터 전달받은 전송 메시지를 통해 패킷을 구성하고 사용자에게 전달한다. 본 시스템에 속한 사용자는 다수의 CeNB로부터 전달받은 패킷들을 하나로 묶어 데이터를 복원하게 된다.

III. CoMP 시스템 시뮬레이터 설계

본 장에서는 CoMP 시스템 레벨 시뮬레이터 구현에 앞서 설계를 위해 수행된 CoMP 시스템 설계, 무선 채널 모델, 네트워크 모델 환경에 대해 기술한다. 본 시스템 설계에서는 사용된 물리적 파라미터들과 CoMP 시스템 구성도 및 구성 요소의 기능을 정의한다. 무선 채널 모델 및 네트워크 모델에서는 성능 분석을 위해 구현된 WINNER 무선 채널 모델 구현 방법과 실내 무선 환경 구현 방법을 보인다.

표 1. CoMP 시스템 파라미터
table.1 System parameter for CoMP

변수	값
중심 주파수	2.4 GHz
대역폭	20 MHz
프레임 당 심볼 수	14
부반송파 대역폭	15 kHz
부반송파 수	1200
PRB 대역폭	180 kHz
PRB 수	100
프레임 길이	1 msec
자원 블록 수	34 (주파수에서의 스케줄링 단위)
열잡음	-174 dBm/Hz
송신 전력	43 dBm
CeNB 당 안테나 수	4
사용자 당 안테나 수	2
스케줄링	PF(Proportional Fairness)
채널 피드백	완전한 채널 상태 피드백

3.1. CoMP 시스템 파라미터

CoMP 시스템 파라미터는 CoMP 시스템 설계에 사용되는 파라미터로 중심 주파수, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 관련 파라미터, 프레임 구조 정의에 필요한 파라미터 등 물리 계층 설계를 위한 변수와 MAC (Media Access Control) 설계를 위한 변수, 안테나 설계를 위한 변수 등이 있다. CoMP 시스템은 참조 시스템인 LTE-A Home NodeB와 같은 시스템 파라미터를 가지고, 시스템 구현에 사용된 파라미터는 표 1을

따른다.

CoMP 시스템에 사용된 프레임 구조는 LTE-A NodeB 시스템 프레임 구조를 따른다. CoMP 시스템은 1개의 OFDM 심볼과 1개의 부반송파를 통해 구성되는 자원 요소를 기본 단위로 하는 프레임 구조를 가지고 있다. 하나의 PRB (Physical Resource Block)는 7개의 OFDM 심볼과 12개의 부반송파 (즉, 84개의 자원 요소)로 구성된다. 20 MHz 대역폭을 사용하는 CoMP 시스템은 단위 전송 구간 동안 모두 34개의 PRB를 사용자에게 할당한다.

단, 단위 전송 구간은 1 msec (즉, 14 OFDM 심볼)로 구성된다.

3.2. CoMP 시스템 구성도 및 구성 요소

CoMP 시스템 및 UE의 구성도는 그림 2와 같다. CoMP 시스템은 CU, Switch, CoMP eNodeB로 구성되어 있다.

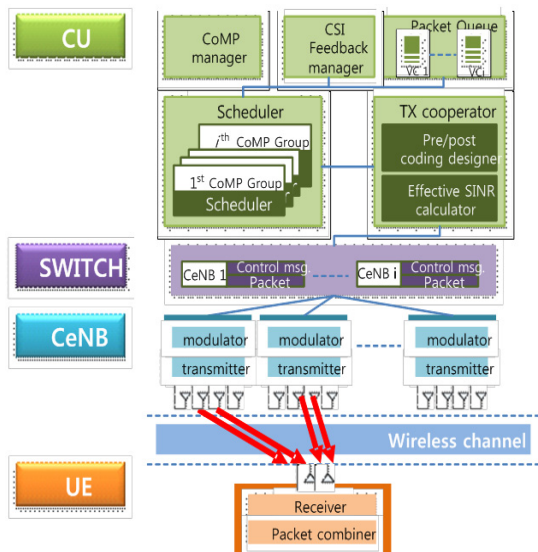


그림 2. CoMP 시스템 구성도
Fig. 2 System model for CoMP

CU에는 CeNB를 통한 협력 전송 그룹 형성 및 CoMP 토폴로지를 관리하는 CoMP manager, 사용자 채널 정보와 과거 데이터를 각각 관리하는 CSI (Channel State Information) manager, 그리고 패킷 큐, 가상 셀에 속한 사용자 지원을 위한 스케줄러와 협력 전송을 위한

SINR (Signal-to-Interference-and-Noise Ratio) 계산 및 pre/post-coding을 설계하는 Tx cooperater가 존재한다. CU로부터 협력 전송을 위한 의사 결정이 내려지면 각 Switch는 CeNB에게 전달될 전송 관리 패킷을 각 CeNB에게 전달한다. Switch로부터 전송 관리 메시지를 수신한 CeNB는 협력 전송을 위한 벡터를 설계하여 UE에게 데이터 전송을 수행한다. 다수의 CeNB로부터 데이터 패킷을 수신한 UE는 자신의 신호를 복원하기 위하여 수신된 다수의 데이터 패킷을 하나로 묶어 자신의 신호를 복원한다. UE는 자신의 채널 상황을 추정하여 CeNB를 통해 CU의 CSI manager에게 자신의 채널 상황 정보를 전달하게 된다.

3.3. 무선 채널 모델

CoMP 시스템 레벨 시뮬레이션에 사용된 무선 채널 모델은 WINNER 2 [7]를 따른다. WINNER 2 채널 모델은 geometry 기반 확률적 채널 모델로서 다양한 환경 시나리오에 따른 시스템 성능 분석을 위해 널리 사용되고 있다.

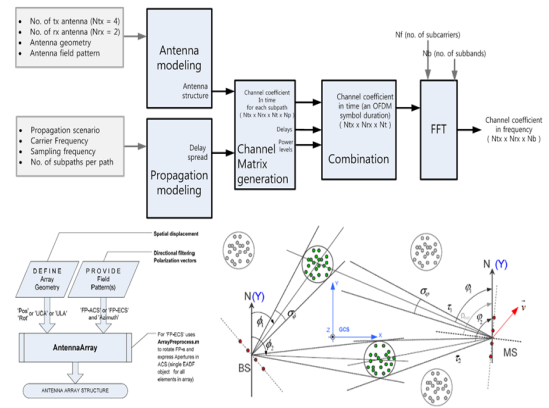


그림 3. CoMP 시스템 채널 계수 모델링
Fig. 3 Channel model for CoMP

WINNER 2 채널 모델에서는 시스템에서 사용하는 주파수, 대역폭, 송수신 안테나 수와 패턴, 전송 지연, OFDM 변수 등을 고려하여 채널이 생성된다. CoMP 시스템 성능 분석에 사용된 WINNER 2 채널 모델은 SCM (Spatial Channel Model)으로써 MIMO 채널 모델링을 위한 페이딩 계수를 생성하여 이에 기반을 두어 송신 안테나

나와 수신 안테나 간 채널 행렬을 생성하게 된다. 그림 3은 채널 계수 모델링 과정을 보여준다. 이 때 안테나 배열 패턴과 전송 시나리오에 의해 안테나 성분 간 페이딩 계수 값이 모델링 된다.

3.4. ITU 네트워크 모델

ITU에서는 IMT-A 시스템 [8]의 성능 평가를 위해 권고하고 있는 모델이 있다. [8]에서는 성능 평가 시나리오에 따른 다양한 네트워크 환경 및 실험 변수가 기재되어 있다. 이 시나리오 중 CoMP 시스템의 성능 평가를 위해 'Suburban' 시나리오를 사용한다.

Suburban 시나리오에는 실외 공간에 10명 내외의 사용자가 존재한다. 실외 공간에서 겪게 되는 감쇄 모델의 경우 경로손실 모델과 페이딩 모델에 의해 신호 감쇄가 결정되며, 건물 등에 의한 shadowing 효과는 log-normal 분포에 의한 모델링으로 결정된다. 세부적인 ITU 네트워크 모델을 위한 시뮬레이션 파라미터는 [8]을 참고하도록 한다.

3.5. 협력 전송 및 스케줄링 방안

기존 무선 통신 시스템의 경우 하나의 공간에 다수의 전송 노드가 존재할 때 상호 채널 간섭으로 인하여 성능 저하가 발생한다. CoMP 시스템에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 다수의 CeNB로 이루어진 하나의 협력 그룹을 구성한다. 이 경우 협력 그룹을 구성하여 다수의 CeNB를 통해 사용자를 지원하기 때문에 협력 그룹 구성 이전에 사용자에게 간섭으로 작용하던 신호가 협력 그룹 구성 이후 자신의 데이터 신호로 간주될 수 있다. 따라서 간섭 관리가 용이해 진다. 본 논문에서 개발한 CoMP 시스템 레벨 시뮬레이터에서는 하나의 층에 존재하는 인접한 2개의 CeNB를 하나의 가상 셀로 묶어서 사용하도록 한다.

CoMP 시스템은 데이터 전송을 위한 기본 방안으로 worst-PMI (Precoding Matrix Indicator) 스케줄링을 사용한다. 하나의 CeNB는 4개의 송신 안테나를 가지고 있으며, 모든 사용자는 2개의 수신 안테나를 가지고 있다. 그리고 기존 LTE-A 표준과 마찬가지로, MIMO 전송 기법으로써 코드북 기반 랭크 1 PMI를 사용하게 된다. 협력 그룹이 구성되지 않을 경우 각각의 CeNB는 상대방 CeNB의 precoding을 고려하지 않고 전송을 하게 되므

로 셀 가장자리에서는 간섭의 일원화가 전혀 이루어지지 않는 환경이 된다. 2개의 CeNB가 하나의 협력 그룹을 형성할 경우 한 CeNB가 스케줄링을 수행할 때 상대방 CeNB로부터 서비스를 받고 있는 셀 가장자리 사용자의 worst-PMI를 사용하지 않도록 사용자 선택이 이루어진다. 즉, PF metric이 가장 최대가 되면서 상대방의 worst-PMI를 보고하지 않은 사용자가 우선적으로 선택된다. 이 경우 worst-PMI의 신호가 전송되지 않으므로 셀 가장자리 사용자가 겪는 간섭은 최소화되는 효과를 얻을 수 있다.

CoMP 시스템은 협력 전송을 통해 하나의 자원 블록 안에 모두 2명의 사용자를 지원할 수 있다. 이 때 함께 전송될 사용자 집합을 어떻게 선택하느냐에 따라 전송 성능이 달라질 수 있다. CoMP 협력 그룹을 통한 사용자 선택은 worst-PMI를 best-PMI로 보고하지 않은 사용자 중 가장 높은 PF 변수 값을 가지는 사용자를 우선 선택한다. CoMP 시스템은 LTE-A 시스템과 마찬가지로 CeNB를 통해 PMI를 피드백한다. Best-PMI를 기본적으로 보고하며 필요에 따라 worst-PMI를 다수 개 전송하는 방식으로 피드백이 이루어진다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 CoMP 시스템의 성능 검증을 수행한다. ITU 네트워크 모델을 사용할 때 성능 검증 및 분석을 위한 성능 지표로써 하위 5%의 성능을 가지는 셀 가장자리 사용자의 주파수 효율성을 사용한다. CoMP 시스템을 분석하기 위해 다양한 수의 CeNB가 실내에 존재하는 환경을 고려할 수 있는데, 본 OPNET 기반 시스템 레벨 시뮬레이션에서는 CeNB가 각각 2개 및 4개가 존재할 때의 성능을 분석해 본다.

그림 4에서는 3GPP LTE-A 참조 시스템과 CoMP 시스템을 사용하였을 때 하위 0~20% 용량을 가지는 셀 가장자리 사용자의 스펙트럼 효율성에 대한 CDF (Cumulative Distribution function)를 보여준다. CDF 결과에서 확인할 수 있듯이 하위 0~20% 용량을 가지는 셀 가장자리 사용자 전 영역에서 CoMP 시스템이 참조 시스템 대비 우수한 스펙트럼 효율을 가짐을 보인다. 특히, 하위 5% (즉, $F(x) = 0.05$) 용량 셀 가장자리 사용자에

대해서, 참조 시스템을 사용하는 경우에 비해 CoMP 시스템을 사용할 때 용량이 0.2에서 0.5로 2.5배 향상되는 것을 볼 수 있다.

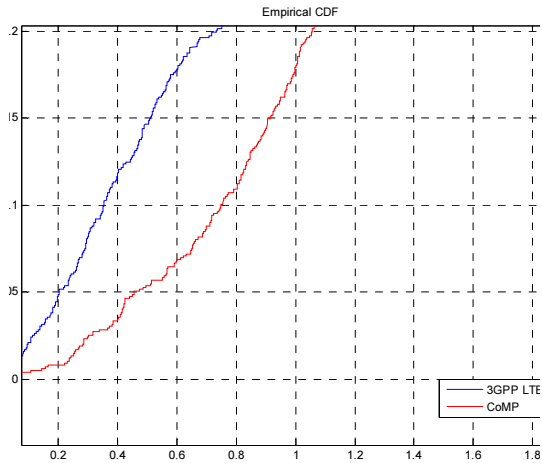


그림 4. 셀 가장자리 사용자 용량에 대한 CDF
Fig.4 CDF of capacity of cell boundary users

이는 CoMP 시스템에서 worst-PMI 스케줄링을 수행하기 때문에 셀 가장자리 사용자들에게 간섭이 적게 발생하고 이로 인해 전송률이 더욱 향상되었기 때문이다. 이로 인해 상대방 CeNB 셀에서 최선의 스케줄링이 어려워지기 때문에 셀 안쪽 사용자들에게는 성능 열화가 일어나지만, 최악의 성능을 가지는 사용자의 용량이 2.5배나 향상될 수 있다는 점에서 큰 의미를 찾을 수 있다.

또한 FFR 기법을 사용했을 때 참조 시스템과 CoMP 시스템의 성능 비교를 수행하도록 한다. FFR 기술은 네트워크 구축이나 하드웨어 측면에서의 비용 증가 없이 보다 넓은 커버리지와 높은 셀 가장자리 데이터 전송률을 제공하기 위해 소개되었다 [9], [10]. FFR 안쪽 사용자는 CoMP 기술을 사용하지 않으므로, 두 시스템 간에 동일한 성능을 보이는 반면, FFR 바깥쪽 사용자의 스펙트럼 효율성은 0.3511에서 0.7976으로 대략 2.3배 성능 향상이 일어나는 것을 확인하였다. 이도 마찬가지로 worst-PMI 스케줄링으로 인한 간섭 감소 효과로 인한 결과로 해석할 수 있다. 이 결과로부터, FFR 바깥쪽 사용자가 주로 셀 가장자리 사용자에 해당하며 이들이 CoMP 시스템을 통해 성능 향상의 혜택을 주로 얻게 될

을 확인할 수 있다.

또한 셀 가장자리 사용자나 FFR 바깥쪽 사용자 성능 향상 효과 측면에서 거의 비슷한 경향을 가지는 것으로 미루어 볼 때, 하위 5% 용량을 가지는 셀 가장자리 사용자의 성능 향상은 곧, FFR 바깥쪽 사용자의 일부만이 아닌 대부분 바깥쪽 사용자들의 성능 향상으로 해석 가능하다. 언급한 성능 비교는 표 2에서 정리된다.

표 2. 사용자 용량 성능 비교도
table.2 Performance comparison of user capacity

사용자 스펙트럼 효율성	참조 시스템	CoMP 시스템	이득
셀 가장자리 사용자 (5%)	0.2	0.5	2.5배
FFR 바깥쪽 사용자	0.3511	0.976	2.3배

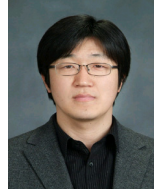
V. 결론

셀 경계지역 사용자의 스펙트럼 효율성 향상을 위하여 CoMP 시스템과 3GPP LTE-A 참조 시스템이 소개되었고, 성능 검증을 위해 OPNET 기반 시스템 레벨 시뮬레이터가 개발되었다. CU, CeNB, UE, MIMO 채널 모델을 포함하는 모듈을 개발함으로써 CoMP 시스템 레벨 시뮬레이터를 구현하였다. 또한 성능 검증을 수행하기 위해 WINNER 2 무선 채널 모델 및 ITU 네트워크 실내 무선 환경 구현 방법을 보였다. 주요 결과로써 하위 5% 용량을 가지는 셀 가장자리 사용자에 대해서, 3GPP LTE-A 참조 시스템 대비 제안한 CoMP 시스템의 스펙트럼 효율성이 0.2에서 0.5로 2.5배 향상되었음을 보였다. 또한 FFR 기법 적용 시, CoMP 시스템으로 인해 FFR 바깥쪽 사용자의 스펙트럼 효율성이 0.3511에서 0.7976으로 2.3배 성능 향상이 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] E. Larsson and E. Jorswieck, "Competition versus cooperation on the MISO interference channel," *IEEE J. Sel. Area Commun.*, vol. 26, no. 9, pp. 1059-1069, Sep. 2008.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part I: System description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
- [3] X. Guo and X.-G. Xia, "On full diversity space-time block codes with partial interference cancellation group decoding," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 55, no. 10, pp. 4366-4385, Oct. 2009.
- [4] A. Bletsas, A. Khisti, D. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE J. Sel. Area Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 659-672, Mar. 2006.
- [5] R. H. Etkin and D. N. C. Tse, "Gaussian interference channel capacity to within one bit," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 54, no. 12, pp. 5534-5562, Dec. 2008.
- [6] T. Bonald, S. Borst, and R. Proutiere, "Inter-cell scheduling in wireless data networks," in *Proc. European Wireless Conf.*, Nicosia, Cyprus, Apr. 2005, pp. 566-572
- [7] IST-WINNER D1.1.2, P. Kyosti *et al.*, "WINNER II channel models," ver. 1.1, Sep. 2007.
- [8] ITU-R WP 5D, "Guideline for evaluation of radio interface technologies for IMT- Advanced," R07-WP5D-080128-TD-0046, Jan. 2008.
- [9] WiMAX Forum MTG, "WiMAX Forum™ Mobile WiMAX - Part I: A technical overview and performance evaluation," WiMAX Forum, Feb. 2006.
- [10] Third Generation Partnership Project 2, "Ultra mobile broadband technical specifications," <http://www.3gpp2.org>, Mar. 2007.

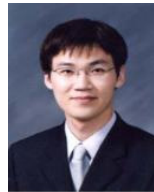
저자소개



정방철(Bang Chul Jung)

2002년 2월 아주대학교
전자공학부 학사
2004년 8월 KAIST 전기 및
전자공학과 석사

2008년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사
2008년 3월 ~ 2009년 8월 KAIST IT 융합연구소 팀장
2009년 9월 ~ 2010년 2월 KAIST IT 융합연구소
연구교수
2009년 3월 ~ 현재 경상대학교 정보통신공학과 조교수
※관심분야: 이동통신, 신호처리, 협력 및 중계통신,
Cognitive Radios, Compressed Sensing, 차세대
이동통신시스템



신원용(Won-Yong Shin)

2002년 2월 연세대학교
기계전자공학부 학사
2004년 2월 KAIST 전자전산학과
석사

2008년 8월 KAIST 전자전산학부 박사
2008년 2월 ~ 4월 Harvard University Visiting Scholar
2008년 9월 ~ 2009년 2월 KAIST BK 정보전자연구소
박사후연구원
2009년 3월 ~ 4월 KAIST 고성능집적시스템연구센터
선임급 위촉연구원
2008년 8월 ~ 2009년 4월 (주)루미콤 방문연구원
2009년 5월 ~ 현재 Harvard University Postdoctoral
Fellow
※관심분야: 정보이론, 통신이론, 신호처리, 해양 IT
관련 학제 간 융합연구



반태원 (Tae Won Ban)

1998년 2월 경북대학교
전자공학부 학사
2000년 2월 경북대학교
전자공학과 석사

2010년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사
2000년 9월 ~ 현재 KT Mobile Laboratory 차장
※ 관심분야: 이동통신시스템, Cognitive Radios,
Cooperative Diversity, 주파수 엔지니어링