전송 지점 간 협력 통신에 대한 LTE-Advanced 표준화 동향 및 성능 분석

이효진 | 김윤선 | 지형주 | Bruno Clerckx | 조준영 | 이주호
삼성전자

요 약

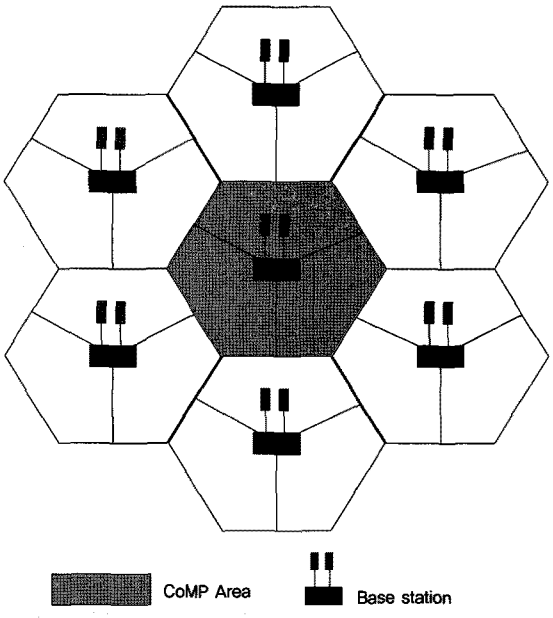
평균 셀 스펙트럼 효율 및 최대 데이터 전송 속도를 극대화 하는 방향으로 진화하던 3GPP LTE 표준 기술이 셀 가장자리에 있는 단말들까지 골고루 높은 데이터 전송 속도를 지원하는 기술로 진화하면서 전송 지점 간의 간섭 제어가 표준의 새로운 중요 사안으로 대두되고 있다. 이로 인해 전송 지점 간의 간섭을 제어하기 위한 주요 기술인 협력 통신(coordinated multi-point transmission; CoMP)이 LTE-Advanced Release 11의 study item으로 합의되었고 표준화를 통한 CoMP 기술의 지원이 현실화되고 있는 상황이다. 특히 기지국의 안테나들이 셀 전 영역에 분산 배치되어 통신 서비스를 지원하는 분산 안테나 시스템(distributed antenna system; DAS)을 heterogeneous 네트워크를 고려한 CoMP 기술 중의 하나로 분류하고 DAS의 표준 지원에 대한 가능성이 논의되고 있다. 본 논문에서는 LTE-Advanced Release 11에서 논의되고 있는 CoMP기술들의 표준화 진행 상황을 살펴보고 협력 통신 방법의 특성 및 시스템 실험을 통한 성능을 분석한다.

I. 서 론

2004년 중반부터 이동통신 기술 표준은 CDMA 기반에서 OFDM 기반의 새로운 패러다임으로 진화를 시작하였다. OFDM 기반 표준의 한 축을 이루는 3GPP LTE 기술은 Release 8과 9의 진화를 거치면서 하향링크 데이터 채널에서 안테나 포트 네 개까지의 MIMO(multiple-input multiple-output) 기술을 지원하였고 LTE-Advanced라 불리는 Release 10 진화를 통해서는 안테나 포트 여덟 개까지의 하향링크 MIMO 기술 및 carrier aggregation 기술을 지원하면서 평균 셀 스펙트럼 효율 및 최대 데이터 전송 속도를 극대화 할 수 있도록 하였다.

최근에는 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 지원 할 수 있는 기술이 필요하게 되었다. 셀 중심은 단순히 각 셀 별로 추가의 안테나 포트를 지원하여 데이터 전송 속도를 증가 시키는 것이 가능하지만 셀 가장자리는 주변 셀로부터 간섭에 큰 영향을 받기 때문에 셀 간 협력이 없이는 어느 한계 이상으로 데이터 속도를 증가 시키는 것이 어렵다. 또한 사용자가 밀집한 지역에서도 고속의 데이터 서비스 제공이 가능하도록 하기 위하여 pico 셀이나 femto 셀 같은 heterogeneous 소형 셀을 통한 주파수 재활용 기술도 보급되고 있어 전송 지점 간 효율적인 간섭 제어 방법은 그 필요성이 더욱 증대되고 있다 [1].

이렇듯 전송지점간 간섭을 제어하는 방법은 현재 표준 및 학계의 주요 사안으로 주목 받고 있으며, 특히3GPP에서는 이러한 간섭 제어 기술을 CoMP(coordinated multi-point transmission)라 명명하고 LTE-Advanced Release 11의 study item으로 선정하여 표준 기술로의 타당성을 검토하고 있다 [2].



(그림 1) CoMP Scenario 1

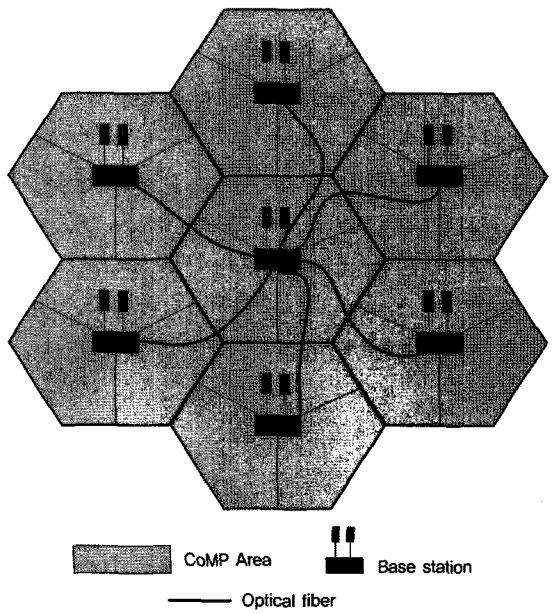
본 논문에서는 LTE-Advanced에서 고려하고 있는 CoMP 기술에 대한 주요 적용 시나리오를 정리하고 각 시나리오의 특징과 관련 CoMP 기술들을 정리한다. 그리고 비교적 간단한 CoMP 기술인 DS (dynamic site selection)/DB(dynamic blanking) 기술을 소개하고 시스템 실험을 통한 각 시나리오별 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 LTE-Advanced에서의 CoMP 적용 시나리오들에 대해 살펴보고 제 3장에서는 각 시나리오에 대한 DS/DB 기술의 적용 방법을 정리한다. 그리고 제 4장에서는 시스템 실험을 통해 DS/DB 기술의 성능을 평가하고 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

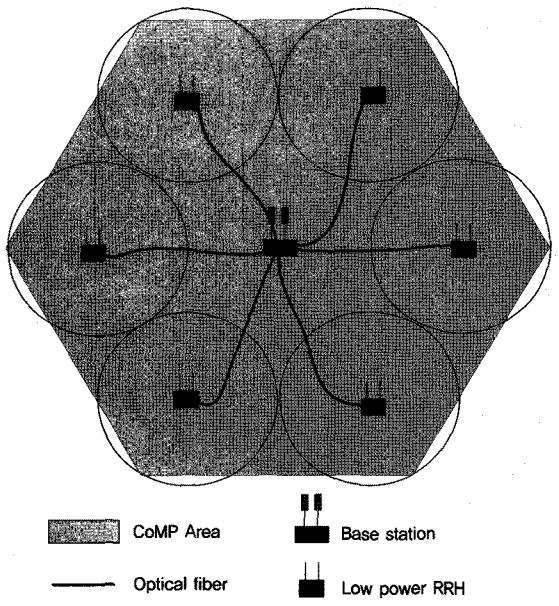
II. 협력 전송 시나리오

LTE-Advanced Release 11의 study item에서는 CoMP 기술로 얻을 수 있는 성능 이득과 물리 계층 및 상위 계층에서 필요한 표준 지원 요구 사항들을 명확히 하여 CoMP가 표준 기술로서 타당한지를 검토하고 있다. Study item에서 정의하고 있는 CoMP 적용에 대한 네 가지 시나리오는 다음과 같다 [2].

- Scenario 1 : homogeneous 네트워크에서의 기지국 내 섹터간 CoMP



(그림 2) CoMP Scenario 2



(그림 3) CoMP Scenario 3, 4

- Scenario 2 : homogeneous 네트워크에서의 기지국 간 CoMP
- Scenario 3 : macro 셀 영역 내에서 고 전력 RRH (remote radio head)와 저 전력 RRH들 간의 CoMP. 여기서 각 RRH는 독립적인 셀 ID를 가진다.
- Scenario 4 : macro 셀 영역 내에서 고 전력 RRH 와 저 전력 RRH들 간의 CoMP. 여기서 RRH들은 모두 같은 셀 ID를 가진다.

Scenario 1은 (그림 1)과 같이 한 기지국 내의 섹터 간 협력 전송 방식을 나타내고 scenario 2는 (그림 2)에서와 같이 기지국 사이에 광 케이블이 존재하는 상황에서의 기지국 간 협력 전송을 고려한다. (그림 3)은 scenario 3과 4에서 고려하는 macro 셀 영역 내 heterogeneous 네트워크 상황의 전송 지점간 협력 통신에 대한 개념도이다. 여기서 scenario 3은 저전력 RRH가 각각의 셀 ID를 가지는 경우이고 scenario 4는 저전력 RRH들이 모두 macro와 같은 셀 ID를 가지는 경우를 나타낸다. 즉, scenario 3은 heterogeneous 네트워크에서 macro셀과 pico 셀들간의 협력 전송을 고려하는 것이며 scenario 4는 macro 셀 전 영역에 퍼져있는 RRH 간 협력 전송인 분산 안테나 시스템 (DAS)을 고려하는 것이다. Scenario 3과 4는 모두 기지국과 저전력 RRH 사이에 광 케이블이 존재한다는 것을 가정한다.

III. DS/DB를 고려한 협력 전송

전송 지점간 협력 방식의 하나인 DS기술은 비교적 간단한 CoMP 기술로서 단말이 가장 좋은 채널을 가지는 전송 지점을 dynamic하게 선택 하고 선택된 전송 지점을 기지국으로 피드백 하도록 하여 그 전송 지점으로부터 하향링크 데이터를 전송 받을 수 있도록 하는 방식이다. 또한 DB 방식은 셀 가장자리에 존재하는 단말에게 큰 간섭으로 작용하는 것으로 판단되는 전송 지점의 전력을 dynamic하게 끄도록 제어하여 셀 가장자리 단말의 데이터 수신을 도와주도록 하는 방식이다. 이 두 가지 방식을 조합하여 셀간 협력 이득을 얻는 것이 DS/DB 기술이다.

이번 장에서는 DS/DB 방식을 scenario 1, 2의 homogeneous 네트워크와 시나리오 3, 4의 heterogeneous 네트워크 상황에 각각 적용하는 방법을 살펴본다.

1. Homogeneous 네트워크에 적용

Homogeneous 네트워크에서의 DS/DB 방식에 대한 단말의 동작은 dynamic 셀 선택 과정과 기지국 전력 제어를 고려한 CSI 생성 과정으로 나뉜다.

첫 번째 단계인dynamic 셀 선택 과정에서는 CoMP 동작을 하는 단말 q가 다음과 같이 serving 셀과 간섭 셀을 선택한 후 각각의 셀 ID를 기지국으로 피드백 한다 :

- Serving 셀 ID :

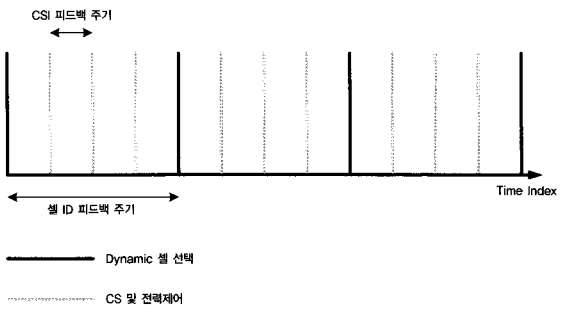
$$i_q^* = \arg\max_{i \in M_q} SINR_{i,q},$$

- 간섭 셀 ID :

$$\tilde{i}_q^* = \arg\max_{j \in M_q \setminus i_q^*} SINR_{j,q}.$$

여기서 M_q는 단말 q가 선택할 수 있는 가능한 모든 셀들의 집합이고 $SINR_{i,q}$는 i번째 셀에 대한 SINR(signal-to-interference-plus-noise ratio)을 나타낸다.

두 번째 단계인 기지국 전력 제어를 고려한 CSI 생성 과정에서 CoMP 단말 q는 선택한 간섭 셀이 꺼진 상황과 그렇지 않은 상황에 대한 두 가지 CSI(channel state information)을 생성하여 기지국으로 피드백 한다. LTE-Advanced에서 CSI는 PMI(precoding matrix indicator), RI(rank indicator), 그리고 CQI(channel quality indicator)를 포함한다.

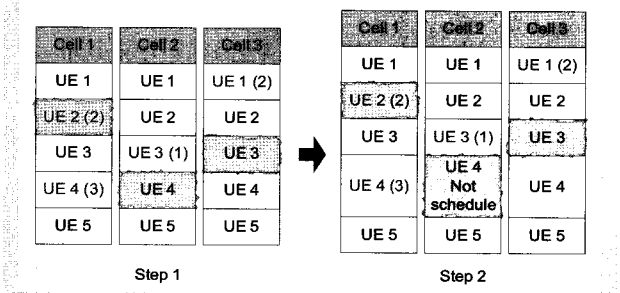


(그림 4) DS/DB를 위한 피드백 생성 주기

(그림 4)는 DS/DB를 위한 단말 피드백 타이밍의 예시를 보여준다. 예시에서 단말은 짧은 주기로 DS/DB를 위한 CSI 피드백을 진행하고 그 피드백 타이밍의 정수 배에 해당하는 긴 주기로 serving 셀과 간섭 셀 ID를 피드백 하여 DS/DB 동작을 수행한다.

이제 기지국은 단말로부터 DS/DB 방식을 위한 피드백을 전송 받아 CS (coordinated scheduling) 및 전력 제어를 수행한다. CS 및 전력 제어는 (그림 5)와 같이 다음의 두 단계로 구성된다 :

- Step 1. 간섭 셀이 켜진 상태에 대한 CSI를 기본으로 하여 각 셀 별로 PF (proportional fair) metric을 최대화하는 단말들을 선택한다.
- Step 2. CoMP 단말이 선택된 셀의 경우에는 간섭 셀이 전력을 끈 경우에 대한 PF metric 과 그렇지 않은 경우에 대한 metric 합을 비교하여 더 큰 값을 가지는 경우로 scheduling을 선택한다.



(그림 5) Homogeneous 네트워크에서의 DS/DB

2. Heterogeneous 네트워크에 적용

Heterogeneous 네트워크에서의 DS/DB 방식에 대한 단말 동작은 homogeneous 네트워크에서의 동작과 마찬가지로 dynamic RRH 선택 과정과 기지국 전력 제어를 고려한 CSI 생성 과정으로 나뉜다. 하지만 heterogeneous 네트워크에서는 macro 기지국의 전송 전력이 저전력 RRH의 전송 전력에 비해 매우 크기 때문에 간섭 셀 선택 과정이 생략되고macro 기지국을 주요 간섭 셀로 간주한 후 macro 기지국만 전력을 끄는 동작을 고려하면 된다. 즉, heterogeneous 네트워크에서 DS/DB 방식은 macro가 켜지거나 꺼지는 다음의 두 가지 상태를 고려한다 :

- State 1 : macro ON
- State 2 : macro OFF

첫 번째 단계인 dynamic RRH 선택 과정에서 CoMP 동작을 하는 단말 q는 다음과 같이 state 1과 state 2에 대한 serving RRH 선택 과정을 수행하고 각각의 RRH index를 기지국으로 피드백 한다 :

- Serving RRH index for state 1 :

$$i^*_{q,state1} = \arg\max_{i \in M_q} SINR_{i,q},$$

- Serving RRH index for state 2 :

$$i^*_{q,state2} = \arg\max_{i \in M_q \setminus macro} SINR_{i,q}.$$

여기서 Mq는 단말 q가 선택할 수 있는 가능한 RRH들의 집합이다.

두 번째 단계인 기지국 전력 제어를 고려한 CSI 생성 과정에서 단말 q는 state 1에 대한 CSI와 state 2에 대한 CSI를 모두 계산하고 그 결과를 기지국으로 피드백한다.

기지국은 단말로부터 $i^*_{q,state1}$, $i^*_{q,state2}$ 및 관련 CSI들을 전송 받은 후, state 1과 state 2에 대한 scheduling 으로 얻어지는 PF metric을 계산하고 더 큰 값을 가지는 state를 선택하여 macro RRH의 전력을 제어한 후 단말로 하향링크 데이터를 전송한다.

IV. 전산 실험 결과

이번 장에서는 LTE-Advanced Release 10 표준을 기본으로 한 시스템 실험을 통하여 DS/DB 기술로부터 얻을 수 있는 셀 average throughput 및 5% 셀 edge throughput 이득을 검증한다. Homogeneous 네트워크의 경우에는 CoMP를 사용하지 않는 macro 시스템을 기준 시스템으로 하고 heterogeneous

네트워크의 경우에는 macro/pico 시스템을 기준으로 한다.

1. Homogeneous 네트워크

Homogeneous 네트워크에서의 시스템 실험에서는 CoMP를 위한 LTE-Advanced 실험 가정을 따라 3GPP case 1 채널 모델을 기본으로 한 하향링크 동기 네트워크를 사용하였다 [1], [3]. 또한 50 RB (resource block)로 구성되는 10MHz bandwidth의 FDD LTE-Advanced 시스템과 기지국 당 세 개의 macro 셀을 포함하는 19개의 hexagonal 모델을 가정하였고 셀 당 단말의 숫자는 10으로 고정하였다. 그리고 기지국 및 단말의 안테나 개수는 모두 2로 가정하였으며 XPOL 안테나 configuration을 사용하였다.

〈표 1〉은 full buffer traffic 모델에서 DS/DB의 성능을 보여준다. 본 실험에서 CoMP 단말의 여부는 다음 식 만족하는 셀 i의 존재 여부에 의하여 결정된다 :

$$\left| SINR_{i^*,q} - SINR_{i,q} \right| < CoMP_{th}$$

〈표 1〉의 실험 결과는 DS/DB가 homogeneous 네트워크의 경우에 셀 average throughput에 대한 성능 이득은 제공하지는 못하고 4%의 셀 edge throughput 이득은 제공하는 것을 보여준다. 여기서 full buffer 실험임에도 불구하고 RU (resource utilization) 값이 95%가 되는 것은 DS/DB scheduling에 의해 몇몇 자원을 사용하지 않는 경우가 발생하기 때문이다.

〈표 1〉 Homogeneous 네트워크에 대한 DS/DB의 성능(full buffer traffic)

$CoMP_{th}$	Avg Th. (bps/Hz)	Edge Th. (bps/Hz)	RU
No DCS	2.701	0.093	100%
1dB	2.701(+0.0%)	0.093(+0.0%)	99.8%
3dB	2.701(+0.0%)	0.094(+1.0%)	99.6%
5dB	2.700(-0.5%)	0.095(+2.1%)	97.3%
10dB	2.701(+0.0%)	0.0965(+3.8%)	95.6%
15dB	2.703(+0.7%)	0.097(+4.3%)	95%

〈표 2〉는 non-full buffer traffic 모델에서 DS/DB의 성능을 보여준다. 사용한 traffic 모델은 3GPP TR 36.814 문서의 방법을 따르면서 traffic 발생 시 한 단말은 0.5 Mbyte의 파일 크기를 가지도록 가정 하였다 [1]. Non-full buffer traffic 모델의 경우에 DS/DB는 12%까지의 셀 edge throughput 이득을 보여 full buffer traffic 모델의 경우에 비해 큰 성능 이득을 제공한다. 이것은 non-full buffer의 경우에 buffer 내에 전송할 data가 없어 사용하지 않는 셀의 자원을 DB scheduling을 통하여 활용할 수 있게 되기 때문이다.

〈표 2〉 Homogeneous 네트워크에 대한 DS/DB의 성능(non-full buffer traffic)

$CoMP_{th}$	Avg Th. (bps/Hz)	Edge Th. (bps/Hz)	RU
No DCS	1.432	0.184	59.4%
1dB	1.432(+0.0%)	0.186(+1.1%)	59.0%
3dB	1.434(+0.1%)	0.195(+5.9%)	55.1%
5dB	1.428(-0.2%)	0.201(+9.3%)	50.1%
10dB	1.420(-0.8%)	0.206(+11.9%)	49.8%
15dB	1.421(-0.8%)	0.206(+11.9%)	49.3%

2. Heterogeneous 네트워크

Heterogeneous네트워크에 대한 실험에서는 LTE-Advanced 실험 가정을 따라 ITU 채널 모델을 기본으로 한 하향링크 동기 시스템을 사용하였다 [3], [4]. Homogeneous 네트워크와 마찬가지로 50 RB로 구성되는 10MHz bandwidth의 FDD LTE-Advanced 시스템과 기지국 당 세 개의 macro 셀을 포함하는 19개의 hexagonal 모델을 가정하였다. 셀 당 저전력 RRH의 수는 N = 4 또는 N = 10이고 다음의 두 가지 단말 배치 방법을 사용하였다. 첫 번째 배치 방법은clustered 방법으로서 macro 영역 내에 총 30개의 단말을 배치하는데 N = 4 또는 N = 10 의 경우에 대하여 저전력 RRH 당 반경 40m 내에 각각 5개 또는 2개의 단말을 배치시키고 나머지 10개의 단말은 전 macro 영역에 랜덤하게 배치한다. 두 번째 배치 방법인 uniform 방법은 RRH의 위치와 무관하게 macro 전 영역에 25개의 단말을 랜덤하게 배치하는 방법이다. 실험에서 기지국, 저전력 RRH, 및 단말의 안테나 개수는 모두 2로 가정하였고 XPOL 안테나 configuration을 사용하였다.

〈표 3〉과 〈표 4〉는 각각 N = 4와 N = 10에 대하여 full buffer traffic 모델과 clustered 단말 배치 방법을 사용한 경우

에 DS/DB 방식과 LTE Release 10 macro/pico 시나리오에 대한 성능을 비교한 결과이다. 실험은 N = 4와 N = 10인 경우에 DS/DB가 각각 46.3%와 50.7%의 셀 edge 성능 이득을 제공하는 것을 보여준다. 또한 N = 10의 경우에는 DS/DB를 통하여 4.2%의 셀 average 성능 이득도 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

〈표 3〉 Heterogeneous 네트워크에서 DS/DB의 성능 (full buffer traffic, N=4, clustered)

	Avg Th.(bps/Hz)	Edge Th.(bps/Hz)
Rel-10 macro/pico	16.41	0.0574
DS/DB	16.68(1.6%)	0.0840(46.3%)

〈표 4〉 Heterogeneous 네트워크에서 DS/DB의 성능 (full buffer traffic, N=10, clustered)

	Avg Th.(bps/Hz)	Edge Th.(bps/Hz)
Rel-10 macro/pico	22.33	0.0708
DS/DB	23.27(4.2%)	0.1067(50.7%)

〈표 5〉과 〈표 6〉은 각각 N = 4와 N = 10에 대하여 full buffer traffic 모델과 uniform 단말 배치 방법을 사용한 경우에 DS/DB 방식과 LTE Release 10 macro/pico 시나리오에 대한 성능을 비교한 결과이다. 실험은 N = 4와 N = 10인 경우에 DS/DB가 각각 28.9%와 55.1%의 셀 edge 성능 이득을 제공하는 것을 보여준다. 또한 N = 10의 경우에는 DS/DB를 통하여 4.7%의 셀 average 성능 이득도 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

〈표 5〉 Heterogeneous 네트워크에서 DS/DB의 성능 (full buffer traffic, N=4, uniform)

	Avg Th.(bps/Hz)	Edge Th.(bps/Hz)
Rel-10 macro/pico	11.35	0.0311
DS/DB	11.53(1.6%)	0.0401(28.9%)

〈표 6〉 Heterogeneous 네트워크에서 DS/DB의 성능 (full buffer traffic, N=10, uniform)

	Avg Th.(bps/Hz)	Edge Th.(bps/Hz)
Rel-10 macro/pico	14.96	0.0345
DS/DB	15.67(4.7%)	0.0535(55.1%)

〈표 3〉에서 〈표 6〉까지 full buffer traffic에서의 실험 결과를 종합해 보면 저전력 RRH의 개수가 늘어나면서 throughput 성능이 함께 증가하고 clustered 단말 배치 방법이 uniform 단말 배치 방법에 비하여 큰 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 이것은 저전력 RRH를 도입하면서 자원 재활용 효율이 높아지기 때문이며 이런 효과는 저전력 RRH 가까이에 단말이 배치되는 clustered 배치의 경우에 더욱 크게 나타난다. 또한 전체적으로 homogeneous 네트워크에 DS/DB가 적용된 경우에 비하여 heterogeneous 네트워크에 적용된 경우가 큰 성능 이득을 제공하는데 이것은 heterogeneous 네트워크의 경우에 macro가 끄는 동작으로 인하여 이득을 얻는 단말의 수가 homogeneous 네트워크의 경우에 특정 셀이 끄는 동작으로 인하여 이득을 얻는 단말의 수보다 훨씬 많기 때문이다.

〈표 7〉은 non-full buffer traffic에 대한 DS/DB의 성능을 보여준다. 여기서 저전력 RRH의 개수는 4이고 clustered 단말 배치 방법을 사용하였다. Homogeneous 네트워크의 경우와 같은 traffic 모델을 사용하여 traffic 발생 시 한 단말은 0.5 Mbyte의 파일 크기를 가지도록 가정 하였다.

Non-full buffer traffic의 경우에 DS/DB는 8.2%의 셀 average throughput과 59.2%의 셀 edge throughput 이득을 제공한다. Non-full buffer의 경우에는 traffic이 존재하지 않아 쉬는 자원이 발생하게 되며 이런 자원을 DB scheduling을 통해 활용할 수 있게 된다. 따라서 non-full buffer traffic의 경우에 DS/DB를 통하여 얻을 수 있는 이득은 full-buffer의 경우 보다 커지게 된다.

〈표 7〉 Heterogeneous 네트워크에서 DS/DB의 성능 (non-full buffer traffic, N=4, clustered)

	Avg Th.(bps/Hz)	Edge Th.(bps/Hz)	RU
Rel-10 macro/pico	8.034	0.434	70%
DS/DB	0.868(8.2%)	0.691(59.2%)	68%

V. 결론

본 논문에서는 LTE-Advanced에서 고려하고 있는 CoMP

기술에 대한 주요 적용 시나리오를 정리하고 각 시나리오의 특징과 관련 CoMP 기술 들을 정리하였다. 그리고 비교적 간단한 CoMP 기술인 DS/DB 기술을 소개하고 homogeneous 네트워크와 heterogeneous 네트워크에 DS/DB 기술을 적용하는 방법과 시스템 실험을 통한 성능 이득을 확인하였다. 실험 결과는 DS/DB기술이 homogeneous 네트워크에서 12%까지의 셀 edge throughput 이득을 제공하고 heterogeneous 네트워크에서 60%까지의 셀 edge throughput 이득을 제공하는 것을 보여준다.

참 고 문 헌

[1] 3GPP TR 36.814, "Further Advancements for E-UTRA; Physical Layer Aspects," March 2010.

[2] Samsung, "Revised SID Proposal : Coordinated Multi-Point Operation for LTE," RP-101425, 3GPP RAN# 50, December 2010.

[3] NTT DoCoMo, "CoMP simulation assumptions," R1-111125, Taipei, Taiwan, 21st-25th February 2011.

[4] Report ITU-R M.2135-1, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced," Internal Telecommunication Union, Dec. 2009.

약 력

이 효 진

2003년 포항공과대학교 공학사
2009년 포항공과대학교 공학박사
2009년 ~ 현재 삼성전자 DMC 연구소 책임연구원
관심분야 : 3G/4G/5G 이동통신시스템 설계

약 력

김 윤 선

1996년 연세대학교 공학사
1999년 연세대학교 공학석사
2009년 University of Washington 공학박사
1999년 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소 STE팀 책임연구원
관심분야 : 3G/4G/5G 이동통신 시스템 설계

지 형 주

2005년 서강대학교 공학사
2007년 서강대학교 공학석사
2007년 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소 선임연구원
관심분야 : OFDM, Network MIMO, 이종망 시스템 설계

Bruno Clerckx

2000년 Universite Catholique de Louvain, Belgium, 공학사
2005년 Universite Catholique de Louvain, Belgium, 공학박사
2000년 ~ 2002년 Universite Catholique de Louvain, Belgium, 연구원
2002년 ~ 2004년 Stanford University, USA, 연구원
2004년 ~ 2006년 Eurecom Institute, France, 연구원
2006년 ~ 현재 Samsung Electronics, Korea
관심분야 : 3G/4G/5G 이동통신시스템 설계

조 준 영

1993년 포항공과대학교 공학사
1995년 포항공과대학교 공학석사
2003년 포항공과대학교 공학박사
1995년 ~ 1998년 SK텔레콤 중앙연구원
1998년 ~ 1999년 포항공과대학교 정보통신연구소
2003년 ~ 현재 삼성전자 DMC연구소
관심분야 : 3G/4G/5G 이동통신시스템 설계

이 주 호

1993년 한국과학기술원(KAIST) 전기및전자공학 학사
1995년 한국과학기술원(KAIST) 전기및전자공학 석사
2000년 한국과학기술원(KAIST) 전기및전자공학 박사
2000년 ~ 현재 삼성전자
관심분야 : 3G/4G/5G 이동통신 시스템 설계