creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000266765

2 0 1 8 년 2 월
석사학위 논문

차세대 이동통신 시스템에서 밀집된 스몰셀 네트워크를 위한 혼합형 동적 채널할당 방법

조선대학교 대학원

전 산 통 계 학 과

반 일 학

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

차세대 이동통신 시스템에서 밀집된 스몰셀 네트워크를 위한 혼합형 동적 채널할당 방법

Hybrid and Dynamic Channel Allocation for Dense Small-cell Networks in the Next Generation Mobile Communications

2018년 2월 23일

조선대학교 대학원

전 산 통 계 학 과

반 일 학

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

차세대 이동통신 시스템에서 밀집된 스몰셀 네트워크를 위한 혼합형 동적 채널할당 방법

지도교수 정 채 영

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함.

2017년 10월

조선대학교 대학원

전 산 통 계 학 과

반 일 학

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

반일학의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 배상현 (인)

위 원 조선대학교 교수 김세진 (인)

위 원 조선대학교 교수 정채영 (인)

2017년 11월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

ABSTRACT

Ⅰ. 서론 ····· 1

A. 연구 배경 및 목적 ····· 1

Ⅱ. 관련 연구 ····· 3

A. 차세대 네트워크와 스몰셀 ····· 3

1. 3세대 이동통신 ····· 4

2. 4세대 이동통신 ····· 5

3. 5세대 이동통신 ····· 7

B. 스몰셀(Small Cell) ····· 10

1. 스몰셀이란 ····· 10

2. 표준화 기구 및 동향 ····· 12

3. 5G 이동통신에서의 스몰셀 연구방향 ····· 17

4. 5G 스몰셀 후보 기술 ····· 19

C. 스몰셀 고려할 동향 ····· 21

1. 스몰셀 배치 시나리오 ····· 21

2. 셀 간 간섭 조정 해결 ····· 24

3. 자원할당 ····· 26

4. 전력제어 ····· 28

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅲ. 제안하는 방법 ……29
A. 자원 할당 방법 ……29
1. FRF1(Frequency Reuse Factor1) ……29
2. FRF3(Frequency Reuse Factor2) ……31
3. FFR(Fractional Frequency Reuse) ……33
B. 제안하는 방법 ……38
1. SDCA(Small-cell Dynamic Channel Allocation) 38
2. HDCA(Hybrid and Dynamic Channel Allocation) 45
Ⅳ. 시뮬레이션 결과 ……49
A. 시뮬레이션 환경 ……49
B. 성능 비교 ……52
1. SINR 비교……52
2. Outage 비교 ……62
3. Capacity 비교 ……72
4. Total System Capacity 비교 ……82
Ⅴ. 결 론 ……88
참고문헌 ……90

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

[표 2-1] 4세대와 5세대 차이 …… 7
[표 2-2] 5세대 8대 성능 …… 7
[표 3-1] FRF1 자원할당방법 예…… 30
[표 3-2] FRF3 자원할당방법 예…… 31
[표 3-3] FFR 자원할당방법 예…… 34
[표 3-4] SDCA 자원할당방법 예…… 39
[표 3-5] 간섭 SBS 탐색 알고리즘…… 41
[표 3-6] 간섭 SBS 제거 알고리즘 …… 42
[표 3-7] NBTC와 WBTC 사이에 안테나 선택 ……48
[표 4-1] 시스템 파라미터 …… 51

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

도 목 차

[그림 1-1] 전세계 인터넷 이용 인구 ……1
[그림 1-2] IoT에 연결되는 장비 수 증가 동향 ……1
[그림 2-1] 이동통신 발전과정 ……3
[그림 2-2] IMT-2020 8대 성능 ……8
[그림 2-3] 커버리지에 따른 셀 종류 ……10
[그림 2-4] 스몰셀 망 구성도 ……11
[그림 2-5] 이동통신 기술 발전 방향 ……12
[그림 2-6] ABS의 예 ……14
[그림 2-7] CRE의 예 ……15
[그림 2-8] CoMP의 예 ……16
[그림 2-9] CA 종류 ……17
[그림 2-10] 통신망의 변화 ……17
[그림 2-11] METIS UDN 예 ……18
[그림 2-12] 동종 네트워크와 이기종 네트워크 차이 ……21
[그림 2-13] 동종 네트워크와 이기종 네트워크에서의 간섭 차이 ……22
[그림 2-14] 스몰셀 배치 시나리오 ……23
[그림 2-15] Split과 Shared 종류 ……26
[그림 2-16] FFR재사용 방법 종류 ……27
[그림 3-1] FRF1에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법 ……29
[그림 3-2] FRF1에서 MUE와 SUE에 대한 Outage 좌표 예 ……30
[그림 3-3] FRF3에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법……31
[그림 3-4] FRF3에서 MUE와 SUE에 대한 Outage 좌표 예 ……32
[그림 3-5] FFR에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법……33
[그림 3-6] FRF3에서 MUE와 SUE에 대한 Outage 좌표 예 ……34
[그림 3-7] FFR에서 스몰셀이 없는 경우 ……35
[그림 3-8] FFR에서 스몰셀이 있는 경우 ……36
[그림 3-9] SDCA에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법 ……38
[그림 3-10] SDCA 방법 알고리즘 ……40
[그림 3-11] 제안하는 SDCA 방법의 알고리즘의 예 ……42
[그림 3-12] 제안하는 SDCA 방법의 알고리즘의 예2 ……43
[그림 3-13] HDCA에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법 ……45
[그림 3-14] NBTC 안테나 이득 ……46
[그림 3-15] NBTC 안테나 빔형태 ……46

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[그림 3-16] NBTC 안테나 패턴 ……46
[그림 3-17] WBTC 안테나 이득 ……47
[그림 3-18] WBTC 안테나 빔형태 ……47
[그림 3-19] WBTC 안테나 패턴 ……47
[그림 4-1] 시스템 모델 ……49
[그림 4-2] FRF1과 FRF3 시스템 배치 예 ……50
[그림 4-3] FFR과 SDCA,HDCA 시스템 배치 예 ……50
[그림 4-4] MUE의 평균 SINR ……52
[그림 4-5] Inner zone MUE의 평균 SINR ……53
[그림 4-6] Outer zone MUE의 평균 SINR ……54
[그림 4-7] SUE의 평균 SINR ……55
[그림 4-8] Inner zone SUE의 평균 SINR ……56
[그림 4-9] Outer zone SUE의 평균 SINR ……57
[그림 4-10] B_{out}계수=0dB일 때 MUE의 평균 SINR ……58
[그림 4-11] B_{out}계수=0dB일 때 SUE의 평균 SINR ……59
[그림 4-12] B_{out}계수=10dB일 때 MUE의 평균 SINR ……60
[그림 4-13] B_{out}계수=10dB일 때 SUE의 평균 SINR ……61
[그림 4-14] MUE의 Outage Probability ……62
[그림 4-15] Inner zone MUE의 Outage Probability ……63
[그림 4-16] Outer zone MUE의 Outage Probability ……64
[그림 4-17] SUE의 Outage Probability ……65
[그림 4-18] Inner zone SUE의 Outage Probability ……66
[그림 4-19] Outer zone SUE의 Outage Probability ……67
[그림 4-20] B_{out}계수=0dB일 때 MUE의 Outage Probability ……68
[그림 4-21] B_{out}계수=0dB일 때 SUE의 Outage Probability ……69
[그림 4-22] B_{out}계수=10dB일 때 MUE의 Outage Probability ……70
[그림 4-23] B_{out}계수=10dB일 때 SUE의 Outage Probability ……71
[그림 4-24] MUE의 평균 Capacity……72
[그림 4-25] Inner zone MUE의 평균 Capacity ……73
[그림 4-26] Outer zone MUE의 평균 Capacity ……74
[그림 4-27] SUE의 평균 Capacity ……75
[그림 4-28] Inner zone SUE의 평균 Capacity……76
[그림 4-29] Outer zone SUE의 평균 Capacity ……77
[그림 4-30] B_{out}계수=0dB일 때 MUE의 평균 Capacity ……78
[그림 4-31] B_{out}계수=0dB일 때 SUE의 평균 Capacity ……79

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[그림 4-32] B_{out}계수=10dB일 때 MUE의 평균 Capacity ……80
[그림 4-33] B_{out}계수=10dB일 때 SUE의 평균 Capacity ……81
[그림 4-34] Total System Capacity ……82
[그림 4-35] B_{out}계수=0dB일 때 Total System Capacity ……83
[그림 4-36] B_{out}계수=10dB일 때 Total System Capacity ……84
[그림 4-37] B_{out}에 대하여 MUE의 평균 Capacity 추세 ……85
[그림 4-38] B_{out}에 대하여 SUE의 평균 Capacity 추세 ……86
[그림 4-39] B_{out}에 대하여 Total System Capacity 추세 ……87

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Abstract

Hybrid and Dynamic Channel Allocation for Dense Small-cell Networks in the Next Generation Mobile Communications

Ban IlHak
Advisor : Prof. ChaiYeoung Jung, Ph.D.
Department of Natural Science,
Graduate School of Chosun University

Together with the 4th industrial revolution, mobile communication is moving into the next generation network. Internet speeds are getting faster, smart phones are becoming more diverse, mobile data is going to grow even faster, as it allows communication between machines and machines as well as communications between humans and humans. Increasing mobile data traffic has always been a problem. Many techniques have been developed and are under study to solve this problem. One of them is small cell technology. In the environment where only the existing macro cell was used, it was difficult to handle a large number of users while using a limited frequency. To overcome this problem, small cells were added to shaded areas in macro cells to improve capacity and system performance. However, the interference problem can not be avoided because macro cells and small cells use limited frequencies. In particular, terminals at cell boundaries are highly affected by interference. Macro terminals at macro cell boundaries are affected by interference from neighboring macro cells and small cells, and small cell terminals at the small cell boundary are strongly interfered by surrounding small cells and macro cells.

In this paper, we propose a hybrid frequency reuse method to improve macro cell performance while efficiently utilizing scarce frequency resources.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Comparing the performance with existing reuse methods, it is found that the performance of the terminals on the small cell boundary is similar but the performance of the terminals on the macro cell boundary is improved. In this paper, we propose an outage boundary to reduce the interference of small cells and improve the performance of macro users by using NBTC and WBTC. This paper is written to improve the performance of users in an environment where existing macro cells and small cells overlap each other. In this paper, we apply the hybrid and dynamic frequency resource allocation method using the existing frequency reuse method. This allowed us to improve the performance of the users of each cell while using the existing frequency. As a result of comparison, the proposed method improves the performance of the macro cell user and improves the performance by increasing the resource consumption of the small cell user. The proposed method is accessible with two perspectives. The performance of a small cell is improved by improving the performance of a macro cell user, and the performance of a small cell is improved by increasing the resource consumption of a small cell with respect to the performance of a macro cell user. These two perspectives will be used effectively in the upcoming next generation networks. The former is an advantage of improving the performance of the macro user by reducing the additional resources of the small cell when they are unnecessary, and the latter can be used to fill the scarce resources of the small cells while maintaining the performance of the macro users. This is because the liquidity can cope in some cases in a dense environment.

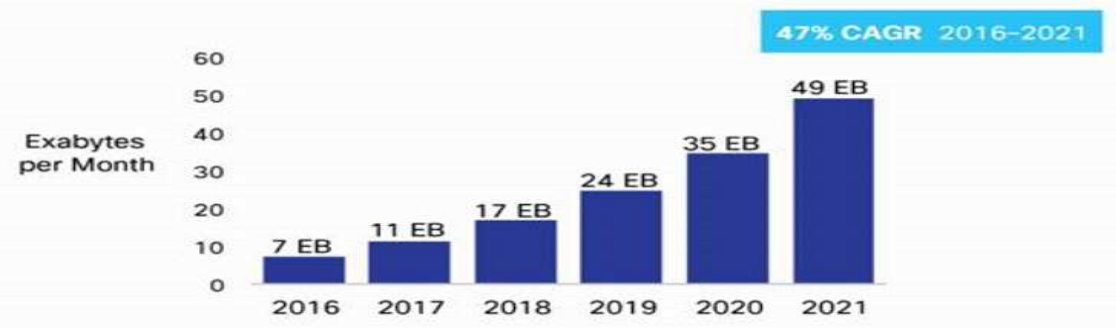
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

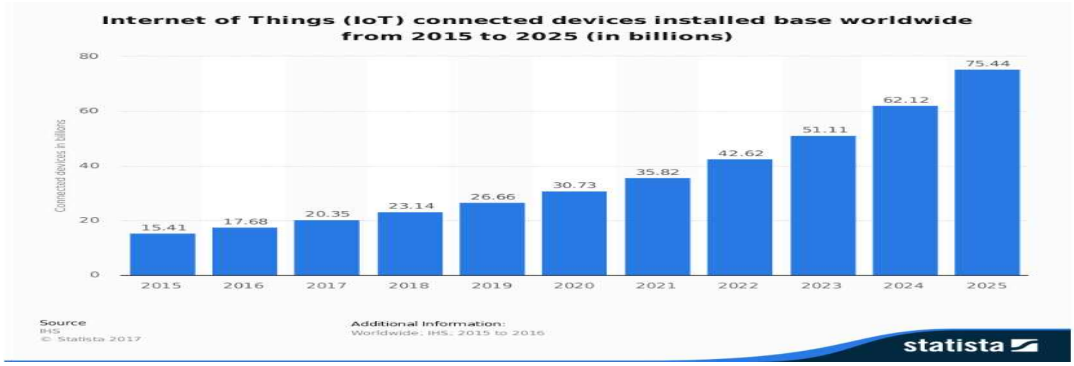
1. 서 론

A. 연구 배경 및 목적

과거 스마트폰이 등장한 이후로 모바일 데이터 트래픽은 증가하고 있다. 차세대 네트워크로 지금의 인터넷 속도는 더욱 빨라져 대용량 데이터를 더욱 쉽게 공유할 수 있으며, 4차 산업혁명과 함께 이제는 인간과 인간만의 소통이 아닌 기계와 기계간의 소통(M2M: Machine to Machine)이 늘어나고 있다. 이에 따라 사물인터넷(IoT: Internet of Things), 빅데이터(Big Data), 인공지능(AI: Artificial Intelligence)을 통해 기계로부터 정보가 쏟아져 나오므로, 모바일 데이터 트래픽은 지금보다 더욱 급증할 것으로 예상된다.또한 시스코의 매년 전세계 트래픽 측정에 기반한 유/무선 데이터 트래픽 예측치 보고서에 따르면, 10년후의 모바일 데이터 트래픽은 현재의 약 1000배정도 증가할 것으로 보고 있다. 이러한 데이터 트래픽의 80%는 실내에서 발생하며, 셀의 10%가 데이터 트래픽의 거의 90%를 다룰 것이다[1][2].



[그림 1-1] 전세계 인터넷 이용 인구[1]



[그림 1-2] IoT에 연결되는 장비 수 증가 동향 [3]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이러한 문제를 해결하는 방안 중 하나로 주목 받아오던 기술이 스몰셀이다. 스몰셀 기지국 기술은 단위 면적 당 용량 증대에 기여할 수 있는 기술로써, 3G,4G 이동통신시스템에서는 셀의 소형화를 통한 용량증대, 음영지역의 해소를 위해 사용되었고, 5G 이동통신에서는 셀 크기가 작은 스몰셀 기지국을 기반으로 대규모 데이터 트래픽을 수용하기 위해 보다 밀접한 셀의 구성 및 셀 소형화를 통한 용량 증대 기술로 UDN(Ultra Dense Small-cell Network)분야와 연계되어 연구되어지고 있다. 이를 통해 기존의 매크로셀과 스몰셀이 중첩되는 환경에서 각각 유저들의 성능을 향상시키기 위해 이 논문을 작성하였다. 본 논문에서는 기존의 주파수 재사용 방법을 사용해 혼합형 동적 자원 할당 방법을 새롭게 적용하였다. 이를 통해 기존의 자원을 사용하면서도 각 셀의 유저들의 성능을 향상 시킬 수 있었다.

본 논문의 주요 연구는 혼합형 동적 채널 할당 방법을 제안하기 위해 다음과 같이 작성하였다.

2장 관련된 연구에서는 기존 이동통신에서부터 차세대 네트워크까지의 기술들을 알아보고, 스몰셀의 정의와 관련 표준화 기술 및 동향에 대해서 살펴본다.

3장 본 논문에서 제안하는 혼합형 동적 채널 할당 방법에 대해 기술한다. 또한 기존의 방법들과 비교하여 기술 차이점을 알아본다.

4장에서는 실험에 사용한 파라미터 및 환경에 대해 설명하고, 기존 방법과 비교하여 성능을 평가한다.

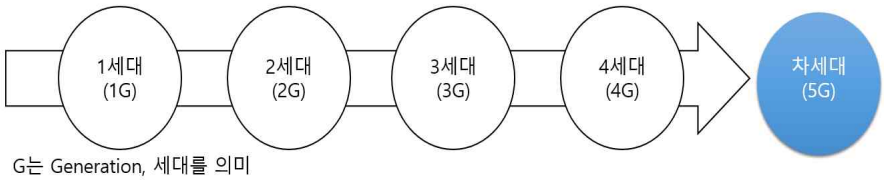
마지막 5장에서 결론으로 마무리한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 관련된 연구

A. 차세대 네트워크와 스몰셀



G는 Generation, 세대를 의미

상용화 시기	1984	2000	2006	2011	2020
접속방식	아날로그	GSM CDMA	WCDMA CDMA2000 WiBro	LTE/LTE-A WiBro WiMAX	NR (New Radio)
전송 속도	9.6~14.4Kbps	14.4~64Kbps	14.4~2.4Mbps	100Mbps~1Gbps	100Mbps~20Gbps
기능	음성	음성 문자	음성+화상 문자+그림 데이터전송	통화+화상 문자+그림 데이터전송 실시간 동영상	홀로그램 사물인터넷 입체영상 증강현실/가상현실

[그림2-1] 이동통신 발전과정

4G를 넘어 차세대 네트워크를 향해 나아가고 있다. 우리의 통신방식은 1세대인 아날로그를 통한 음성통화부터 2세대 디지털 방식의 코드분할 다중접속 CDMA(Code Division Mutiple Access)와 GSM(Global System for Mobile Communication), 3세대 WCDMA인 IMT-2000(International Mobile Telecommunications) 광대역 이동통신으로 발전해왔고 스마트폰의 보급및 멀티미디어, 4G의 IMT-A인 LTE/LTE-A를 통해, 어디서든지 인터넷 사용이 가능하도록 발전해 왔다. 이후 4차 산업혁명과 더불어 사물인터넷(IoT), 자율주행차, 인공지능 등과 함께 5세대(5G)라고 말하는 무선접속 시스템으로 진화하는 중이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. 3세대 이동통신

3세대 이동통신의 대표적인 기술은 IMT2000서비스부터 시작되었다. 기존 2G에서 대표적으로 사용된 GSM을 발전시킨 W-CDMA(Wideband CDMA)와 CDMA를 확장시킨 CDMA2000 기술이다. 2세대에서 3세대로 변화는 모바일 인터넷이 가능하게 하였다는 점이다. 3세대에는 음성서비스뿐만 아니라 멀티미디어 서비스를 제공하기 시작하였다[4].

- CDMA - 넓은 주파수 대역에 사용자들이 서로 다른 코드를 이용하여 같은 주파수, 시간을 사용하여 접속하는 방법. 이를 통해 여러 사용자가 동일한 주파수를 동시에 사용가능하다.

- W-CDMA - 유럽 방식에서 발전된 비동기식의 무선이동통신 접속방식으로 SKT와 KT가 서비스하였고, 국내에서 수도권 지역 중심으로 상용화되었다. 기존의 GSM시스템을 사용하지 못하였다.

- CDMA2000 - 미국 방식에서 발전된 동기식의 무선이동통신 접속방식으로 LGU+가 서비스하였다. 기존의 CDMA시스템과 혼용하여 사용가능하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 4세대 이동통신

3세대 이동통신에 비해 전송속도 및 효율성이 대폭 증가하여 네트워크 성능이 개선되었다. 4세대 LTE에서 대표적인 기술은 크게 직교주파수분할다중(OFDM:Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 및 다중접속(Multi Access), 다중 안테나(MIMO:Multiple Input Multiple Output) 그리고 LTE-A에서의 주파수결합 CA(Carrier Aggregation), 기지국간 협력전송 CoMP(Coordinated Multi-Point), 확장 셀 경계 간섭 제어 eICIC(Enhanced Inter-Cell Interference Coordination) 등이 존재한다[5].

- OFDM - 주파수 대역을 나누어 주파수 간 간섭을 최소화하고 동시에 대용량 데이터를 고속으로 보내는 기술이다. 다중반송파 변조 방식의 하나로써, 다중경로 및 이동수신 환경에서 우수한 성능을 발휘한다.

- 다중 접속 - 셀룰러 이동통신에서 다수의 사용자에게 서비스를 제공하기 위한 기술로 TDMA, FDMA, CDMA가 있으며 OFDM과 결합하여 사용한다. LTE시스템에서는 하향링크를 위해 OFDMA 방식을 사용하고 상향링크에서 SC-FDMA를 사용한다.

- 다중 안테나 - 무선 통신의 채널용량을 높이는 스마트 안테나 기술로 송수신 양쪽에 다중 송신안테나와 다중수신안테나를 사용하여 송수신 데이터 효율을 향상시키는 기술이다. MIMO에는 여러 정보를 다수의 송신 안테나를 통해 전송하여 전송속도를 올리는 공간다중화 기술(Spatial Multiplexing)과 여러 개의 수신 안테나에서 같은 정보를 가진 신호를 반복적으로 전송하여 이를 결합해 오류를 제어하는 공간다이버시티 기술(Spatial Diversity) 그리고 안테나에서 송수신되는 전파를 원하는 방향으로 보내어 간섭을 줄이고 신호를 원하는 사용자에게 보내주는 빔포밍 기술(Beamforming)이 포함되어 있다.

- 주파수 결합 - 대역폭이 더욱 확장되는 기술로써 서로 떨어진 주파수를 결합하여 대역폭을 확장시켜 하나의 주파수 대역처럼 사용하는 기술이다.

- 기지국간 협력전송 - 셀의 중첩지역에서 주로 사용되는 기술로써, 셀 경계지역에

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

있는 이동단말은 동일 주파수 대역을 사용하는 주변 셀로부터 간섭을 받아 서비스 품질이 저하되는데, 이러한 셀 경계에 있는 단말에 영향을 미치는 주변 셀들 간 협력을 통해 정보를 공유하고, 스케줄링을 통해 간섭을 최소화하여 경계지역의 단말 서비스 품질을 개선하고 시스템 성능을 향상시키는 기술이다.

- 확장 셀 경계 간섭 제어 - 기존의 같은 종류의 셀들로 구성된 환경인 Homogeneous Network에서 셀 간 간섭을 피하기 위해 ICIC을 확장하여 매크로셀에 다른 종류의 셀들이 중첩되어 있는 HetNet 환경 내에서 서로 다른 시간영역을 사용하는 기술이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 5세대 이동통신

[표 2-1] 4세대와 5세대 차이 [6]

4G(IMT-Advanced)		5G(IMT-2020)
1Gbps	최대 전송속도	20Gbps
10Mbps	이용자 체감 전송속도	100~1000Mbps
	주파수 효율성	4G 대비 3배
350km/h	고속 이동성	500km/h
10ms	전송지연	1ms
10만/km²	최대 기기 연결수	100만/km²
	에너지 효율성	4G대비 100배
0.1Mbps/m²	면적당 데이터 처리용량	10Mbps/m²

자료: 미래창조과학부

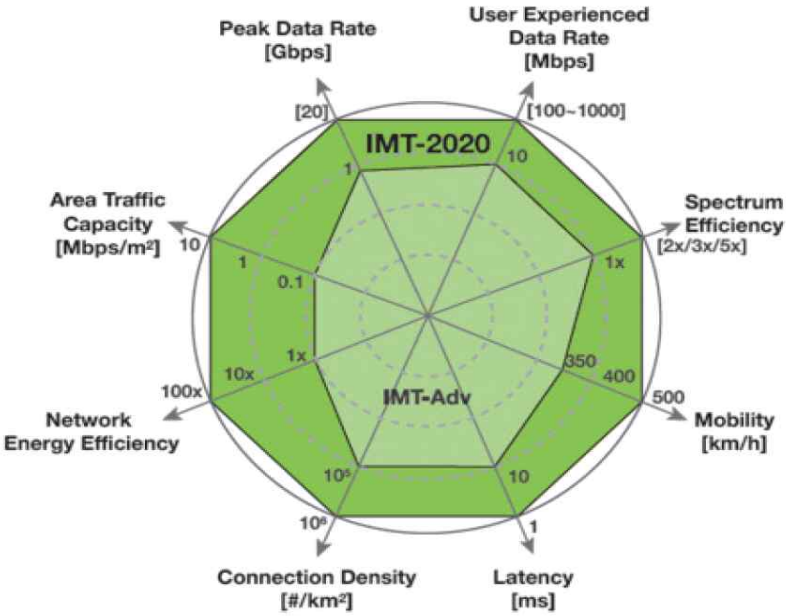
5G에서는 4G에서 서비스 기술뿐만 아니라 IoT(Internet of Things)의 등장으로 주변의 모든 단말이 인터넷에 연결되어 주변의 상황을 감지하고 정보를 제공하며, 현실과 가상의 경계를 넘나드는 서비스를 제공할 것으로 예상된다. 국제 전기 통신연합인 ITU를 구성하는 ITU-R(International Telecommunication Union-Radiocommunication)에서 5G의 8대 성능을 정의하였다[7][8].

[표 2-2] 5세대 8대 성능 [7]

핵심 성능 지표	내용
체감전송률(User Experienced Data Rate)	100Mbps ~ 1Gbps
최대전송률(Peak Data Rate)	10Gbps ~ 50Gbps
이동속도(Mobility)	Up to 500Km/h
전송지연(Latency)	~1ms(radio interface)
최대 연결 수(Connection Density)	$10^6 - 10^7$per km^2
에너지 효율(Energy Efficiency)	IMT-A 대비 50 ~ 100배 효율화
주파수 효율(Spectrum Efficiency)	IMT-A 대비 5 ~ 15배 효율화
면적당 용량(Traffic Volume Density/Area Traffic Capacity)	1TB ~ 10TB/s/km^2

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-2] IMT-2020 8대 성능 [7]

5G에서는 기존의 4G기술을 넘어 새로운 기술들이 논의되고 있다. 아래 5가지로 크게 정리할 수 있다[9][10].

- 초고주파를 이용한 데이터 전송기술: LTE-A에서 3GHz 이하의 낮은 주파수 대역에서 수십 MHz 대역폭의 신호로 전송해야되는 제한이 있었다. 그러나, 5G에서는 센티미터파(3GHz~30GHz), 밀리미터파(30GHz~300GHz)의 높은 주파수 대역에서 수백 MHz 이상의 광대역폭을 이용하여 고속의 데이터 전송이 가능하다. 기존보다 더 빠른 속도의 신호 전송이 가능한 반면, 전파의 경로 손실이 기존 대비 더 많이 발생하게 되는 문제가 발생한다.

- 혁신적인 이동통신 신호처리 기술: 기존 3G에서는 음성신호의 품질을 보장하기 위해 CDMA방식을 사용하였고, 4G에서는 높은 전송속도 확보를 위해 OFDMA방식을 사용해왔다. 5G에서는 더 진보한 직교 주파수 다중화 방식과 전력 및 코드 다중화 방식을 추가하는 다양한 방식의 신규 이동통신 신호 처리 기술(New Radio Access Technology)이 논의되고 있다.

- 대용량 다중 안테나 기술(Massive MIMO): 다수의 단말에게 별도의 용량을 갖는 신

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

호를 안테나에서 방사되는 빔 Stream으로 분리 및 전송하여, LTE의 MIMO 기술 대비 용량 증대 및 간섭 개선이 가능하게 된다. 대용량 다중안테나 기술로 기지국에 고유 용량을 갖는 신호를 여러 안테나의 빔 Stream으로 방사하더라도 실제로 수신 받는 단말은 단말 크기의 제약으로 내부에 다수 안테나 구현의 어려움이 있기에 소수의 Stream만 수신이 가능하다. 이런 문제점을 해결하기 위해 기지국에서 단말로 방사하는 안테나 빔 Stream을 개별적으로 분리해서 최적의 수신이 가능하도록 빔 패턴을 조정하고 각 빔 간 간섭이 발생하지 않도록 신호를 조정하는 Beamforming기술이 추가 적용된다.

- 스몰셀 구성을 통한 네트워크 용량 증대: HetNet기반 환경에서 기존 매크로 커버리지 영역 내 음영지역 및 트래픽이 많이 발생하는 곳에 스몰셀들을 설치하여 기존 네트워크 용량을 증대하는 기술이다. 4G에서도 HetNet이 구성되었으나, 초고주파 대역을 활용하는 5G에서는 스몰셀 구성을 위한 HetNet환경이 더 중요할 것으로 예상된다. 이렇게 다수의 스몰셀을 동일 서비스 영역에 설치할 경우 셀 간 간섭이 기존보다 더 심화될 것으로 예상된다. 5G에서는 이러한 스몰셀 망 내에서의 간섭을 개선하는 것이 매우 중요할 것으로 예상된다.

- 5G네트워크 운용 기술: 4G에서는 자동 운용기술 SON(Self Organazing Network)이 도입되었고 자동복구(Self-Healing), 자동 구성(Self Configuration), 자동 최적화(Self-Optimization)를 지원한다. 이후 5G에서는 이동통신망을 구성하는 장비(기지국, RRU 등)의 운용에 필요한 주요 기능을 자동화하여 네트워크 스스로 최적의 초기 설정 및 운용, 자율적인 유지/보수 등을 수행하도록 만들어 진 차세대 네트워크 운용 기술이다.

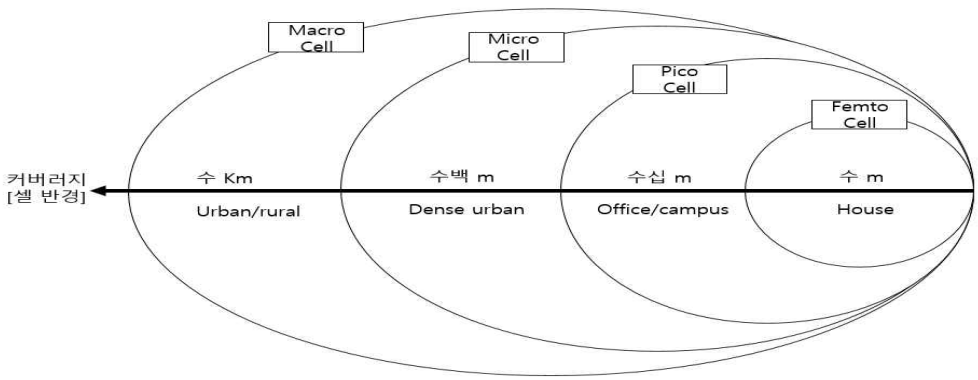
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 스몰셀(Small Cell)

1. 스몰셀이란

이동전화의 호를 가장 양호하게 처리할 수 있는 구역을 셀이라 말하는데, 여러 개의 셀이 모여서 하나의 시스템인 서비스 지역을 구성한다, 이러한 셀에는 기본적으로 하나의 기지국이 하나의 영역을 커버한다. 기지국은 커버하는 영역의 크기에 따라 매크로(macro), 피코(pico), 팸토(femto) 기지국 등으로 구별된다. 매크로 기지국은 피코, 팸토 기지국에 비하여 넓은 영역을 커버하는 기지국이다. 3GPP(3^{rd}Generation Partnership Project)에서는 피코 혹은 펨토 기지국 등을 스몰 기지국으로 칭하고, 스몰 기지국의 제공하는 셀을 스몰 셀로 칭하고 있다 . Small cell Forum에서는 셀의 크기와 용도에 따라 Residential 팸토셀, Enterprise형 피코셀, 도심이나 시골지역에 사용하는 매트로셀과 마이크로셀로 구분하여 정의한다. 보통 피코셀은 hot-spot에, 펨토셀은 주로 실내 사무실이나 가정에서 사용된다[11][12]. 사람이 많은 지역에 가게 되면 무선 인터넷 사용 속도가 느려지게 되는데 이는 무선 인터넷 사용자들 간 트래픽이 많아지기 때문이다. 이런 문제를 해결하기 위해 작은 기지국을 의미하는 스몰 셀 기술이 도입되었다. 이러한 스몰 셀은 하나의 기지국이 넓은 영역을 담당하는 매크로 셀과 달리 상대적으로 10~수백 m정도의 좁은 영역을 담당하고, 매크로 셀보다 크기가 작아 협소한 지역이나 인구가 밀집된 지역에 설치가 용이하며 저전력/저비용의 기지국이다. 또한 공공장소나 인구 밀집장소 등에서 효율적으로 트래픽 수용기술을 가지며, 매크로 셀과의 간섭제어 및 협력전송에 의해 용량 증대 효과를 가지고 온다.

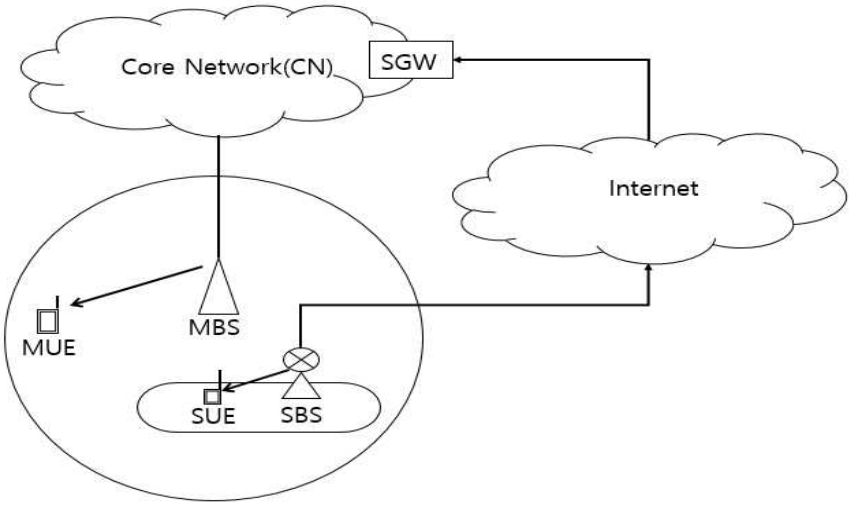


[그림 2-3] 커버리지에 따른 셀 종류

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

스몰셀은 음영지역을 해소한다는 점에서 Wi-fi 같은 신호 증폭기와 유사한 성격을 가진다. 임의로 증폭기의 사용은 주파수 간섭 문제를 야기할 수 있다. 이에 스몰셀 포럼에서는 스몰셀은 신호 증폭기의 장점을 제공하고 네트워크 용량을 증대시키는 추가적인 장점이 있다는 점에서 스몰셀과 신호 증폭기와의 차이를 강조했다. 또한 스몰셀은 허가받은 주파수를 사용하므로 비인가 대역을 사용하는 Wi-fi보다 속도가 빠르고 안정성이 높다. 네트워크 용량이 부족한 상황에서 Wi-fi 모바일 서비스 제공이 불가능하나 스몰셀은 QoS(Quality of Service)를 만족한다. 따라서 스몰셀은 Wi-fi와 비교해서 더 나은 효율적 스케줄링으로 좋은 성능을 제공하고 보장된 QoS 서비스를 제공한다 [13].



[그림 2-4] 스몰셀 망 구성도

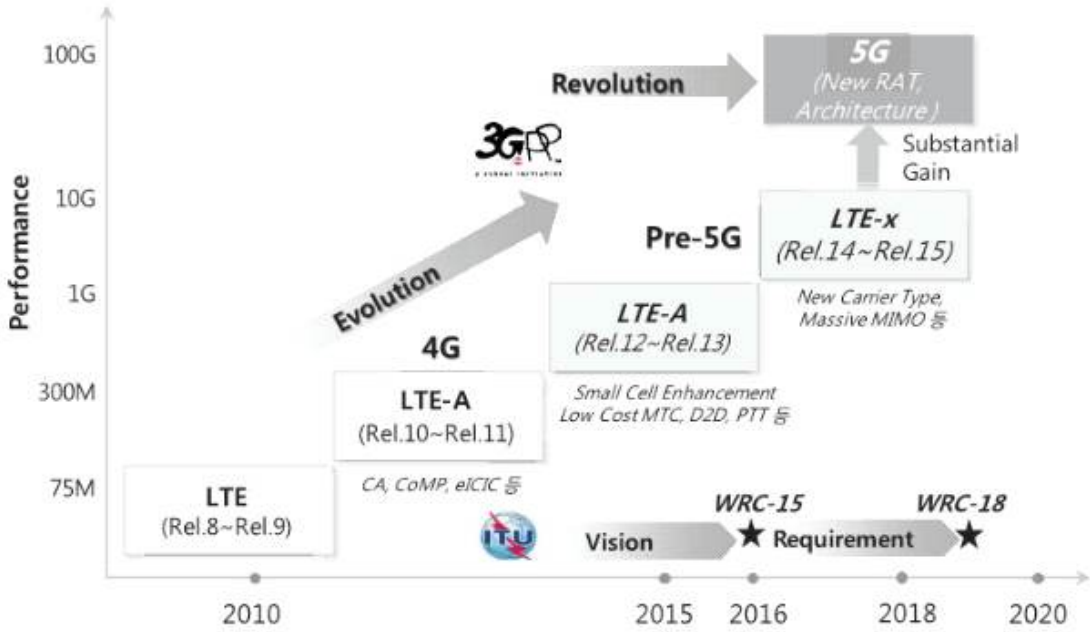
스몰셀 기지국의 망구조는 매크로 기지국과의 커버리지 포함 관계에 따라 HetNet망 구조에 포함되거나 모 기지국을 통하지 않고 인터넷 회선을 백홀로 사용하여 이동통신 코어망에 접속하므로 자체적으로 용량을 제공이 가능하다. 스몰셀 기지국은 접속 제한에 따라 특정 사용자에게만 허락되는 폐쇄형과 일반 사용자도 사용가능한 개방형 그리고 이 두 방식을 혼합한 하이브리드형으로 운영된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 스몰셀 표준화 기구 및 동향

미래의 데이터 트래픽의 급증은 우리에게 다양한 측면에서 큰 변화를 가져올 것이다. 국내에는 트래픽 증가를 해결하기 위해 LTE시스템을 도입하여 상용화 하였으며, 이후 LTE-A 상용 서비스를 지원하였다. 이후 5G에 대한 연구도 계속 진행 중에 있으며, 5G의 기술적 요구사항을 정의, 후보기술 규격을 외부 표준화 기구들로부터 제안받아 5G 기술로 승인하는 과정을 거쳐, 이후 요구사항을 만족하는 시스템을 5G 이동통신 시스템으로 새롭게 명명할 것이다. 스몰셀도 마찬가지로 5G에 맞추어 기술들이 표준화 될 것이며, 대표적인 기구로써 3GPP가 있다.



[그림 2-5] 이동통신 기술 발전 방향 [14]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

스몰셀은 펨토셀로부터 시작하여 LTE 기반의 3GPP Rel.8/9의 Home eNB으로 사용되며, Rel 10/11에서 스몰셀이라고 명칭되고, 이후 기술로는 HetNet, Rel.12에서의 SCE 기술, Rel.13의 LTE-LAA기술, Rel.14의 UDN으로 기술 발전하였다. 기존 스몰셀 기술은 Rel.9에 Home eNB란 개념으로 Homogeneous 셀 환경에서 주파수 도메인에서 셀 간 간섭 문제를 고려했지만 실제 셀 간 간섭에 대한 문제를 해결하기 어려웠다. 이후 Rel.10/11에서 다양한 형태의 셀 크기와 배치를 고려한 HetNet 스몰셀 구조를 기반으로 인접 매크로셀과의 협력을 통하여 시간 도메인 셀 간 간섭문제를 해결하기 위한 방안 등으로 제시되었고, Rel 12에서는 Small Cell Enhancement란 주제로 스몰셀 기술에 대한 성능 개선을 수행하였다.

- ICIC - Inter-Cell Interference Coordination은 3GPP Rel.8에 정의되는 LTE 간섭 제어 기술이다. Homogeneous network환경에서 인접한 셀들이 셀 경계에 있는 유저들에게 서로 다른 주파수 자원을 할당해주기 위한 방법을 제시한 기술이다. 기존 셀 간 간섭은 4G이전에서 기지국 상위 노드에 의해 제어되었지만, LTE/LTE-A망에서는 X2인터페이스가 정의되어 기지국끼리 협력하여 제어한다. ICIC기능을 제공하는 기지국은 주파수 자원별로 간섭정보를 구성하여 X2메시지를 통해 다른 기지국과 교환하여 이웃 셀들의 간섭 상황을 파악하고 셀 간 간섭을 피하도록 자기에게 속하는 유저에게 무선 자원을 할당한다[15].

- eICIC - ICIC는 과거 Homogeneous network환경에서 간섭 제어 기술로써, 이웃한 셀들의 출력세기가 비슷하여 간섭의 세기가 크게 영향이 없지만, HetNet환경에서는 매크로셀의 송신 세기가 스몰셀의 송신 세기보다 크므로, 매크로셀이 스몰셀 경계에 있는 유저들에게 심각한 간섭을 초래한다. 이를 해결하기 위해, 3GPP Rel.10에서 정의된 LTE-A의 간섭제어 기술로 eICIC가 정의되었다. 기존 ICIC에서의 주파수 영역(Resource Block) 대신 서로 다른 시간 영역(Sub-Frames)을 나누어 전송하는 방식을 사용한다. eICIC기술에는 Rel10에 정의된 ABS와 Rel 11에 정의된 CRE기술이 있다.

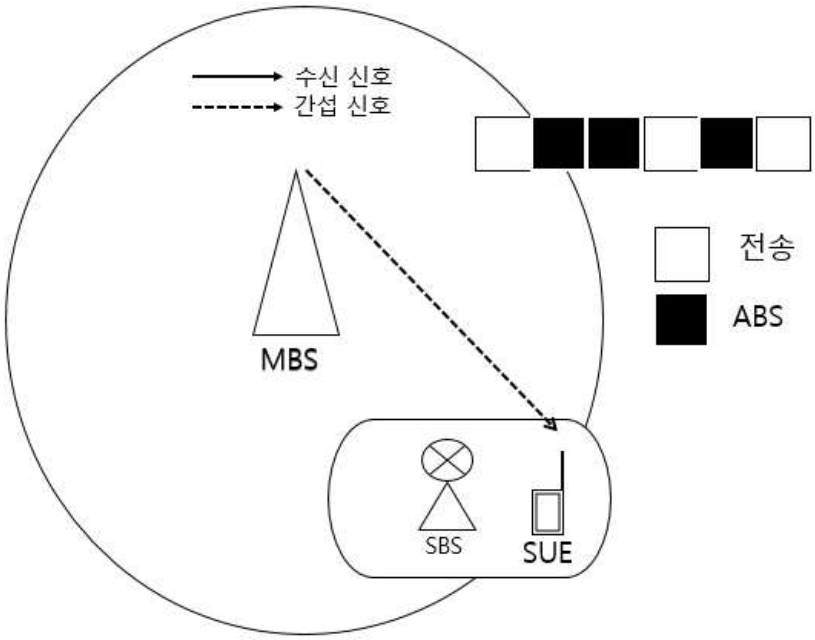
- FeICIC(Futher eICIC) - 3GPP Rel.10에서 정의한 ABS에서 희생 셀들이 공격자 셀들로부터의 간섭을 회피하지만, CRS(Cell Specific Reference Signal)의 간섭은 피할 수 없어 이를 해결하기 위한 방법으로 3GPP Rel.11에서 정의한 기법이다. 희생 셀

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

에서 공격자 셀이 송신하는 CRS위치에 데이터를 전송하지 않는 PDSCH muting 기법과 공격자 셀의 CRS 위치를 유저에게 알려주어 유저에서 간섭을 제거할 수 있는 기법을 제공한다[16].

- ABS - HetNet환경에서 공격자 셀(Aggressor cell)과 희생 셀(Vitim Cell)이라는 용어를 사용하는데, 각각 간섭을 발생시키는 셀과 간섭을 받는 셀이다. 특정시간 영역에서 공격자 셀이 데이터 전송을 중지하여 희생 셀에 연결된 셀 경계 유저가 해당 시간 영역에서 희생 셀과 통신을 하는 방법으로, 중지한 시간동안 스몰셀은 간섭을 회피할 수 있다. 공격자 셀이 전송을 중지하는 시간을 ABS(Almost Blank Subframe)이라 정의한다. 무선자원을 시간 영역에서 나누어 사용함으로써 셀 경계에 있는 스몰셀 유저들이 매크로셀로부터의 간섭을 피하는 기술이다[17][18].



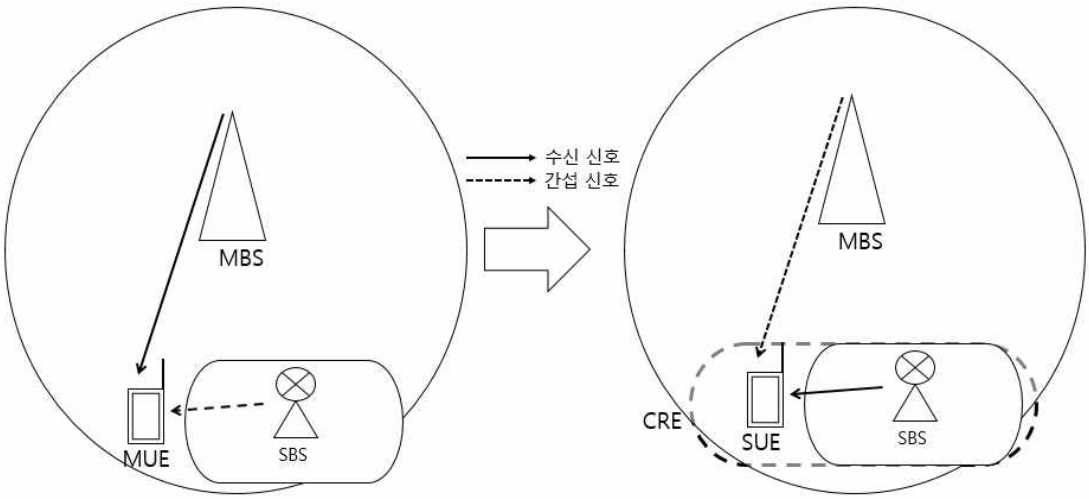
[그림2-6] ABS의 예

- CRE - 매크로셀과 스몰셀이 중첩되는 HetNet환경에서 매크셀과 스몰셀의 전송 출력이 다르기 때문에 동일한 주파수를 사용할 때 셀 경계지역에서는 셀 간 간섭으로 인하여 망 설계에 어려움이 존재한다. 일반적으로 유저는 하향링크 수신 신호의 세

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

기로 셀을 선택하는데, 셀의 크기가 다른 셀이 중첩된 HetNet환경에서는 셀 경계에 있는 유저에게 거리의 차이로 인해 광역 셀의 상향링크와 스몰셀의 상향링크에 대한 경로 손실에 차이가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 유저의 셀 선택 시 셀 경계 지역에서 스몰셀을 선택하도록 스몰셀의 하향링크 신호에 offset을 주어 스몰셀의 크기를 가상적으로 늘리는 Cell Range Enhancement방안이 제안되었다. 그림에서 점선부분이 offset으로 늘어난 스몰셀의 영역으로 CRE를 통하여 이 지역에 있는 유저는 스몰셀을 선택하도록 한다[19].

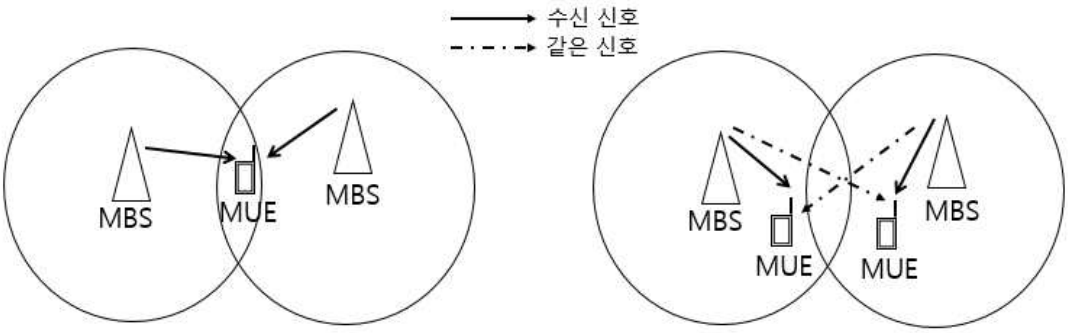


[그림 2-7] CRE의 예

- CoMP - ICIC에서는 셀간 간섭을 줄이는 목적으로, 셀 경계부근에 유저가 통신할 수 있도록 해주지만, 용량을 올리지는 못한다. 이러한 셀 경계에 위치하는 유저의 용량을 높이기 위해 나온 셀간 협력기술 중 하나로써, 이웃하는 셀들이 협력하여 서비스하는 셀뿐만 아니라 다른 셀들도 같은 단말과 통신할 수 있도록 하여 셀 간 간섭을 줄이고 셀 경계에 있는 단말의 용량을 높이는 기술이다. 일반적으로 유저는 현재 소속된 하나의 셀에 접속하여 서비스 받는다. 이는 다른 기지국에서 오는 신호는 모두 간섭 신호가 된다. 반면 CoMP에서는 유저가 서로 다른 지점에 있는 위치한 여러 셀들과 통신할 수 있다. CoMP기술은 상향링크뿐만 아니라 하향링크에서도 적용할 수 있다. 이러한 CoMP의 종류에는 CS/CB,JT 등이 있다[20].

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-8] CoMP의 예

CS(Coordinated Scheduling) - 셀 경계 유저들에게 서로 다른 주파수 자원을 할당하여 셀 간 간섭을 줄이는 기술로, ICIC와 비슷하지만 ICIC는 셀 단위로 간섭정보가 전달되는 반면 CS에서는 사용자 단위로 채널정보가 전달된다.

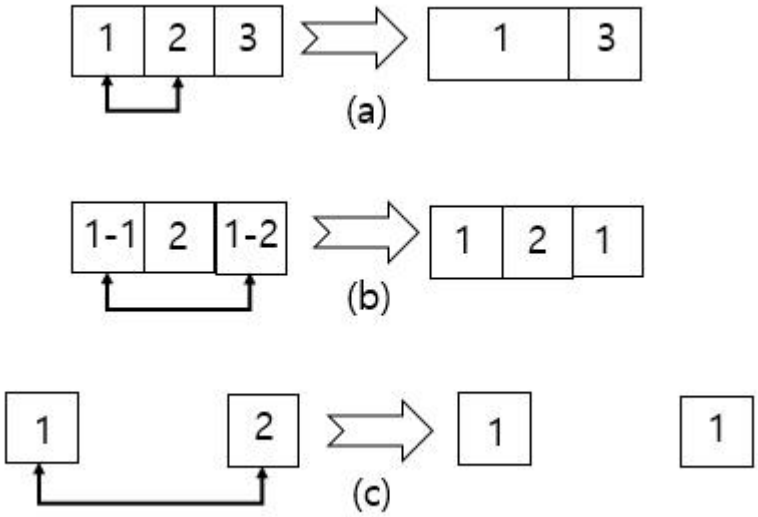
CB(Coordinated Beamforming) - 빔포밍 기술을 이용하여 셀 경계지역 유저들에게 서로 다른 공간 자원을 할당한다. 주로 CB와 같이 사용하여 CS를 통한 간섭의 저하와 CB를 통한 수신 품질이 더 좋아진다.

JP(Joint Processing) - 셀 경계지역 유저들의 수신 성능을 개선하기 위해 다수의 이웃한 셀들이 같은 데이터를 유저에게 송신할 수 있는 기술로, 세부적으로 JT(Joint Transmission)와 DPS(Dynamic Point Selection)로 나누어진다. JT는 이웃한 셀들이 동시에 같은 자원을 사용해서 같은 데이터를 유저에게 송신하는 기술이고, DPS는 어느 한순간에 한 개의 셀이 데이터를 전송하고, 그 셀은 동적으로 바뀔 수 있다.

- 반송파 집성(CA) - 서로 다른 여러 개 주파수 대역을 하나로 묶어서 하나의 주파수처럼 사용하는 기술로 3GPP Rel.10에서 도입되었으며, Rel.12에서는 이종 듀플렉스 반송파 간 집성 기술이 정의되어 FDD(Frequency Division Duplex) 매크로 셀과 TDD(Time Division Duplex) 스몰셀 간 반송파 집성을 지원한다. 종류로는 (a)인접한 반송파 결합은 인접한 두 개의 LTE반송파 대역을 결합하여 사용하는 방식이고 넓은 주파수 대역을 가지고 있을 때 적절하며 (b)비연속적인 반송파 결합은 두 개의 반송파 대역 사이에 다른 대역이 끼어있어도 그림과 같이 비인접 반송파 대역을 결합할 수 있다. 이는 일부 사용할 수 없는 대역이 전체 대역내 존재할 때 유용하다. 마지막으로 (c)완전히 떨어져 있는 두 밴드에 존재하는 비인접 반송파 대역을 결합하는 방식인 대역간의 비연속적인 반송파 결합이 있다[21].

Collection @ chosun

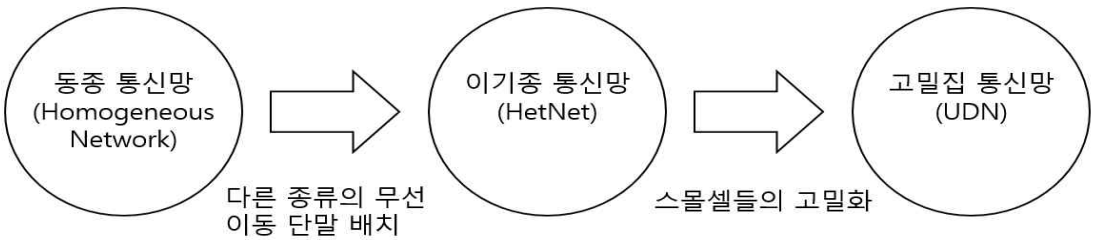
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-9] CA 종류

3. 5G 이동통신에서의 스몰셀 연구방향

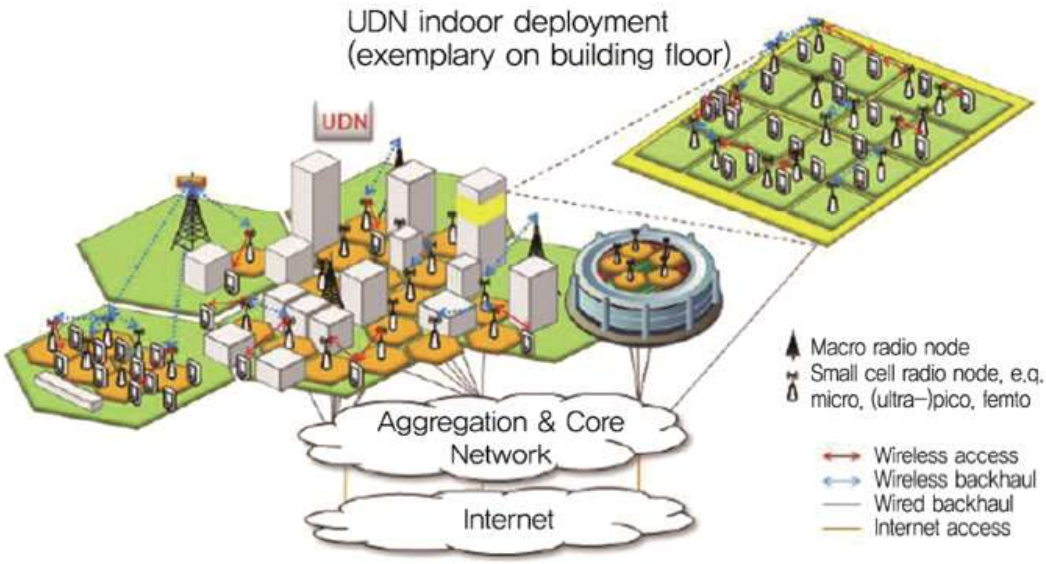
스몰셀은 5G 이동통신에서 용량증대의 새로운 지표인 단위면적당 용량 증대 기술로 인식하고 있으며, 이러한 스몰셀은 밀집한 환경인 Dense Network에서 UDN(Ultra Dense Network)으로 발전한다[21].



[그림 2-10] 통신망의 변화

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-11] METIS의 UDN 예 [22]

UDN이란 이동단말이나 기지국 등 통신 노드끼리 가능한 거리가 가까이 되어 밀집되는 상황을 의미한다, 이동 단말과 기지국 간 사이의 거리가 짧아 높은 경로 감쇄 이득 및 전송 지연을 통하여 높은 데이터 전송률을 제공할 수 있는 장점을 가진다. 이러한 UDN은 5G 이동 통신의 급증하는 데이터 트래픽의 요구를 충족시킬 수 있는 기술이다. 특히 매크로셀과 중첩된 HetNet 환경에서 스몰셀들의 공간 재사용을 통해 커버리지와 네트워크의 용량을 증대 시킬 수 있다. 특히, 데이터트래픽이 80%이상 발생하는 실내 환경에서 밀집한 스몰셀들은 매크셀로부터 유저들의 무선 데이터 트래픽을 제거할 수 있다[23]. UDN은 이동단말이 밀집하여 대용량의 데이터 트래픽을 발생하는 도심의 Hot Spot 지역 및 공항 등에 적용 될 수 있다. 또한, UDN은 다양한 셀의 크기를 가지는 기지국과 더불어 다양한 무선전송방식까지 고려하는 복합적인 통신망을 가진다. 이러한 복잡한 통신망으로 인하여 다양한 기술적인 문제를 해결해야 한다. UDN에 대한 기술적인 점은 작은 반경을 가지는 셀의 특성을 반영하는 최적의 무선전송기술, 밀집한 셀들 사이의 간섭관리, 셀 자체의 자동 구성 방법, 매크로셀과 스몰셀간의 협력, 작은 반경을 가지는 셀들 사이에서 고속의 이동성을 가지는 이동단말에 대한 이동성 제어와 에너지 효율을 높이기 위한 에너지 절감 방법 등이 있다[24].

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. 5G 스몰셀 후보 기술

다양한 셀 반경과 다양한 무선전송방식을 가지는 셀들이 밀집하여 구성되는 UDN환경에서의 스몰셀은 적용 시나리오와 망 구성 환경에 따라 다양한 요구사항이 존재하고 이를 제공하기 위한 다음과 같은 기술이 필요하다.

- 셀 간 간섭관리 - 5G에서의 스몰셀은 다양한 네트워크들로 인해 지금보다 트래픽이 더욱 증가하는 환경에 사용될 가능성이 높다. 따라서, HetNet 환경의 중첩된 셀 구조와 서로 다른 특성을 갖는 무선전송 환경 하에서 셀 간 간섭 제거, 간섭 정렬 등을 통하여 용량 증대 기술이 요구되며 한 사용자에게 최적의 다수의 전송 포인트를 이용하여 사용자 중심의 가상 셀을 구성하는 기술에 대한 연구가 필요하다.

- Small cell ON/OFF - 다양한 네트워크들이 결합된 UDN환경에서는 서로간의 간섭들이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 수 많은 스몰셀들을 계속 운영하는 것이 아니라, 사용자의 분포와 트래픽을 분석하여 특정 스몰셀을 일시적으로 중단하는 ON/OFF기술이 개발 진행 중이다. 이를 통해 상호간의 간섭을 줄이고, 전력을 절약하여 에너지 절감 효과와 더불어 전체 성능을 증가시킨다.

- 가상화 - 5G는 다양한 서비스 요구사항을 만족해야 함으로 서비스 요구사항에 맞게 네트워크를 유연하게 구성할 수 있어야 한다. 이를 위해 가상화를 기반으로 동적으로 셀을 구성할 수 있도록 개방형 인터페이스를 지원하며 서비스에 따라 기능 모듈을 구성할 수 있어야 한다. 스몰셀도 이러한 가상화를 기반으로 인증, 연결 제어, 프로토콜 스택 등 기능별로 설계되어야 한다.

- Advanced SON - 다수의 스몰셀을 각각 따로 관리하기는 매우 힘들 것이다. 따라서 밀집한 다수의 셀은 인접 셀을 감지하여 자동으로 구성되어야 하며 셀 간 간섭을 최소화할 수 있도록 셀 파라미터를 최적화하여야 한다. 사용자의 분포와 트래픽을 분석하여 자기 구성이 가능해야 하며 사용자의 특성과 패턴을 분석하여 자동으로 셀 구성 정보를 조정하는 기능도 필요하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

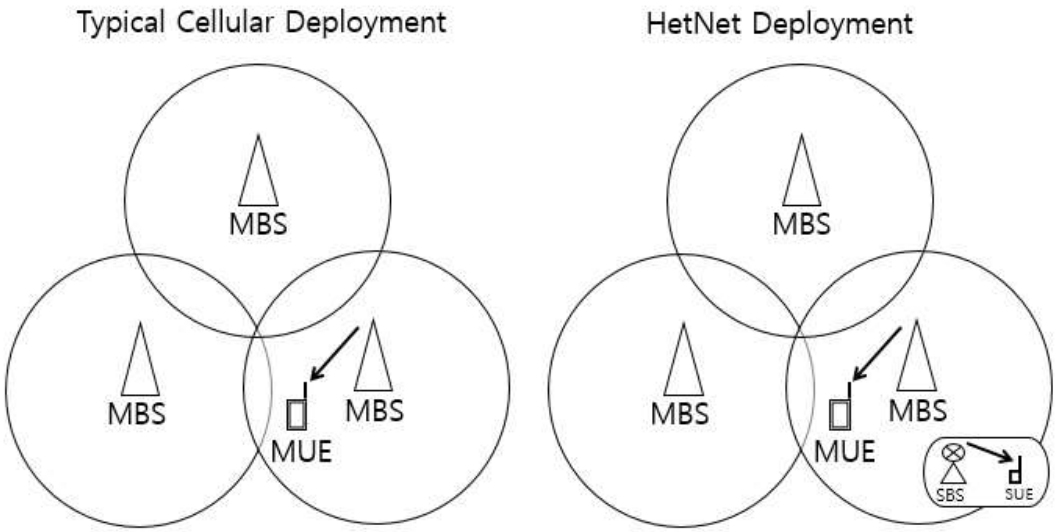
- 통합 무선관리 및 연결 제어 - UDN환경에서 사용자에게 최적의 무선자원을 할당하기 위해서는 동적으로 사용자 기반으로 셀을 구성하며 최적의 무선자원을 할당하여야 한다. 또한, 셀 간 협력 통신과 셀 간 간섭관리를 위하여 통합된 무선자원관리 기능이 필요하고, 이동단말의 이동 특성에 따라 무선자원의 할당이 필요하며 광역 기지국과 밀접한 협력 하에 동작하는 연결 제어 관리 기능이 요구된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

C. 스몰셀 고려 사항

1. 스몰셀 배치 시나리오



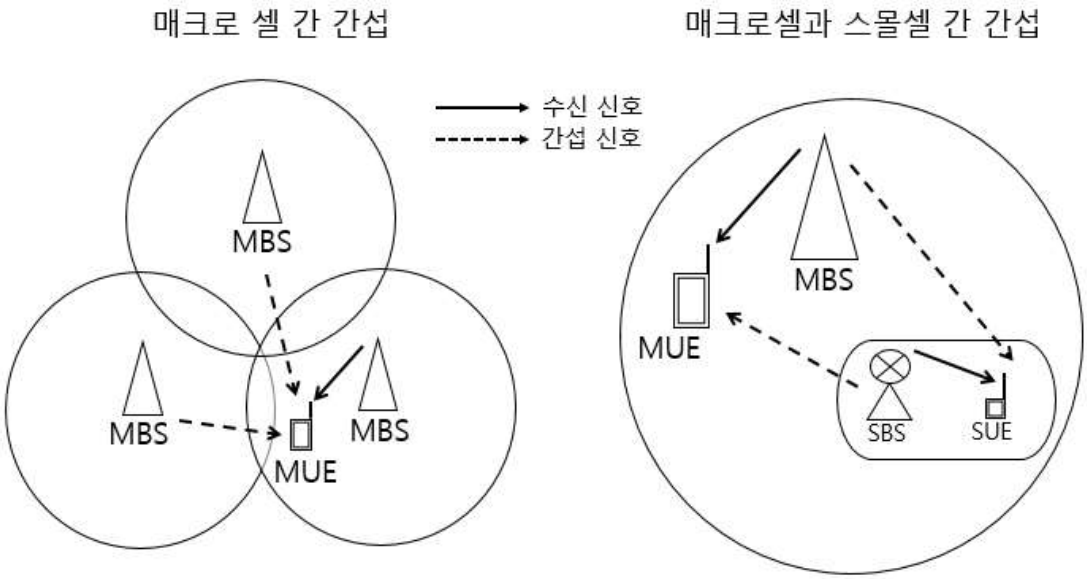
[그림 2-12] 동종 네트워크와 이기종 네트워크 차이

Homogeneous Network - 전통적인 네트워크 구조인 동종 네트워크로서, 동일한 송신 전력과 안테나 패턴을 지닌 기지국들이 배치되어있는 구조이다. 주로 매크로 기지국이 수 km의 넓은 영역을 커버하고 가능한 많은 수용자를 수용하도록 되어있다. 같은 주파수 대역을 사용하는 이웃 셋들로부터 간섭이 존재한다. 이러한 구조는 주파수 도메인에서 셀 간 간섭문제를 고려했지만 실제 셀 간 간섭에 대한 문제를 해결하기 어려웠다 [25].

Heterogeneous Network - 기존에 배치된 매크로 기지국의 영역에 같은 주파수를 사용하는 다양한 형태의 스몰셀 기지국이 중첩되어 배치된 네트워크를 이기종 네트워크(HetNet)라 한다. 3GPP Rel10/11에서 스몰셀 기술로 정의하여, 이를 포함하는 HetNet 기술에 대한 토대를 마련하였다. 앞으로의 5G 네트워크에서도 스몰셀들이 밀집된 형태로 매크로셀과 중첩된 HetNet 환경이 중요한 요소이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



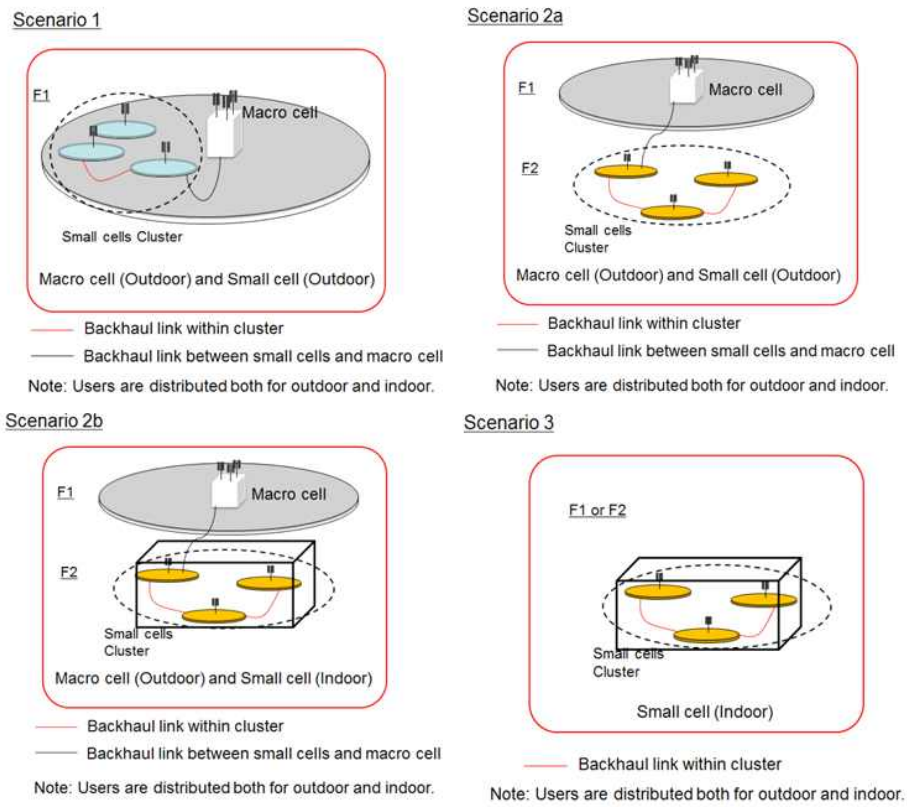
[그림 2-13] 동종 네트워크와 이기종 네트워크에서의 간섭 차이

HetNet환경에서는 기존에 있는 매크로셀 기지국 영역에 스몰셀 기지국이 중첩되어 배치되는 네트워크이다. 매크로셀 위주로 구성되는 동일망상에서 취약했던 실내 단말의 용량을 개선시킴으로써 전체 셀 용량을 증대시키는 효과를 얻을 수 있었다. 이러한 HetNet에서의 셀간의 간섭문제는 셀과 셀간의 거리가 가까워지고 서로 다른 셀들의 경계 지역이 많아지고, 매크로셀과 스몰셀의 출력세기의 차이로 인해, 스몰셀에 접속되어 있으면서 셀 경계에 있는 단말이 심하게 간섭을 받고, 스몰셀 근처에 있는 매크로셀 사용자 단말은 스몰셀로부터 간섭을 심하게 받는다. 이러한 문제를 해결하기위해, LTE의 ICIC 간섭제어를 통해 주파수 영역을 나누어 전송하는 방법을 사용하여, 인접한 셀들이 셀 경계에 있는 단말들에게 서로 다른 주파수 자원을 할당해주기 위한 방법을 제시하였다. 이후 LTE-A의 eICIC 간섭제어를 통해 주파수 영역 대신 시간 영역을 셀간 나누어 전송하는 방식을 사용하였다.

스몰셀 배치에 관한 것은 HetNet에서의 중요한 관점이다. 다음은 SI SCE-PHY(Small Cell Enhancements - Pysical Layer Aspects)에서 평가를 목적으로 만든 스몰셀 배치 시나리오이다[26].

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2-14] 스몰셀 배치 시나리오[26]

- 시나리오1 - 매크로셀이 중첩된 구조로 매크로셀과 스몰셀이 동일한 주파수를 이용, 스몰셀들이 실외에 위치
- 시나리오2a - 매크로셀이 중첩된 구조로, 매크로셀과 스몰셀이 다른 주파수를 사용, 스몰셀들이 실외에 위치
- 시나리오2b - 매크로셀이 실내에 위치
- 시나리오3 - 매크로셀 커버리지가 없음, 스몰셀들이 실내에 위치

위의 모든 시나리오는 스몰셀들이 클러스터를 이루고 클러스터에 들어 있는 스몰셀 밀도가 Rel-10/Rel-11 eICIC/CoMP의 경우에 비해 매우 높다. 그리고 동일 클러스터 내의 스몰셀들 간, 클러스터와 매크로 유저간의 인터페이스는 이상적/비이상적 백혹을 가정하고 이외 다른 인터페이스는 모두 비이상적 백홀을 가정한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 셀간 간섭 조정 해결

스몰셀은 밀집된 지역에서 각 매크로셀에 20개 또는 그 이상을 설치 할 수 있다. 그러나 다수의 스몰셀은 여러 가지 문제를 일으킬 수 있다. 스몰셀은 기존 셀내에 추가적인 셀 경계를 만들어 인접 셀로부터 간섭을 증가시키고 신호 품질 저하를 초래하는 외에도 스몰셀 경계 지역의 사용자는 연결성이 나빠진다. 더욱이 스몰셀이 중첩 설치될 경우 네트워크에서 메크로셀에 대한 간섭을 일으킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하는 한 가지 방법은 개별 캐리어에 인접하는 스몰셀을 배치하는 것이지만, 이는 추가적이고 종종 많은 비용이 드는 스펙트럼을 필요로 한다. 다른 방법으로는 매크로와 스몰셀 기지국 간의 더 우수한 조정을 통해 셀 간 간섭 효과를 완화시킬 수 있다. 이러한 셀 간 간섭 조정을 해결하기 위해 다음과 같은 방법들이 있다

- 부분 주파수 재사용(Fractional Frequency Reuse)

주파수를 셀 중심 주파수와 셀 경계 주파수인 두 부분으로 나누어, 셀 경계 주파수는 인접셀과 겹치지 않도록 할당한다. 이렇게 하여 셀에 주파수 재사용 계수를 희생하지만, 경계에 간섭을 감소시킨다.

- 선택적 전력 재사용(Selective Power Reuse)

인접한 셀들이 셀 중앙 유저를 위하여 낮은 전력을 사용하고, 셀 경계 유저에게 높은 전력을 사용.

- 셀 영역 확장(Cell Range Extension)

스몰셀 기지국에 인접한 단말들이 매크로 기지국에 연결되지 않도록 하기 위해, 포지티브 셀 선택 오프셋이 스몰셀(positive cell selection offset)에 추가되어 스몰셀의 커버리지를 효과적으로 높인다.

- 간섭과 과부하 표시(Interference & Overload Indication)

강한 간섭지표(high interference indicator:HII), 즉 비트맵(bitmap)이 셀 경계 단말의 스케줄을 표시, 이 메시지를 이웃하는 기지국간에 교환하여 기지국들은 스케줄을 조정하고 경계 단말기에 간섭을 피한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

● 확장 ICIC(Extended ICIC: eICIC)

다른 유형의 네트워크가 겹치는 경우에 간섭은 동일 셀의 수신기에서 다른 단말기로 오는 인트라셀 간섭과 다른 셀들로부터 오는 인터셀 간섭이 있다. 이중에 스몰셀은 매크로셀보다 저전력이므로 인터셀 간섭에 더 많이 영향을 받는다. 이를 개선하기 위한 확장된 셀 간 간섭제어기술인 eICIC가 제안된다.

● 협력전송 CoMP

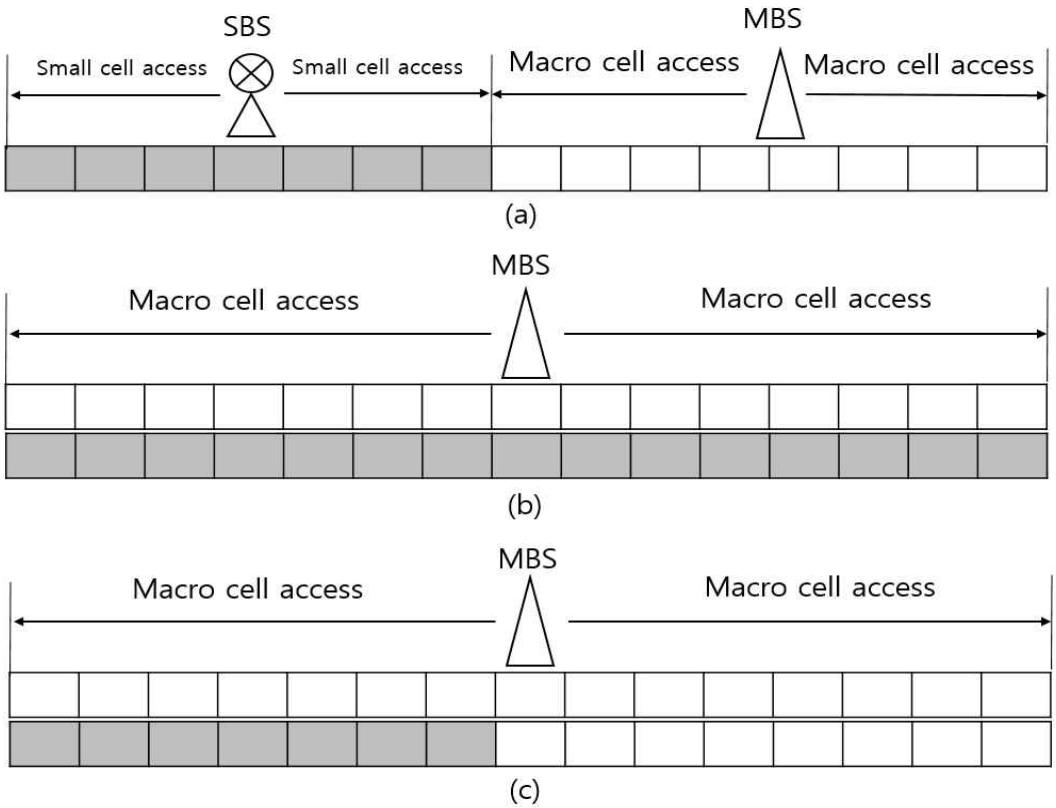
여러 개의 전송 포인트를 단일 사용자 장비로부터 함께 송수신할 수 있게 만든다. 특히 셀 경계에서 스케줄링과 빔형성을 조정하여 신호 대 잡음비를 향상시키고 더 높은 데이터 전송속도를 달성한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 자원할당

기본적으로 주파수 재사용 방법은 그림과 같이 나누어진다. (a)는 Non-Shared라고 부른다. 몇몇의 자원 블록들을 스몰셀이 쓰고 나머지 부분을 매크로셀이 사용하도록 한다.(b)는 스몰셀과 매크로셀이 자원블록을 전부를 사용하는 경우이다. 실제로 이런 환경에서 스몰셀들로부터 오는 간섭은 심각하다. 따라서 이를 해결한 방법과 같이 사용하도록 해야한다. (c) b와 마찬가지로 Shared 재사용 방법으로써, 스몰셀이 오직 어느 정도의 자원 블록을 사용하도록 허락되고, 매크로셀은 전체 대역을 사용하도록 한다. Split 재사용 방법은 자원할당 알고리즘의 복잡성은 줄이지만, 자원 재사용 효율은 Shared 재사용 방법과 비교해서 더 낮다. Shared는 더 나은 성능을 기대할 수는 있지만, 스몰셀과 매크로셀 유저들 사이에 간섭을 다루는데 더 많이 복잡한 알고리즘을 요구할 것이다[27][28].

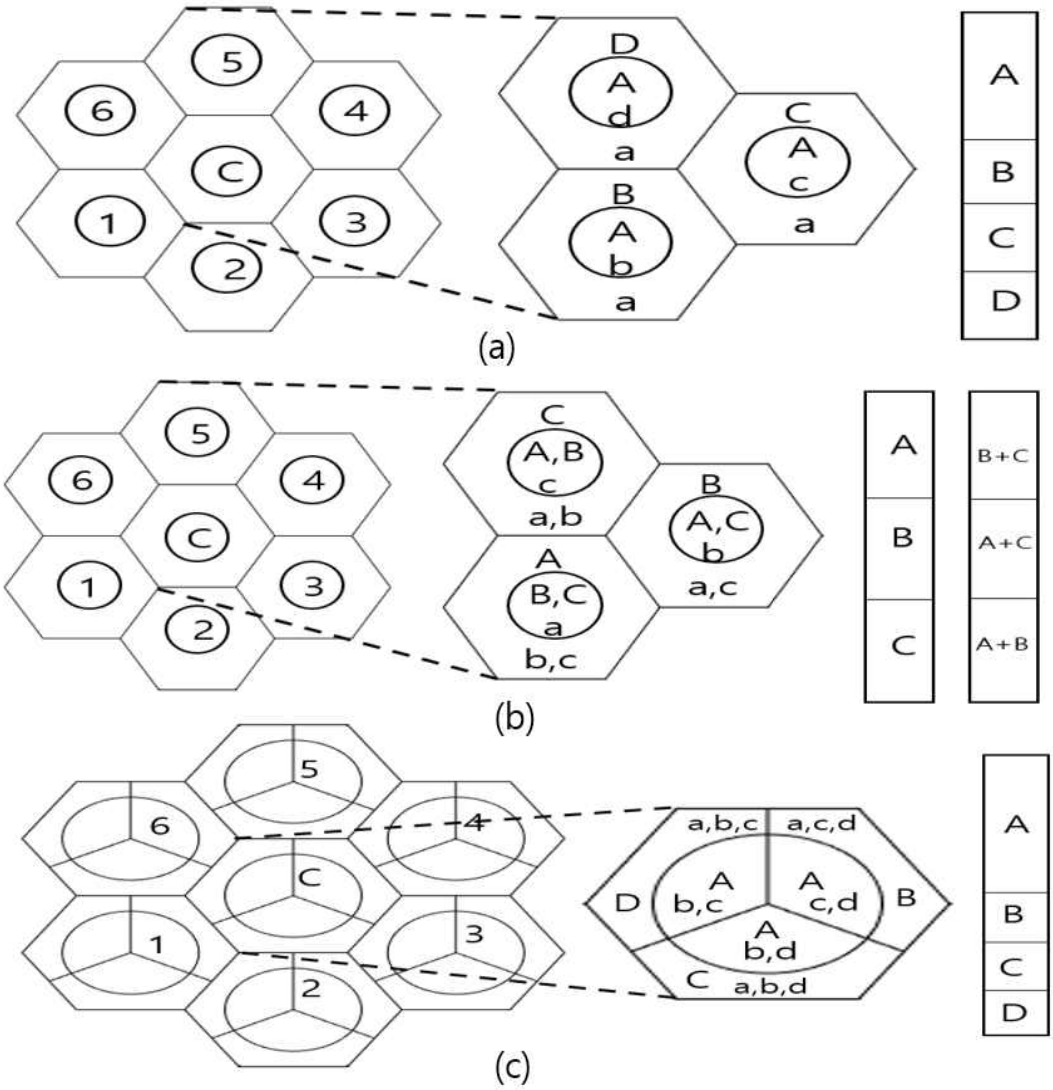


[그림 2-15] Split과 Shared 종류

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

기존의 FRF1과 FRF3의 문제점인 HetNets환경에서의 스몰셀 배치를 해결하기 위해, FFR이 효율적인 인터셀 간섭 조정을 위해 제안되었다. 기본적으로 (a)Strict FFR, (b)soft FFR, (c)FFR-3 제도들이 있다. 각 방법들은 대문자가 매크로 유저가 사원하는 자원이고 소문자가 스몰셀 유저가 사용하는 자원이다[29].



[그림 2-16] FFR재사용 방법 종류

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. 전력제어

전파는 일반적으로 거리에 따른 감쇠, 채널상의 장애물로 인한 섀도잉, 반사로 인한 다중경로, 이동국 속도에 따른 전파감쇠 및 같은 주파수 대역을 사용하는 사용자들의 전파로 인한 간섭등의 현상등으로 약해진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기지국에서 수신되는 각각의 이동단말의 수신전력이 동일하도록 이동단말의 송신 전력을 조절해야한다. 따라서 기지국과 가까운 단말에게는 낮은 송신전력으로, 먼 곳에 있는 단말에게는 큰 전력으로 송신하게하여 기지국에서의 수신전력이 일정하도록 하는 것을 말한다. 전력제어의 목적으로 기지국 통화용량의 최대화와 이동단말 배터리 수명연장 및 사용자간 품질 공평성 보장등이 있다. 다른 의미로 셀 운영에 소모되는 에너지를 절약하고 불필요한 간섭을 없애기 위해 스몰 셀 ON/OFF상태 도입기술이 있다, 기지국과 연결된 단말이 셀 내에 존재하지 않는 경우에 스몰셀을 OFF시켜 에너지를 절약한다[30].

Collection @ chosun

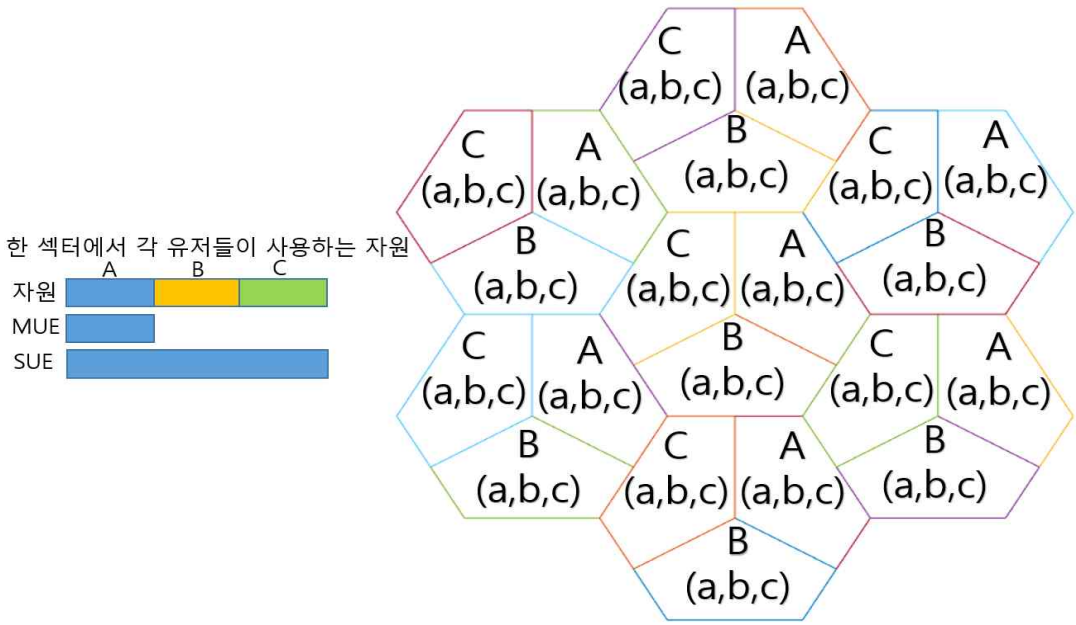
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 제안하는 자원 할당 방법

A. 자원 할당 방법

각각의 매크로셀과 스몰셀 유저가 사용하는 자원은 각각 대문자와 소문자로 표기하였다. 또한 전체 시스템의 안테나는 지향성 안테나를 사용하였다.

1. FRF1(Frequency Reuse Factor1)



[그림 3-1] FRF1에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법

먼저 FRF1인 경우 매크로 유저들은 3-섹터환경으로 전체 자원의 1/3인 A를 사용하게 되며, 스몰셀들은 재사용 인자 1인 전체 자원을 사용하게 된다. 기존의 매크로 셀이 사용하는 자원과 겹치는 부분이 존재해 섹터 내에서 각각 MUE유저와 SUE유저들에게 간섭을 초래하게 되어 성능이 좋지 않다.

FRF1 자원할당 방법의 예는 다음과 같다. 자원의 양을 BW로 나타내고 전체 폭을 1로 나타내었다. 그리고 한 섹터에 MUE유저는 30명이 있을 때와 스몰셀 내에 SUE가 한명 있다고 가정하였다.

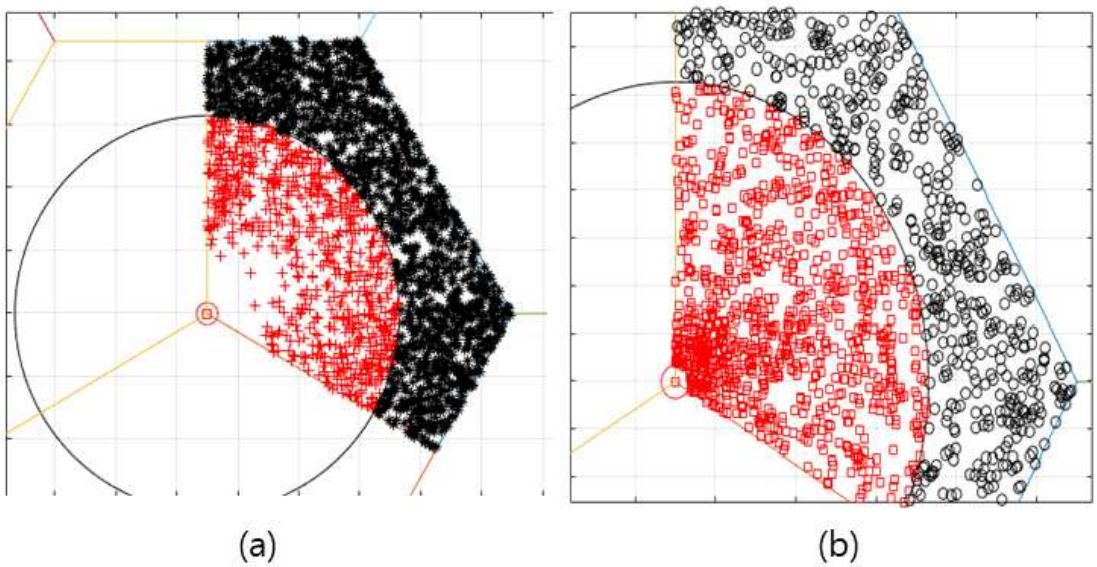
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-1] FRF1 자원할당방법 예

BW = 1	MUE(30UEs per sector)	SUE
Sector	$(\frac{BW}{3} \times \frac{1}{30}) = \frac{1}{90}$	$BW = 1$

MUE는 전체 자원의 1/3을 각 유저 한명 당 1/90로 사용한다. 스몰셀은 전체 자원을 사용하므로 SUE는 자원 전체를 서비스 받는다.



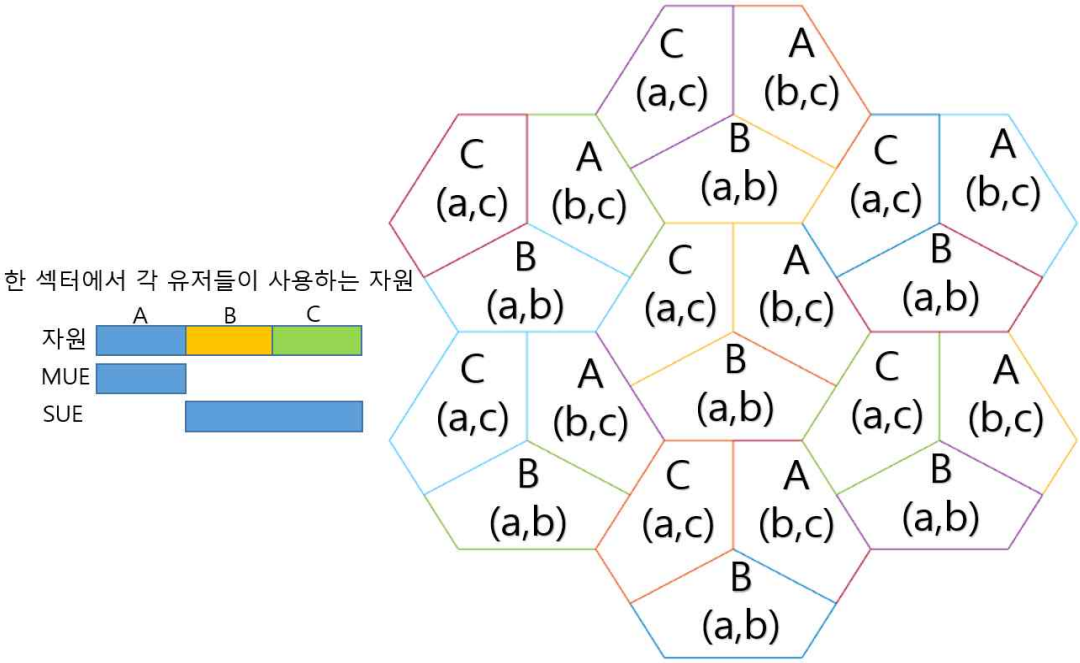
[그림 3-2] FRF1에서 MUE와 SUE에 대한 Outage 좌표 예

서비스를 못 받는 유저 즉 Outage의 분포를 보기 위해 각 시뮬레이션을 100번 돌려 나온 좌표를 가지고 그려보았다. FRF1은 각각 매크로 유저에게 주위 스몰셀들이, 스몰셀 유저에게 매크로 기지국들이 간섭을 심하게 주어 (a) 매크로 유저는 주위에 스몰셀들이 많으면 간섭을 많이 받으며, 거리가 기지국으로부터 멀어질수록 수신 신호가 약해져 간섭의 영향을 더 많이 받는다. (b) 스몰셀 유저들은 같은 자원을을 쓰는 매크로 기지국으로부터 간섭을 심하게 받는다. 따라서 섹터 전반적으로 간섭을 많이 받는 유저들이 많으며, 매크로 기지국 근처에 있는 Outage 스몰셀 유저들이 상대적으로 더 몰려있는 것을 알 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. FRF3(Frequency Reuse Factor1)



[그림 3-3] FRF3에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법

FRF3인 경우 매크로 유저가 사용하는 자원은 FRF1과 동일하며, 스몰셀이 매크로셀 유저에 주는 간섭을 해결하기 위해, 재사용 인자를 3으로 하여 섹터별로 자원을 매크로셀이 사용하지 않는 나머지 부분을 스몰셀이 사용하도록 한다. FRF1에 비해 간섭은 서로 다른 자원을 사용하게 되어 많이 해결되었지만, 스몰셀 유저의 자원 사용은 FRF1보다 감소한다.

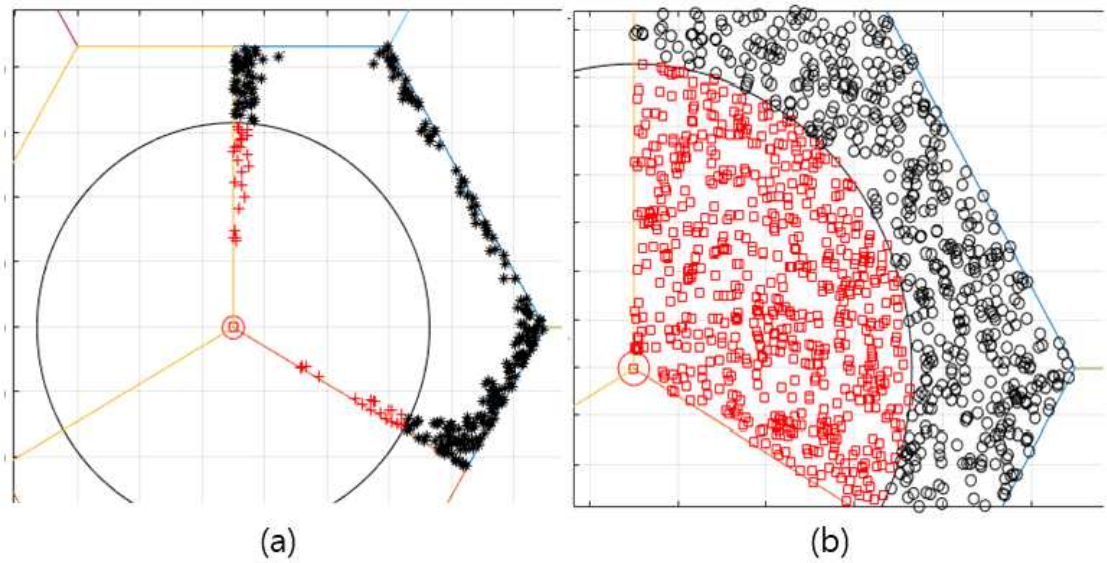
FRF3 자원할당 방법의 예는 다음과 같다. 마찬가지로 전체 자원 BW를 1로 본다면 한 섹터 내 매크로셀 유저 한명은 FRF1와 동일하게 1/90을 사용하고, 스몰셀 유저들은 매크로셀 유저가 사용하는 자원은 사용하지 않으므로, 전체 자원의 2/3를 사용한다.

[표 3-2] FRF3 자원할당방법 예

BW = 1	MUE(30UEs per sector)	SUE
Sector	$(\frac{BW}{3} \times \frac{1}{30}) = \frac{1}{90}$	$\frac{(2 \times BW)}{3} = \frac{2}{3}$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



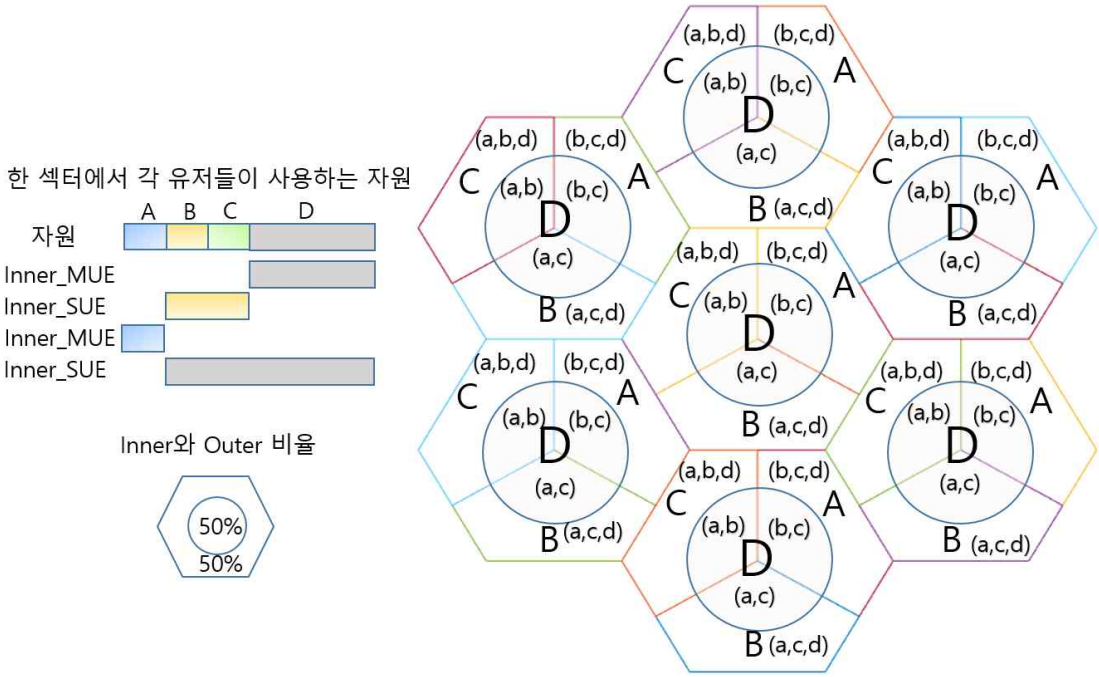
[그림 3-4] FRF3에서 MUE와 SUE에 대한 Outage 좌표 예

FRF3는 (a) 매크로 유저는 스몰셀과 다른 자원을 사용하므로, 전반적인 간섭을 덜 받지만 거리가 기지국으로부터 멀어질수록 수신전력이 약해져 다른 섹터와 셀내에 있는 같은 자원을 사용하는 스몰셀에게 영향을 받으므로, 섹터 가장자리 부근에 간섭을 많이 받은 Outage 유저들이 생긴다. (b) 스몰셀 유저는 매크로 기지국근처에 같은 자원을 사용하지 않으므로 기지국 근처에 뭉쳐있는 현상은 없지만 다른 매크로셀 기지국으로부터 간섭을 받아 셀 전반적으로 나타난다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. FFR(Fractional Frequency Reuse)



[그림 3-5] FFR에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법

FFR은 서로 다른 자원 할당 방법을 결합하여 전체 시스템의 자원 이용 효율을 높이는 기술로, 기지국과 가까이 있을 경우 FRF1로, 가장자리에 있을 경우 FRF3으로 하여 서비스를 제공한다. 이는 전파의 세기가 거리에 따라 달라지는데, 기지국으로부터 멀수록 약해지므로 일정거리 떨어진 곳에 상호 간섭이 적으므로 동일한 주파수 채널 사용이 가능하다. 이렇게 하나의 자원을 동시에 여러 지역에서 사용하므로 가입자 용량을 크게 증가시킨다. 최적의 성능을 위하여 Inner지역과 Outer지역의 반경을 전체 셀 반경의 63%로 설정하고 Outer 지역의 재사용 인자를 3으로 하였다. 균일한 주파수 재사용보다 3섹터를 사용하는 것이 시스템 용량을 향상시키지만 3섹터이상의 섹터구분은 큰 영향을 미치지 못한다[31][32]. 자원분배는 전체 자원을 네 부분으로 나누어, 하나는 셀 경계 안쪽부분에서 사용하는 자원을 전체의 1/2인 D를 사용하고, 나머지 셀 경계 바깥쪽 부분에서 나머지 부분을 3등분하여 전체 자원의 1/6인 A,B,C를 사용한다. 스몰셀 유저들은 셀 경계 안쪽 부분에서는 매크로 유저가 사용하는 대역을 뺀 나머지 중 B,C를 사용 하도록 하고, 경계 바깥쪽에서는 중심 대역인 D까지 사용하여 스몰셀 유저의 자원사용량을 증가시킨다.

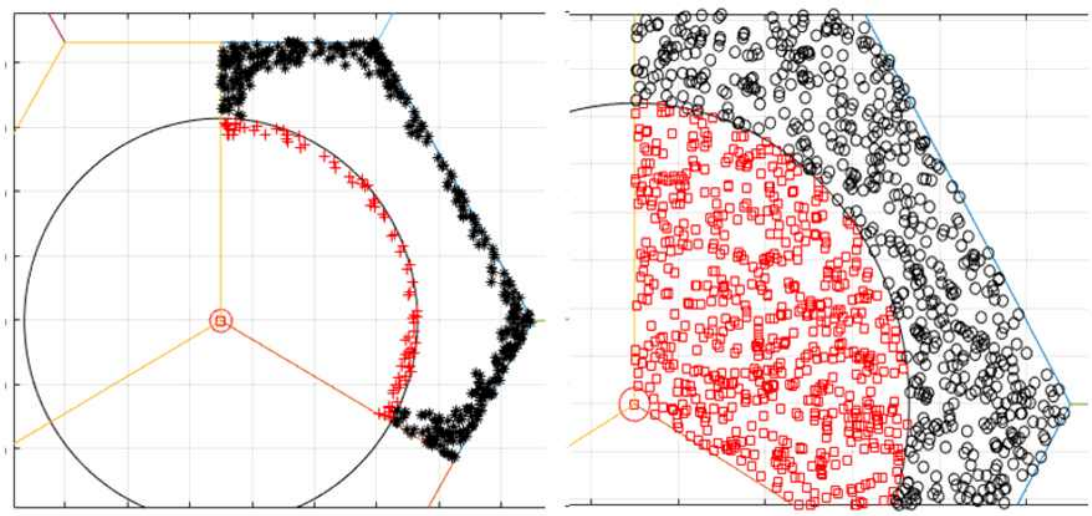
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

FRF3 자원할당 방법의 예는 다음과 같다. Inner와 Outer부분의 반경을 63%으로 했을 때 하나의 셀에서 Inner와 Outer가 차지하는 면적이 약 50%가 된다. 따라서 전체 유저는 Inner와 Outer에 50%씩 뿌려져있다고 가정하였다. 각각 MUE는 전체 자원의 1/2인 D를 사용하므로 유저 한명당의 자원은 전체 유저 중 15명이 Inner 지역에 있으므로, 1/30을 사용하게 된다. Outer지역은 전체 자원의 1/6인 A를 사용하므로 마찬가지로 유저 한명 당 사용하는 자원은 1/90을 사용하게 된다. 그리고 Inner지역의 스몰셀 유저들은 매크로 유저와 다른 자원을 사용하도록 하여 b,c인 2/6를 사용하며, Outer지역의 유저들은 Inner 자원의 d를 추가로 사용하게 되어 5/6를 사용하게 된다.

[표 3-3] FFR 자원할당방법 예

BW = 1	MUE(30UEs per sector)	SUE
Inner	$\frac{BW}{2} \times \frac{1}{15} = \frac{1}{30}$	$\frac{2 \times BW}{6} = \frac{2}{6}$
Outer	$\frac{BW}{6} \times \frac{1}{15} = \frac{1}{90}$	$\frac{(5 \times BW)}{6} = \frac{5}{6}$



(a) (b)

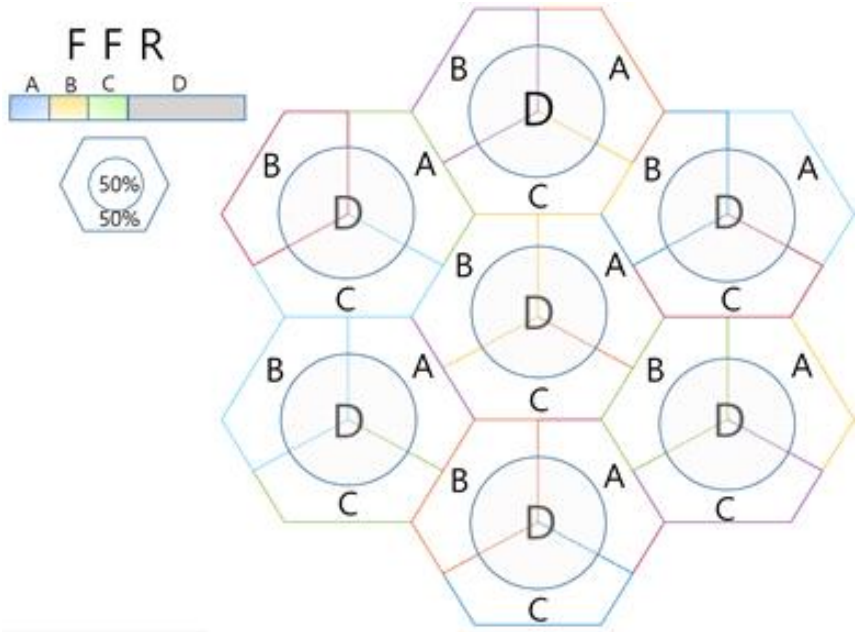
[그림 3-6] FRF3에서 MUE와 SUE에 대한 Outage 좌표 예

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

FFR에서 (a) Inner 지역의 매크로 유저 중 섹터 경계지역내 가장자리의 유저들은 경계지역 밖에 있는 같은 자원을 사용하는 스몰셀들로부터 간섭을 받으며, Outer 지역에 있는 매크로 유저는 다른 셀 내 스몰셀 들에 의해 간섭을 받는다. (b) 스몰셀 유저들이 받는 간섭 그림은 FRF3와 비슷하며, Inner 지역의 스몰셀 유저들은 다른 매크로 기지국으로부터 간섭을 받으므로 Outage가 생기며, Outer 지역의 스몰셀 유저들은 FRF3와 동일한 자원을 사용하면서 추가적으로 D를 사용하므로, 이웃하는 기지국으로부터 오는 간섭과 추가적으로 중심셀 기지국으로부터 오는 간섭이 추가된다.

기본적인 시스템의 성능을 나타내는 척도로써 신호 대 간섭 잡음비 SINR(signal-to-interference/noise-ratio)은 다음과 같이 계산한다.



[그림 3-7] FFR에서 스몰셀이 없는 경우

먼저 매크로셀에 매크로 유저들이 사용할 자원이 할당된다. 스몰 셀이 없는 매크로 유저의 신호 대 잡음비인 SINR은 다음과 같다.

$$SINR_{m,k} = \frac{P_{M,k}\, G_{m,M,k}}{N_0 + \sum_{M'} P_{M',k} G_{m,M',k}} \tag{3-1}$$

$P_{M,k}$와 $P_{M,k'}$은 각각 서비스하는 매크로셀 M과 이웃 매크로셀 M'로부터 자원 k를 사

Collection @ chosun

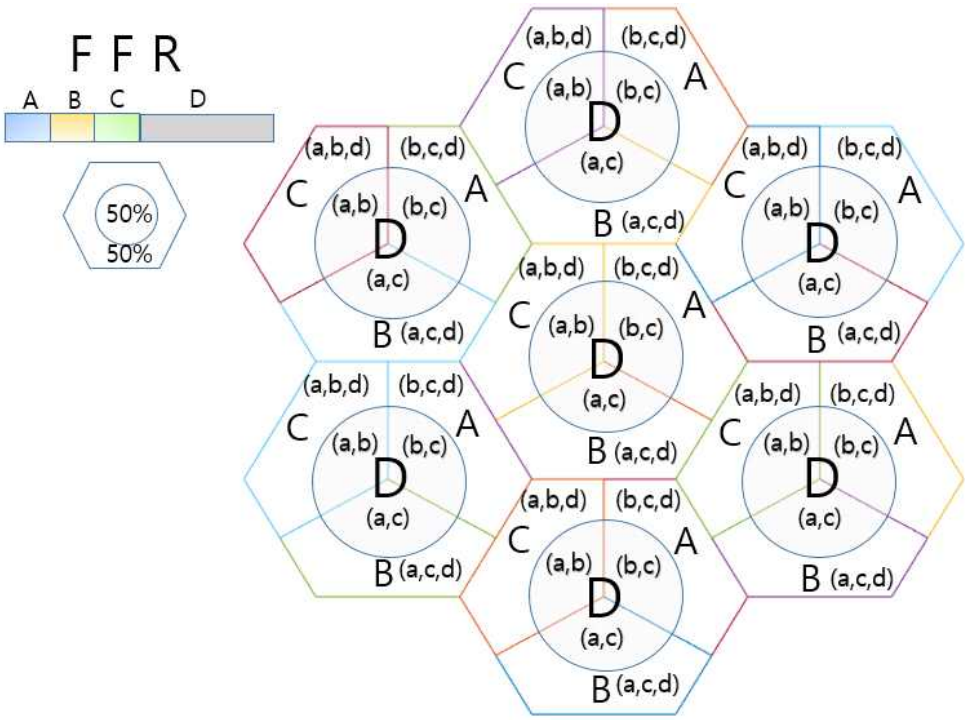
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

용하는 전송 전력이다.

$G_{m,M,k}$와 $G_{m,M',k}$는 각각 매크로 유저 m과 서비스하는 매크로셀 서비스하는 매크로셀 M과 이웃 매크로셀 M'로부터 자원 k를 사용하는 채널이득이다. N_0는 백색잡음이다. 할당된 자원과 SINR로부터 획득 가능한 용량 식은 섀논의 법칙으로 다음과 같다.

$$C_{m,k} = BW \cdot \log_2(1 + SINR_{m,k}) \tag{3-2}$$

$C_{m,k}$는 자원 k가 할당된 매크로 유저 m에 대한 채널용량이다. BW는 자원의 총 양이다. 지금까지는 스몰셀이 없는 동종 통신망에서의 SINR과 용량을 계산하였다. 하지만 실제로는 HetNet환경인 이기종 통신망에서의 간섭을 계산하여야 한다.



[그림 3-8] FFR에서 스몰셀이 있는 경우

매크로셀이 있는 환경에 스몰셀들이 배치되었을 때, 스몰셀들로부터 오는 간섭으로 매크로 유저의 SINR은 감소하게 된다. 스몰셀로부터 오는 간섭을 고려하여 SINR을 구하면 다음과 같다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

$$SINR_{m,k} = \frac{P_{M,k}\, G_{m,M,k}}{N_0 + \sum_{M'} P_{M',k} G_{m,M',k} + \sum_{S} P_{S,k} G_{m,S,k}} \tag{3-3}$$

여기서 $P_{S,k}$와 $G_{m,S,k}$는 각각 k를 사용할 때에 스 몰셀로부터 오는 전송전력과 매크로 유저 m과 유저 근처 k를 사용하는 스몰셀들로부터의 채널이득이다.

마찬가지로 스몰셀 유저들도 매크로기지국으로부터 간섭을 받는다. 스몰셀 유저 s가 자원 k를 사용할때의 간섭은 다음과 같다.

$$SINR_{s,k} = \frac{P_{S,k}\, G_{s,S,k}}{N_0 + \sum_{S'} P_{S',k} G_{s,S',k} + \sum_{M'} P_{M',k} G_{s,M',k}} \tag{3-4}$$

여기서 채널이득 G는 경로손실과 안테나이득 그리고 섀도우페이딩을 포함한 값이다. 이렇게 계산되어진 SINR로부터 자원 k를 사용하는 각 매크로유저와 스몰셀 유저의 샤논의 채널용량식으로 구한다

$$C_{m,k} = BW \cdot \log_2(1 + SINR_{m,k}) \tag{3-5}$$

$$C_{s,k} = BW \cdot \log_2(1 + SINR_{s,k}) \tag{3-6}$$

각각의 $C_{m,k}$과 $C_{s,k}$은 자원 k를 사용하는 각각 매크로와 스몰셀 유저들의 채널용량이다. BW는 자원 폭이다.

서비스하는 매크로 기지국 M과 스몰셀S의 용량은 다음과 같이 계산되어진다.

$$T_M = \sum_m \sum_k I_{m,k}\, C_{m,k}, \quad T_S = \sum_s \sum_k I_{s,k}\, C_{s,k} \tag{3-7}$$

$I_{m,k}$는 자원 k가 매크로 유저 m에 할당되었는지 나타내는 지시자이다

$I_{m,k}$=1 이면 자원 k가 할당되고, 0이면 할당되지 않는다.

전체 시스템의 채널용량은 $T_M + T_S$로 구해진다.

Collection @ chosun

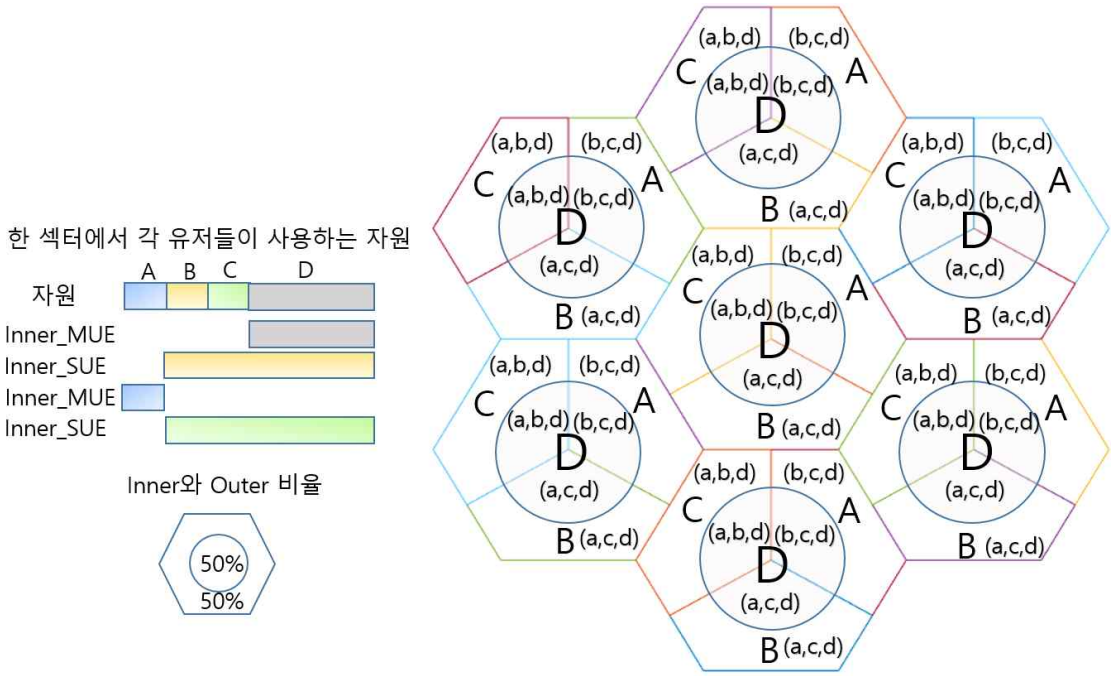
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 제안하는 방법

앞에서 기존의 주파수 재사용 방식으로 Conventional한 방식인 FRF1, FRF3, 기존의 FFR을 기반으로 하는 방식에 대해 살펴보았다. 앞에서 방식들을 보면 FFR 기반으로 하는 방식이 다른 방식들에 비해 시스템 성능을 높이는데 더 좋은 방법인 것을 알 수 있다. FFR방식은 매크로 셀과 스몰 셀들 간의 간섭을 어느 정도 해결하고, 스몰셀들간의 간섭제어도 어느 정도 해결하였지만, 여전히 셀 성능 저하가 발생한다. 이를 해결하기 위한 방법으로 본 논문은 스몰셀 동적 자원할당 방법(SDCA: Small-cell Dynamic Channel Allocation)과 혼합형 동적 자원할당 방법(HDCA:Hybrid and Dynamic Channel Allocation)을 제안한다.

1. SDCA(Small-cell Dynamic Channel Allocation)

자원 할당 방법은 다음 그림과 같다.



[그림 3-9] SDCA에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

기존 FFR를 확장시킨 것으로, SDCA 자원 사용은 Inner 지역의 매크로셀 유저는 전체 자원의 1/2인 D를 사용하며, Outer 지역의 매크로셀 유저는 전체 자원의 1/6인 A를 사용하는 것은 기존 FFR과 동일하다. Inner 지역의 스몰셀 유저와 Outer 지역의 스몰셀 유저는 FFR Outer와 동일한 자원을 사용하게 된다. 실제로 셀 Inner 지역에서 스몰셀 유저들이 자원 D를 사용하게 되면 안쪽에 있는 매크로 유저들이 심하게 간섭을 받아 성능이 저하된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 셀 Inner 지역의 매크로 유저가 사용하는 자원블록을 주위에 간섭이 심한 스몰셀들로부터 동일한 자원블록을 사용하지 않도록 하여 매크로셀 유저의 성능을 저하를 완화시키고, Inner지역의 스몰셀 유저들의 자원 사용량을 높였다. 또한 기존 FFR에서 셀 Inner 지역의 가장자리에 매크로 유저들이 Outer 지역의 스몰셀로부터 간섭을 받는 것을 SDCA를 통해 해결하였다.

SDCA의 자원할당 방법 예는 다음과 같다. 매크로셀 유저에 대한 방법은 FFR과 동일하게 Inner 지역의 매크로셀 유저들은 전체 자원의 1/2을 사용하므로, 유저 한명당 자원의 1/30을 사용하며, Outer 지역의 매크로셀 유저들은 전체 자원의 1/6을 사용하므로, 유저 한명당 자원의 1/90을 사용하게 된다. Inner 지역와 Outer지역의 스몰셀 유저들은 기본적으로 b,c자원인 2/6를 사용하면서 추가적으로 d자원중에 매크로 유저가 사용하지 않는 나머지 자원블록(α)을 사용하게 된다. 이를 통하여 Inner지역의 스몰셀 유저의 자원 사용량이 기존 FFR인 2/6보다 높은 효율을 보인다.

[표 3-4] SDCA 자원할당방법 예

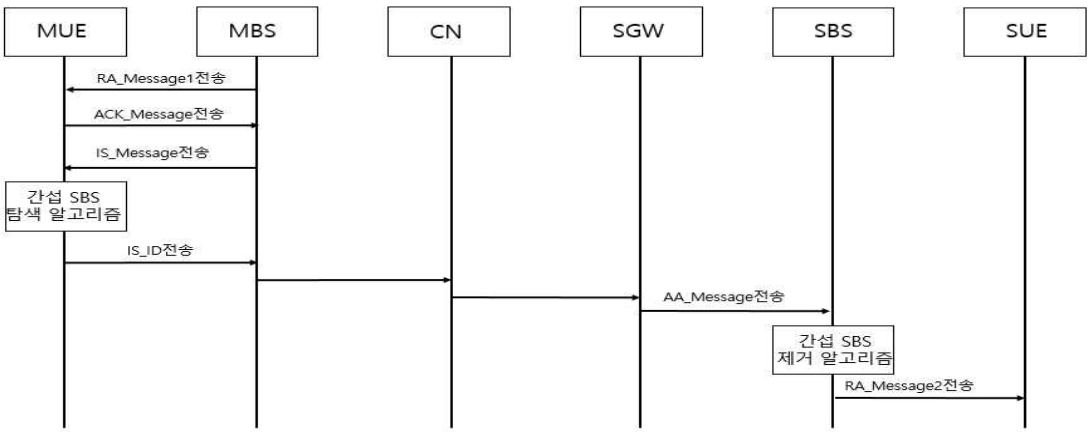
BW = 1	MUE(30UEs per sector)	SUE
Inner	$\frac{BW}{2} \times \frac{1}{15} = \frac{1}{30}$	$\frac{2}{6} \le \frac{2 \times BW}{6} + \alpha \le \frac{5}{6}$
Outer	$\frac{BW}{6} \times \frac{1}{15} = \frac{1}{90}$	$\frac{2}{6} \le \frac{2 \times BW}{6} + \alpha \le \frac{5}{6}$

동적 자원할당 부분에서는 자원그림과 같이 기존 FFR에서와 다른점은 셀 경계지역 내부에 D를 사용하게 되는 스몰셀들과 셀 경계 외부에 D를 사용하는 스몰셀들이 기존 매크로셀이 사용하는 자원 D를 동적으로 사용한다. 이로 인해 중심지역에서 스몰셀들로부터 오는 간섭의 양은 기존 FFR보다 약간 증가하지만 간섭제어를 통해 어느 정도

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

해결하므로, 중심지역의 스몰셀들이 사용하는 자원량이 늘어나게 되어 결과적으로 전체 시스템 처리량은 FFR보다 증가하게 된다. 매크로셀 유저는 주위 강한 스몰셀 간섭이 오면 성능이 떨어지므로 이를 해결해 주어야 한다. 따라서 강한 간섭을 주는 스몰셀들은 매크로셀 유저가 사용하는 동일한 자원블록을 사용하지 않도록 하여 이를 해결하였다. 본 논문에서는 스몰셀 유저에 관한 자원 할당만을 고려한다. 이유는 스몰셀 유저가 자원을 할당 받기 전에 이미 매크로셀 유저들의 자원은 FFR방법에 의해 최적으로 할당한다. 매크로셀 유저들을 위한 최적의 할당이 이루어진 뒤 스몰셀 유저를 위한 자원 할당이 수행된다. 이는 매크로셀 유저들이 스몰셀 유저보다 우선순위가 높으므로 타당하다. 그리고 매크로 기지국은 매크로셀 유저가 어떤 특정한 자원을 사용하는지 알고 있다. 제안하는 SDCA 방법 알고리즘은 다음과 같다.



[그림 3-10] SDCA 방법 알고리즘

- RA_Message1전송: MBS가 각 MUE가 사용할 자원블록을 할당.
- ACK_Message전송: 각 MUE들이 자원을 할당받은 확인 메시지를 MBS에게 전송.
- IS_Message전송: MBS가 각 MUE들의 SINR을 목표값과 비교하게 하여 낮은 MUE들에게 간섭을 주는 SBS를 찾도록 지시.
- 간섭 스몰셀 탐색 알고리즘: 주위에 간섭을 많이 주는 스몰셀들의 고유 ID를 탐색.
- IS_ID전송: 탐색 알고리즘을 통해 얻은 스몰셀들의 ID를 MBS에게 전송.
- AA_Message전송: 각 MUE가 사용중인 자원블록을 SBS가 사용하지 않도록 메시지 전송.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

- 간섭 스몰셀 제거 알고리즘: 주위에 간섭을 많이 주는 SBS가 해당 MUE의 자원블록을 사용하지 않도록 하여 간섭을 완화시키는 작업.
- RA_MessageW전송: MUE가 사용하는 자원블록을 제외한 나머지를 사용하게 SUE에 할당.

[표 3-5] 간섭 SBS 탐색 알고리즘

Algorithm1 : Search Interference of SBSs
Initialize $k=1\cdots K, m=1\cdots M$, $S_{sort}=\varnothing, B_{out}=-10$
for $k=1$ to K do
Calculate SINR of MUEs($SINR_{m,k}$) in Inner
if $SINR_{m,k} \le B_{out}$ then
S_{sort} = SBS_{ID}
end if
end for
do transmits IDs of SBSs information S_{sort}

간섭 SBS탐색 알고리즘을 보면, k는 자원의 수이고, m은 매크로 유저 수, s는 스몰셀들의 수이며, S_{sort}는 간섭있는 스몰셀들의 ID를 정렬해 놓은 집합이다. B_{out}은 Outage Boundary로써 제거될 스몰셀들을 결정하는 경계값이다. 미리 할당된 자원들을 통해 매크로 유저는 SINR을 계산한다. 이후, 매크로 유저의 SINR이 B_{out}값을 넘지 못하면, 간섭탐색 알고리즘을 수행하고 값을 넘으면 수행하지 않는다. 이때 자원 k를 사용하는 주위 스몰셀들을 탐색하여 정렬한 후 S_{sort}를 다음 단계로 전송한다.

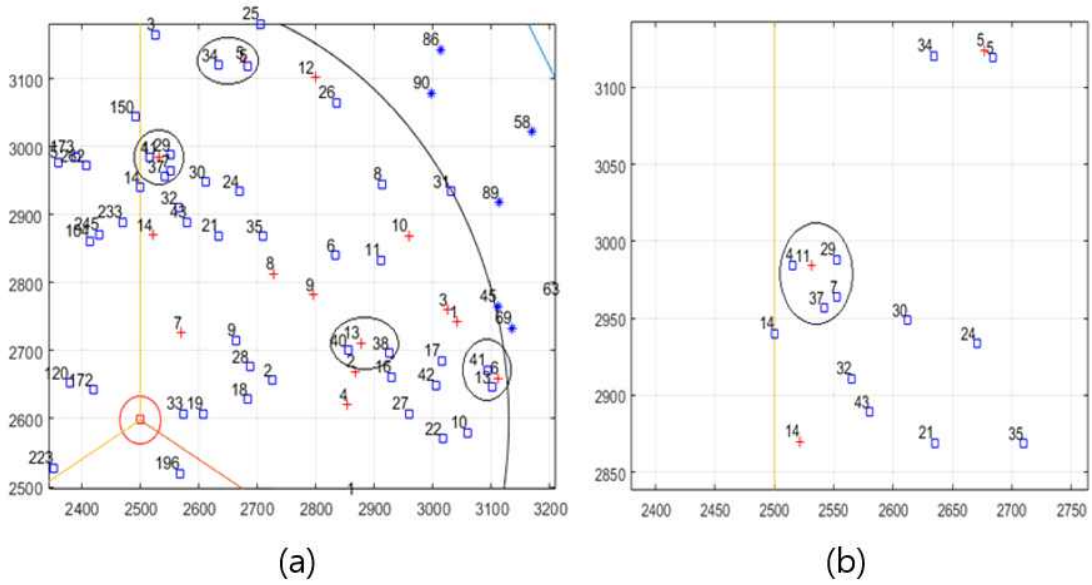
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-6] 간섭 SBS 제거 알고리즘

Algorithm2 : Delete Interference of SBSs
Initialize $k=1 \cdots K, m=1 \cdots M, S_i = S_{1,} \cdots, S_N$
for $k=1$ to K do
for i=1 to N
if SBS_{ID} of S_i in S_{sort} then
Delete kth resource block of S_i
end if
end for
end for
do Allocation resource block to SUEs

이후 자원 k에 대하여 간섭이 강한 스몰셀들의 ID를 받아 간섭 제거 알고리즘을 수행한다. 이를 통해 k자원을 사용하는 스몰셀들 S_i 중 전해 받은 ID에 포함되는 스몰셀들은 자원 k를 사용하지 못하도록 한다. 밑에 그림들은 이 알고리즘을 수행하는 예를 보여준다.



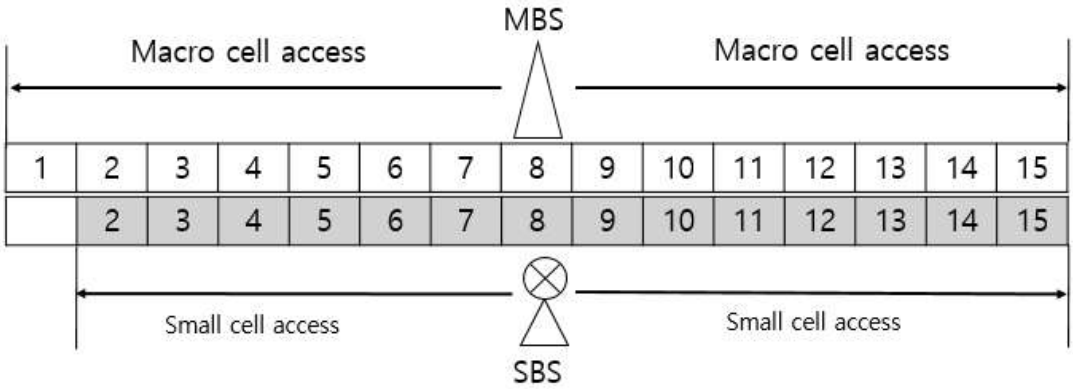
[그림 3-11] 제안하는 SDCA 방법의 알고리즘의 예

예를 들면, 그림(a)에서 나타낸 것처럼 +모양 매크로셀 유저 5,6,11,13 근처의 성능 분석의 결과, 주위에 심각한 간섭을 주는 스몰셀들이 발견되어, 이를 해결하기 위해 매크로 유저가 사용하는 자원 블록을 뺀 나머지 부분을 동적으로 해당 알고리즘을 통

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

해 이를 해결한다.



[그림 3-12] 제안하는 SDCA 방법의 알고리즘의 예2

그림(b)에서 매크로 유저 11번을 보면 주위에 간섭이 심하게 오는 스몰셀이 4개가 존재하는 것을 찾아내었다. 만약 매크로 유저 11번이 주파수 대역의 1번블록을 사용하고 있다면, 나머지 남는 블록부분(2번부터 15번 블록)을 스몰셀들이 사용하도록 하여 간섭을 완화시키도록 한다.

제안한 알고리즘의 성능은 다음과 같이 계산한다.

$$SINR_{m,k} = \frac{P_{M,k}\, G_{m,M,k}}{N_0 + \sum_{M'} P_{M',k} G_{m,M',k} + \sum_{S} P_{S,k} G_{m,S,k}} \tag{3-8}$$

기존 FFR과 식은 같지만 매크로 유저는 중심 지역의 스몰셀들에게도 영향을 받으므로 간섭양은 증가하여 성능은 감소한다. 간섭 원인 중 멀리 떨어진 스몰셀에 의한 간섭은 스몰셀의 전송전력이 낮고 벽 투과 손실이 있기 때문에 무시될 수 있다. 또한 인접 셀의 매크로셀 기지국에 의한 셀간 간섭은 스몰셀을 없는 기존의 시스템에서와 동일하고, 인접한 스몰셀에 의한 간섭에 비해 무시될 수 있다.

매크로 유저의 Outage는 주위 스몰셀들의 간섭이 크거나 열화잡음이 클 때 발생하므로 이를 해결하는 방법으로 혼합형 동적 주파수 자원할당방법을 제안하였다.

스몰셀 유저는 두부분으로 나누어 계산한다.

$$SINR_{s,(b,c)} = \frac{P_{S,(b,c)}\, G_{s,S,(b,c)}}{N_0 + \sum_{M'} P_{M',(b,c)} G_{s,M',(b,c)} + \sum_{S'} P_{S',(b,c)} G_{s,S',(b,c)}} \tag{3-9}$$

$$SINR_{s,(d)} = \frac{P_{S,(d)}\, G_{s,S,(d)}}{N_0 + \sum_{M'} P_{M',(d)} G_{s,M',(d)} + \sum_{S'} P_{S',(d)} G_{s,S',(d)}} \tag{3-10}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이렇게 두 부분으로 나누어 계산한 후, 각각의 Capacity를 구해 더하여 스몰셀 유저의 Capacity를 구한다.

$$C_{s,(b,c)} = BW \cdot \log_2(1 + SINR_{s,(b,c)}),\ \ C_{s,(d)} = BW \cdot \log_2(1 + SINR_{s,(d)}) \qquad (3\text{-}11)$$

$$C_{s,(b,c,d)} = C_{s,(b,c)} + C_{s,(d)} \qquad (3\text{-}12)$$

각각의 $C_{s,(b,c)}$과 $C_{s,(d)}$은 자원 k중 b,c와 d를 사용하는 각각 스몰셀 유저들의 채널용량이다. $C_{s,(b,c,d)}$는 자원 k중 b,c,d를 사용하는 스몰셀 유저들의 채널용량 합 이다.

서비스하는 매크로 기지국 M과 스몰셀S의 용량은 다음과 같이 계산되어진다.

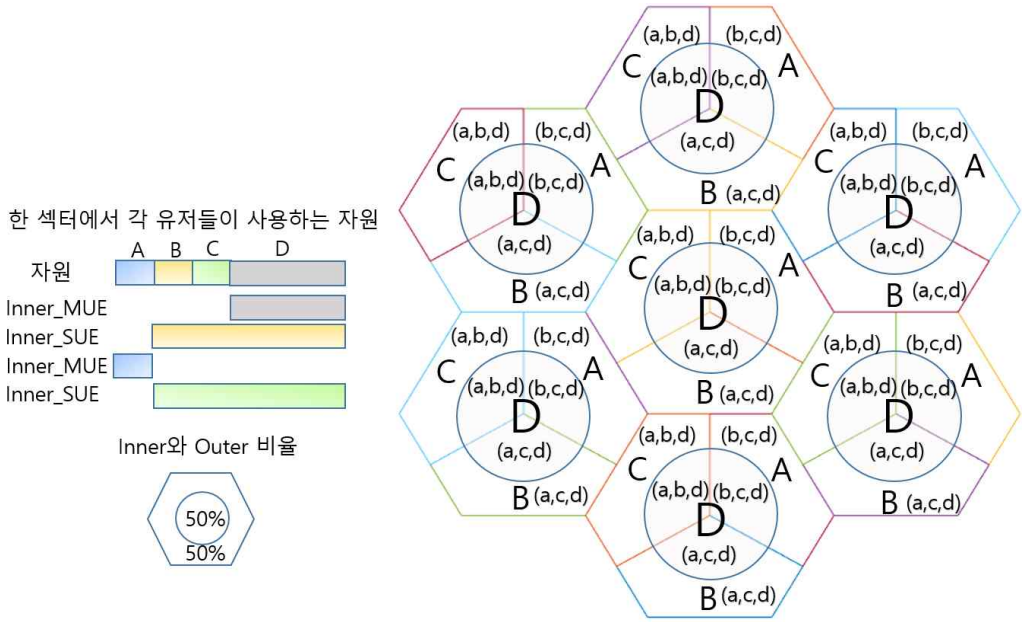
$$T_M = \sum_m \sum_k I_{m,k} C_{m,k},\ \ T_S = \sum_s \sum_k I_{s,k} C_{s,(b,c,d)} \qquad (3\text{-}13)$$

전체 시스템의 채널용량은 $T_M + T_S$로 구해진다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. HDCA(Hybrid and Dynamic Channel Allocation)



[그림 3-13] HDCA에서 MUE와 SUE에 대한 자원 할당 방법

HDCA의 자원 할당방법은 기존의 SDCA와 동일하다. 유저의 SINR을 높이려면, 다른 셀로부터의 간섭을 줄이는 방법과 수신전력의 세기를 강하게 하는 것이 있다. 본 논문은 각 매크로 유저들에게 수신전력을 높이기 위하여 안테나 종류를 두 개를 사용하도록 하였다. 앞에 방법들에서는 NBTC를 사용하는데, WBTC가 NBTC보다 신호의 세기는 약하지만 넓게 퍼지는 특성이 존재하므로, 두 개를 혼합하여 더 성능이 좋은 신호세기를 받도록 하였다. 따라서 셀 안쪽지역에는 NBTC전력으로 사용하게 하였고, 셀 경계 바깥쪽부근은 WBTC전력으로 사용하도록 하였다. 본 논문에서는 안테나에서 나오는 방향 중 뒤로 오는 방향은 고려하지 않는다. 안테나 이득부분에서는 NBTC안테나와 WBTC안테나를 사용하였다. 안테나 패턴은 다음과 같이 표현한다[33].

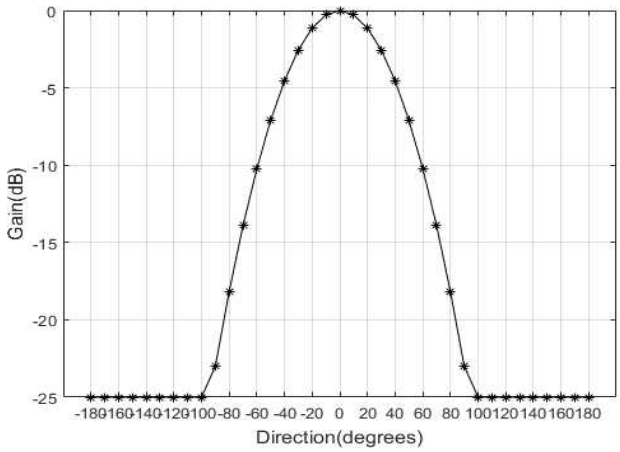
$$A(\theta)dB = -\min[12(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}), A_m], (-\pi < \theta < \pi) \quad (3\text{-}14)$$

3-섹터 환경에서 $A(\theta)$는 안테나 패턴으로 인한 이득으로, θ는 단말과 섹터 안테나가 이루는 각도이다. θ_{3dB}는 최대 안테나 이득에 비해 3dB 감소된 이득을 얻는 각도이며, A_m는 최소 이득으로 25dB를 사용한다.

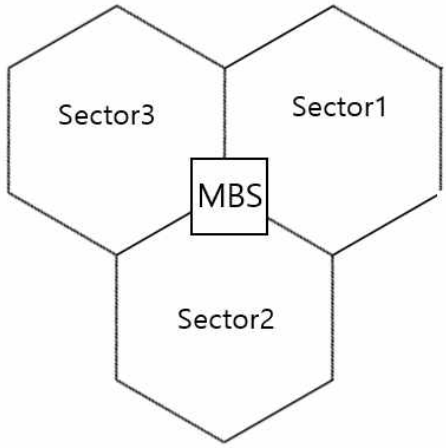
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

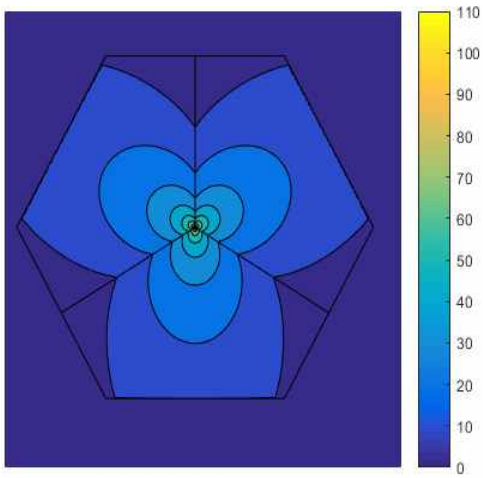
NBTC(Narrow-Beam Trisector Cell)의 구조는 전파의 방사 패턴이 좁은 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$의 방향성 안테나 3개로 하나의 기지국을 서비스한다. 하나의 기지국에서 세 개의 육각형 모양을 이룬다. 위의 (1)을 이용해 NBTC의 안테나 이득을 그린 그림[3-14]을 보면 좁은형태의 빔형태를 이루는 것을 알 수 있다[34].



[그림3-14] NBTC 안테나 이득



[그림3-15] NBTC 안테나 빔형태

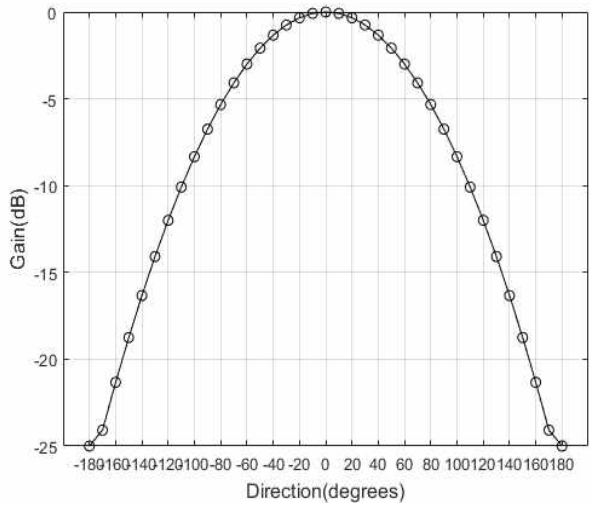


[그림 3-16] NBTC 안테나 패턴

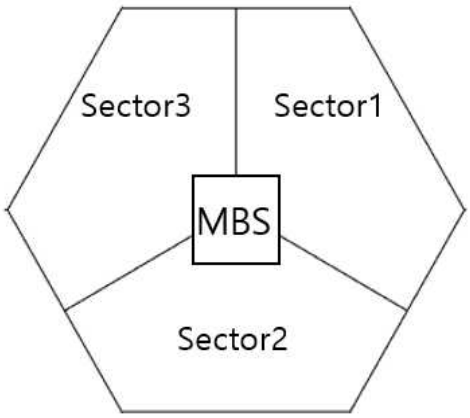
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

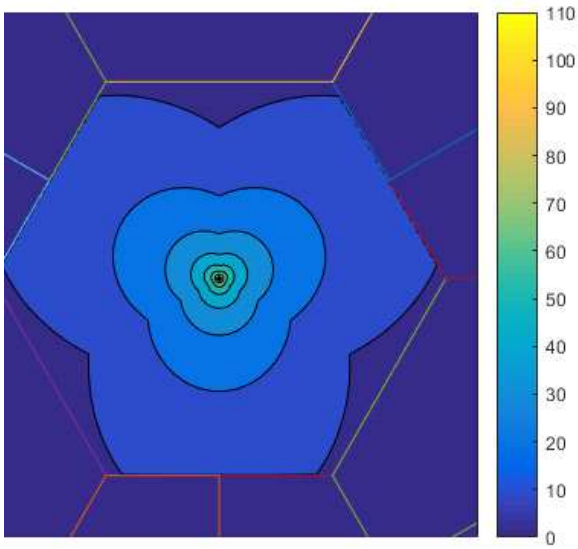
WBTC(Wide-Beam Trisector Cell)의 구조는 전파의 방사 패턴이 넓은 $100^{\circ} \sim 120^{\circ}$의 지향성 안테나 3개로 하나의 기지국을 서비스한다. 위의 (1)을 이용해 WBTC의 안테나 이득을 그린 그림[3-16]을 보면 넓은형태의 빔형태를 이루는 것을 알 수 있다[35].



[그림3-17] WBTC 안테나 이득



[그림3-18] WBTC 안테나 빔형태



[그림 3-19] WBTC 안테나 패턴

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[표 3-7] NBTC와 WBTC 사이에 안테나 선택

Algorithm3 : Antenna selection between the NBTC and WBTC
Initialize $k=1\cdots K, m=1\cdots M, A_{m,N}=0, A_{m,W}=0$
Allocation K for MUEs
for m=1 to M do
Calculate SINR of MUEs($SINR_{m,k}^{NBTC}$ and $SIRN_{m,k}^{WBTC}$)
if $SINR_{m,k}^{NBTC} \le SINR_{m,k}^{WBTC}$ then
$A_{m,W}=1$
Update $SINR_{m,k}=SINR_{m,k}^{WBTC}$
else
$A_{m,N}=1$
Update $SINR_{m,k}=SINR_{m,k}^{NBTC}$
end if
end for
do selection Antenna NBTC or WBTC

여기서 k는 자원 블록, m은 매크로유저의 수로 정의한다.

$A_{m,N}$,$A_{m,W}$은 매크로 유저가 각각 NBTC와 WBTC중 어느쪽 서비스를 받는지 나타내는 지시자이다. 1이면 그 해당 안테나로부터 수신서비스를 받는다. 0이면 해당 안테나로부터 수신 서비스를 받지 않는다.

$SINR_{m,k}$는 매크로 유저 m이 부반송파 k를 사용할때의 SINR

$SINR_{m,k}^{NBTC}$는 매크로 유저 m이 부반송파 k를 사용할때 NBTC 안테나로부터의 SINR

$SINR_{m,k}^{WBTC}$는 매크로 유저 m이 부반송파 k를 사용할때 WBTC 안테나로부터의 SINR

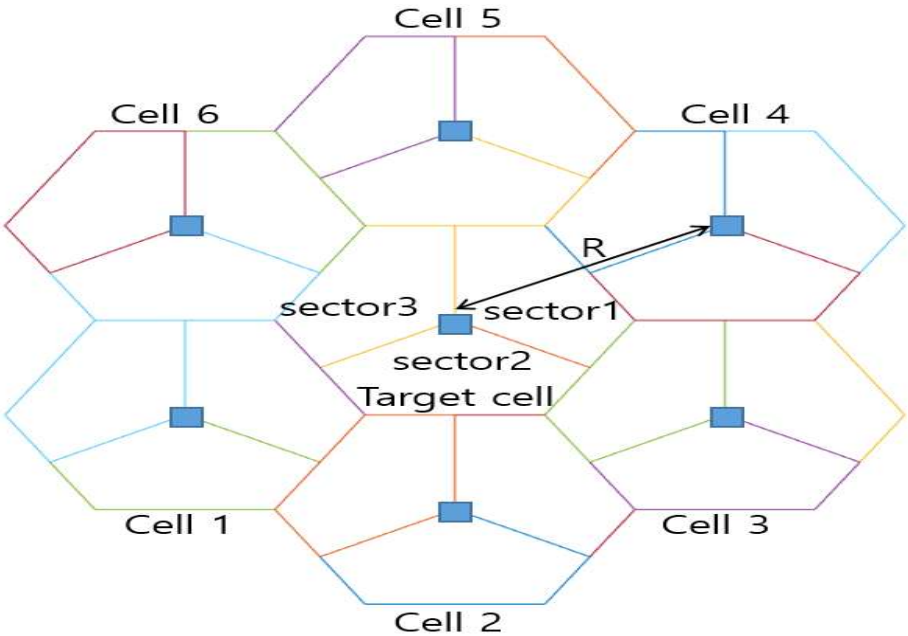
이 두 개의 안테나를 사용하여 매크로 유저들은 두 안테나를 사용할 때의 SINR을 비교하여 자신에게 수신신호가 큰 안테나로 수신 받는다. 대체로 안테나의 빔방향 중심쪽은 NBTC쪽으로 붙게되며, 바깥쪽으로 퍼질수록 WBTC에 붙어 수신신호를 받는다. 이를 통해 매크로 유저들의 수신 전력을 향상시켰다. 이후 동적 자원할당 방법은 SDCA의 알고리즘을 이용한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. 시뮬레이션 결과

A. 시뮬레이션 환경

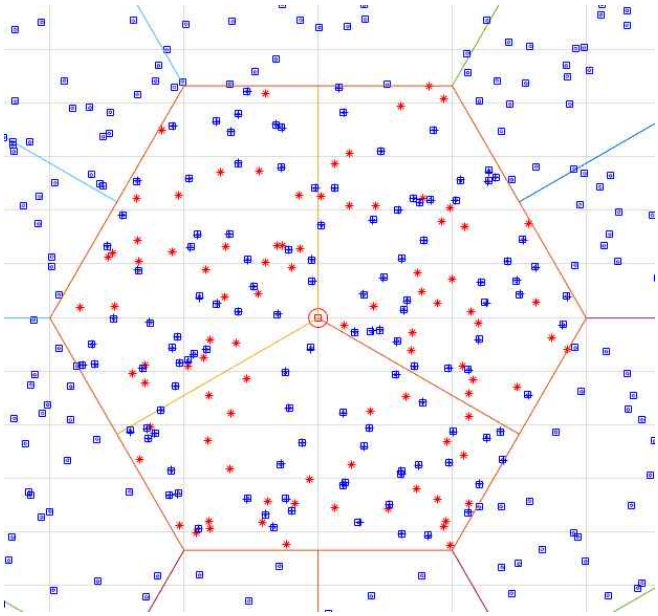


[그림 4-1] 시스템 모델

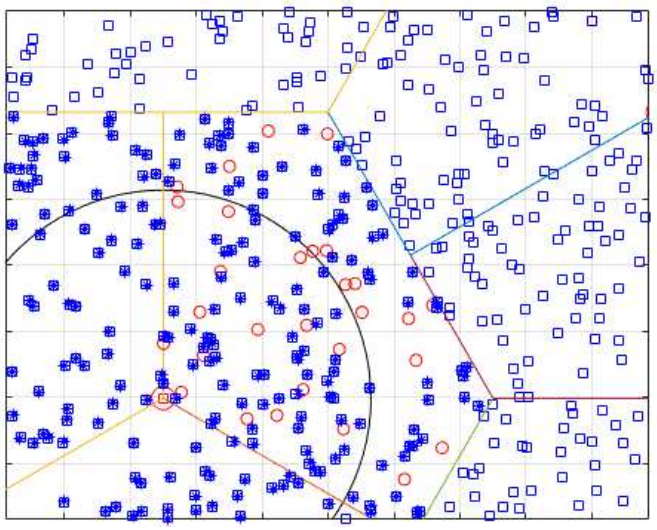
시스템 모델은 중심셀 주위에 6개 이웃하는 셀이 있는 환경에서 매크로 기지국과 스몰셀 기지국이 함께 있는 환경을 실험하였다. 매크로셀과 스몰셀이 공존하는 시나리오 2번을 사용하여 실외환경의 기지국과 이웃 기지국 사이의 거리 R은 1732m인 Suburban환경에서 성능을 분석하였다. 하나의 셀은 정육각형모양에 3-섹터로 구성하였고 중앙에 기지국이 존재한다. 매크로셀 유저들은 셀 내에서 랜덤하게 분포하였으며, 스몰셀 기지국내에 들어가지 않도록 가정하였다. 스몰셀들은 매크로 유저에 겹치지 않도록 하였다. 스몰셀 내 유저들은 중심 셀 내 스몰셀당 하나의 유저만 존재하는 형태로 분석하였다. 또한 모든 방법들은 NBTC안테나인 지향성 안테나를 사용하였고, 뒤로 나오는 간섭은 존재하지 않는다고 가정하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 4-2] FRF1과 FRF3 시스템 배치 예



[그림 4-3] FFR과 SDCA,HDCA 시스템 배치 예

시스템 배치를 보면 그림4-2에서는 FRF1과 FRF3 시스템 배치이다 별표가 매크로셀 유저이며, 사각형이 스몰셀이고 그안에 십자표시들이 스몰셀 유저이다. 스몰셀 유저는 중심셀에서만 표시하였다. 그림4-3에서는 FFR과 SDCA 그리고 HDCA 시스템 배치이다. 마찬가지로 동그라미가 매크로셀 유저이며, 사각형의 스몰셀과 그안에 십자표시가 스몰셀 유저이다. 또한 Inner와 Outer을 나누는 선을 두었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다음 표 4-1은 시스템 파라미터를 나타낸다.

[표 4-1] 시스템 파라미터

	Macro Cell	Small Cell
Cellular Layout	3 sectors, reuse1	omni
Inter Cell Distance	1732m	5m(Radius)
Total BS Tx Power	FFR : 15W, 22W [36] w/o FFR : 20W [36]	20mW
Number of UEs	30UEs(per sector)	30-150UEs(per sector)
Channel Model	Suburban	
Bandwidth	10MHz	
Carrier Frequency	2.0GHz	
Pathloss[dB] [37]	MBS -> MUE : $15.3+37.6\log_{10}D$ MBS -> SUE : $15.3+37.6\log_{10}D+L_w$ SBS -> serving SUE : $38.46+20\log_{10}D$ SBS -> other SUE : $\max(15.3+37.6\log_{10}D,$ $38.46+20\log_{10}D)+2*L_w$ SBS -> MUE : $\max(15.3+37.6\log_{10}D,\ 38.46+20\log_{10}D)+L_w$ D in m, L_w = 10dB	
Minimum Distance	Small cell-Small cell : 10m	
	SBS-SUE : 0.2m	
	MBS-MUE: 35m	
Shadow Fading	8dB	4dB
BS antenna gain	NBTC: 15dBi [38] WBTC: 13.45dBi [38]	0dBi

FFR이 MUE에게 적용된 SDCA와 HDCA는 전체 대역의 1/2을 중심지역에서 사용하며, 나머지를 가장자리 지역에서 3등분하여 1/6 사용한다. 그리고 각 섹터에서 매크로셀 기지국은 중심지역에서 15W, 가장자리에서 22W를 사용하며, FFR이 적용되지 않는 FRF1,FRF3의 매크로기지국은 20W를 사용한다.

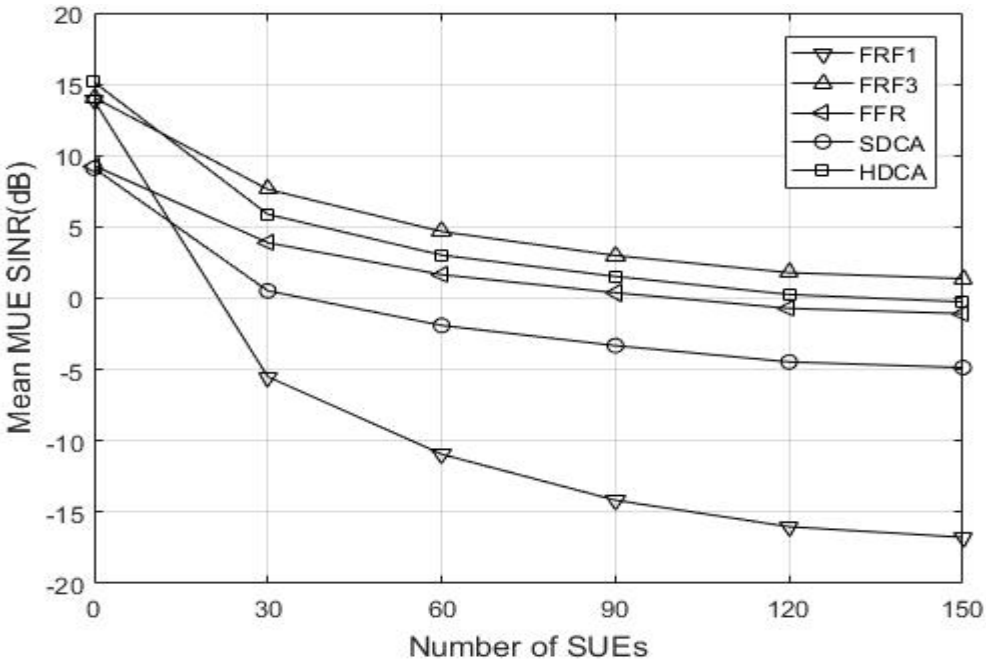
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 성능 비교

제안한 방법 SDCA와 HDCA를 각각의 MUE와 SUE의 SINR과 OUTAGE, Capacity 그리고 Total Capacity를 통해 성능을 비교하였다. 또한 제안한 자원 할당 방법에서 간섭제어 성능을 결정하는 B_{out}(Outage boundary)를 -10dB,0dB,10dB로 하고 성능을 비교하였다.

1. SINR 비교

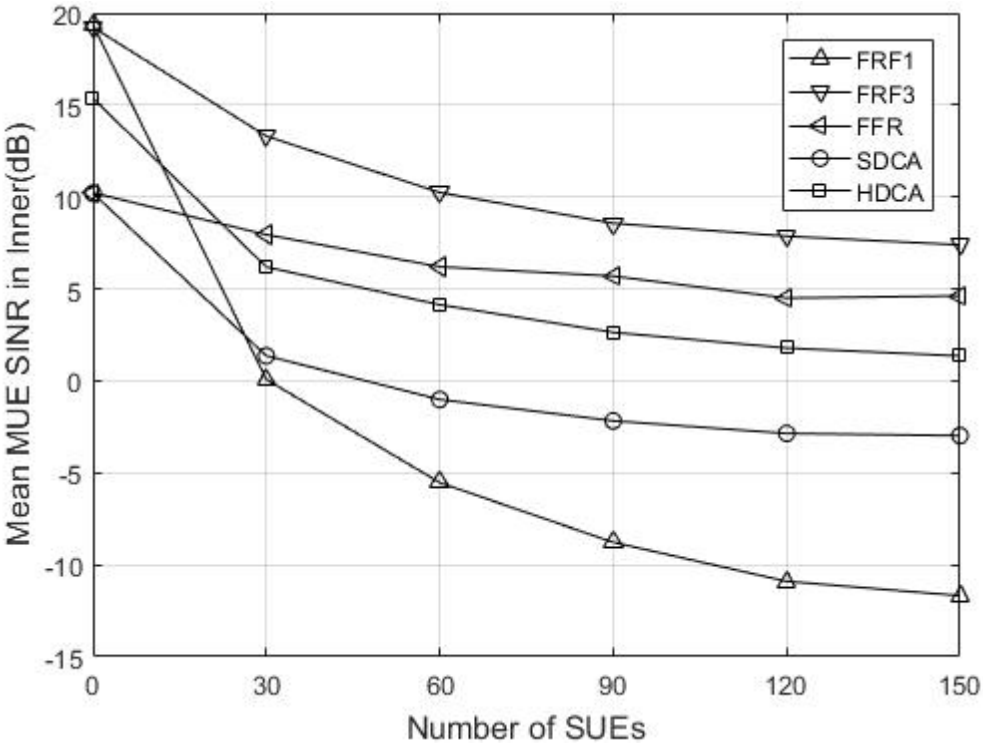


[그림 4-4] MUE의 평균 SINR

매크로셀 유저들의 평균 SINR을 보면 스몰셀들이 하나도 없는 환경에서는 제안하는 HDCA방법이 제일 좋은 것을 알 수 있다. 이는 안테나를 두 개 사용하여 신호세기가 더 좋은 안테나로 유저들이 서비스를 받기 때문이다. 간섭제어만 한 SDCA는 FFR과 동일한 것을 알 수 있다. 스몰셀들이 점점 증가할수록 전반적으로 SINR은 감소되는 추세이다. 이는 SINR에서 MUE에 대한 스몰셀들로부터 오는 간섭량이 증가하기 때문이다. 그러나 HDCA방법에서는 기존 FFR보다 간섭량이 늘었지만, FFR보다 좋은 것을 알 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

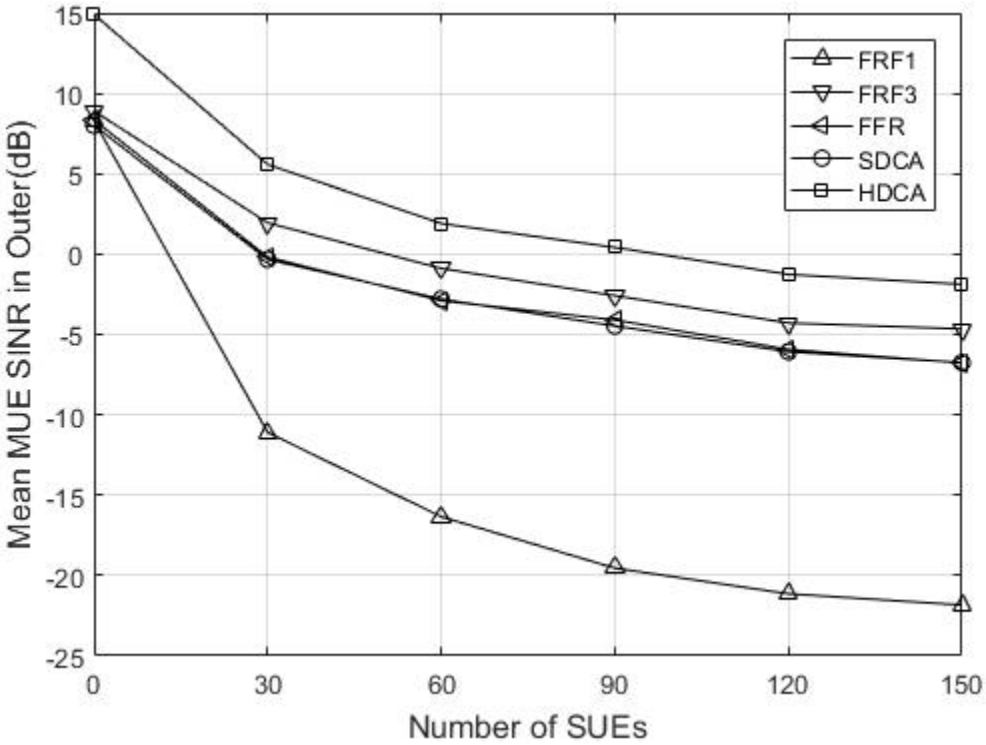


[그림 4-5] Inner zone MUE의 평균 SINR

셀 중심지역에서의 매크로셀 유저들의 SINR을 비교해보면 FRF3가 제일 좋은 성능을 보인다. 이는 중심지역에서 스몰셀들에게 간섭의 영향이 전혀 없으므로 나오는 결과이다. 마찬가지로 FFR방법도 중심지역에서 스몰셀들의 간섭의 영향은 없지만 중심지역 신호세기가 15W인 점과 경계 바깥쪽 부분 스몰셀들에게 간섭을 받으므로 FRF3보다는 낮다. 제안한 HDCA 방법이 FRF1처럼 중심지역에 스몰셀이 동일한 자원을 쓰도록 하여 간섭이 발생해 성능은 기존 FFR보다 약간 떨어진 모습을 볼 수 있다. 그러나 동일한 자원을 쓰고 간섭제어만 하는 SDCA보다 성능이 더 좋은 것을 알 수 있다. 이는 안테나를 두 개를 사용해 수신전력을 높여서 나온 결과이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

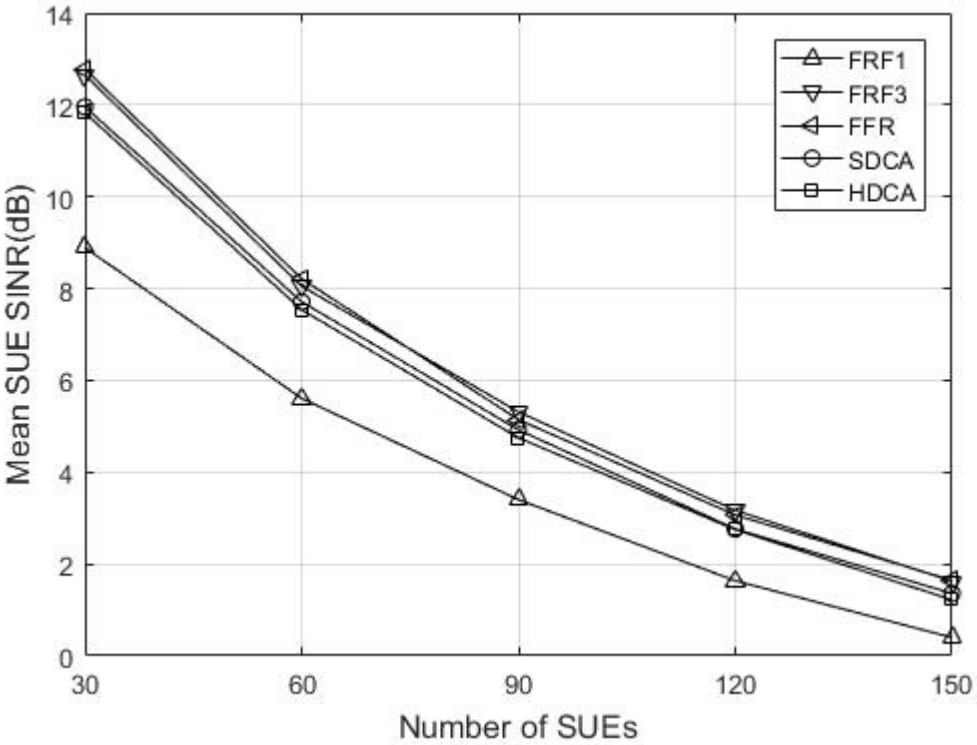


[그림4-6] Outer zone MUE의 평균 SINR

셀 가장자리 부분의 매크로 유저 SINR은 HDCA가 다른 방법들 보다 성능이 제일 높다는 것을 알 수 있다. 이는 기존의 가장자리에서 자원 A를 동일하게 쓰는 상황에서 HDCA방법의 수신전력이 FFR보다 높아 성능이 더 좋아졌다. 또한 SDCA가 FFR가 동일하게 나온 점으로 보아 기존 방법들의 간섭량은 동일한 것을 알 수 있다. FRF1에서 매크로 유저는 주위 스몰셀로부터 간섭을 심하게 받으므로 SINR이 제일 낮다. 그러나 제안한 HDCA 방법과 SDCA는 FRF1처럼 같은 자원을 사용하지만, 간섭 제어를 하므로 성능이 높게 나오는 것을 알 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

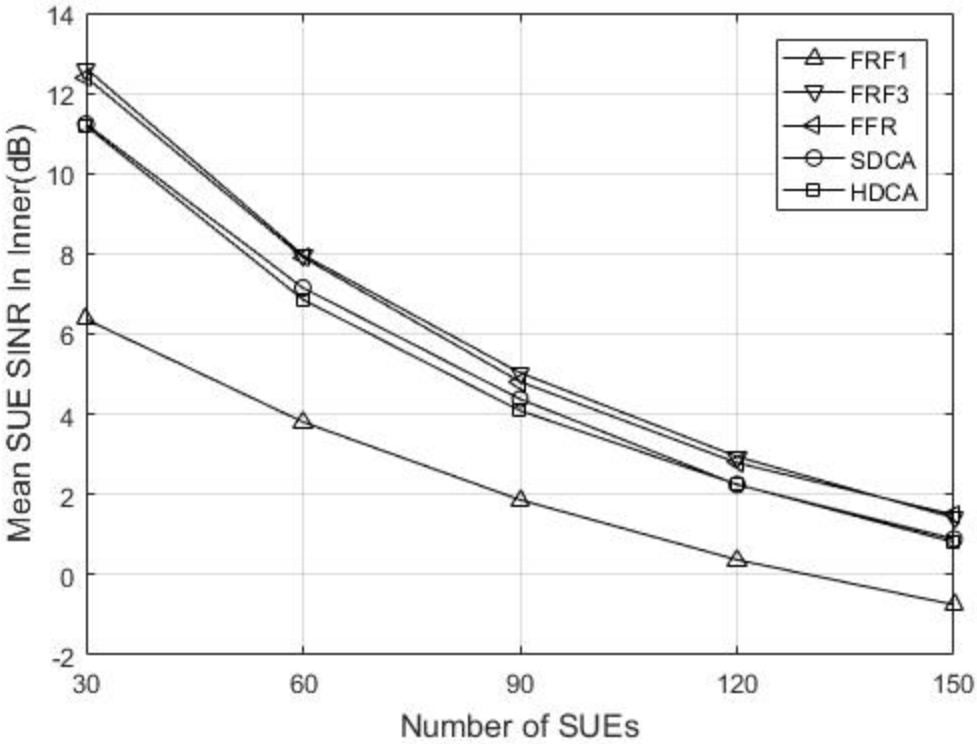


[그림 4-7] SUE의 평균 SINR

SUE의 SINR을 보면 FRF3과 FFR 제일 좋은 성능을 보인다. 이는 이웃하는 같은 자원을 쓰는 매크로기지국로부터 간섭의 양을 덜 받기 때문이다. 하지만 SDCA와 HDCA는 중심셀로부터의 간섭이 생기기 때문에 기존의 간섭이 없던 방법보다는 약간 낮은 성능을 보인다. FRF1이 제일 낮은 이유는 스몰셀들이 중심셀을 포함한 이웃하는 매크로 기지국으로부터 간섭을 받기 때문이다. 이는 매크로 유저가 좋은 안테나 신호를 받은 만큼, 스몰셀들에게 더 큰 간섭으로 발생하기 때문이다. 그러나 이는 어느정도 허용가능한 범위이며 기존의 간섭제어를 하지 않는 FRF1보다 성능이 좋다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

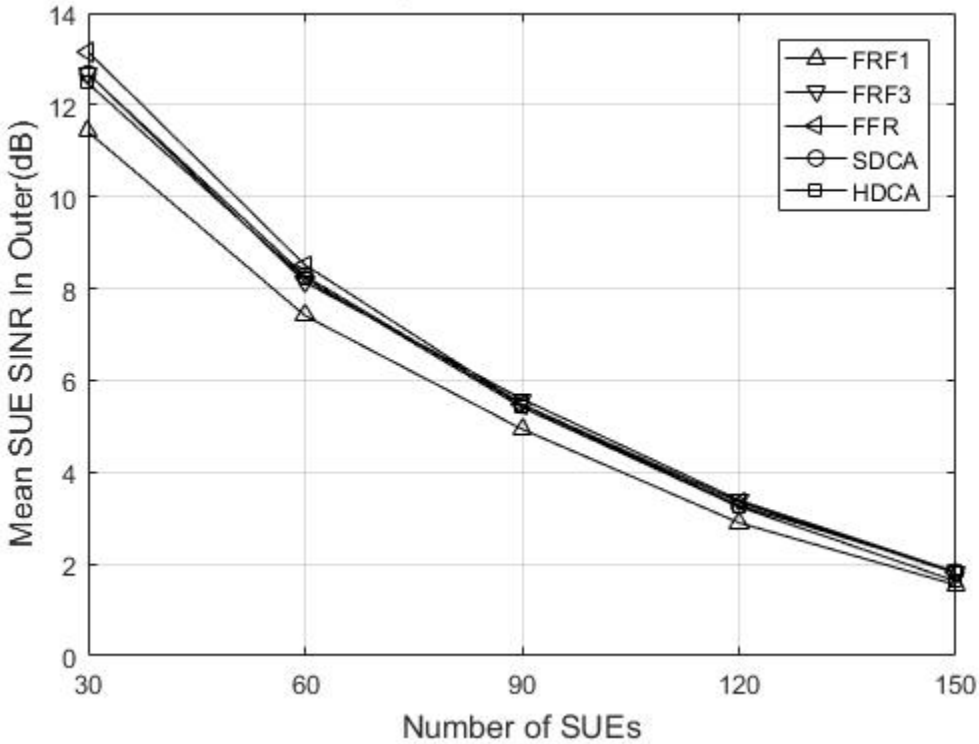


[그림 4-8] Inner zone SUE의 평균 SINR

중심지역의 SUE의 SINR을 보면 FRF3와 FFR이 비슷한 성능을 보인다. 이는 중심 지역의 스몰셀들이 주위 매크로 기지국으로부터 오는 간섭의 양이 동일하기 때문이다.FFR이 약간씩 낮은 이유는 FFR의 파워와 FRF3파워가 다르기 때문이다. SDCA와 제안한 HDCA방법이 FFR보다 낮은 이유는 중심지역의 스몰셀들이 중심 셀과 주위 매크로 기지국으로부터 간섭을 받으므로 성능이 낮아진다. 그러나 간섭제어를 하지 않는 FRF1보다 높은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

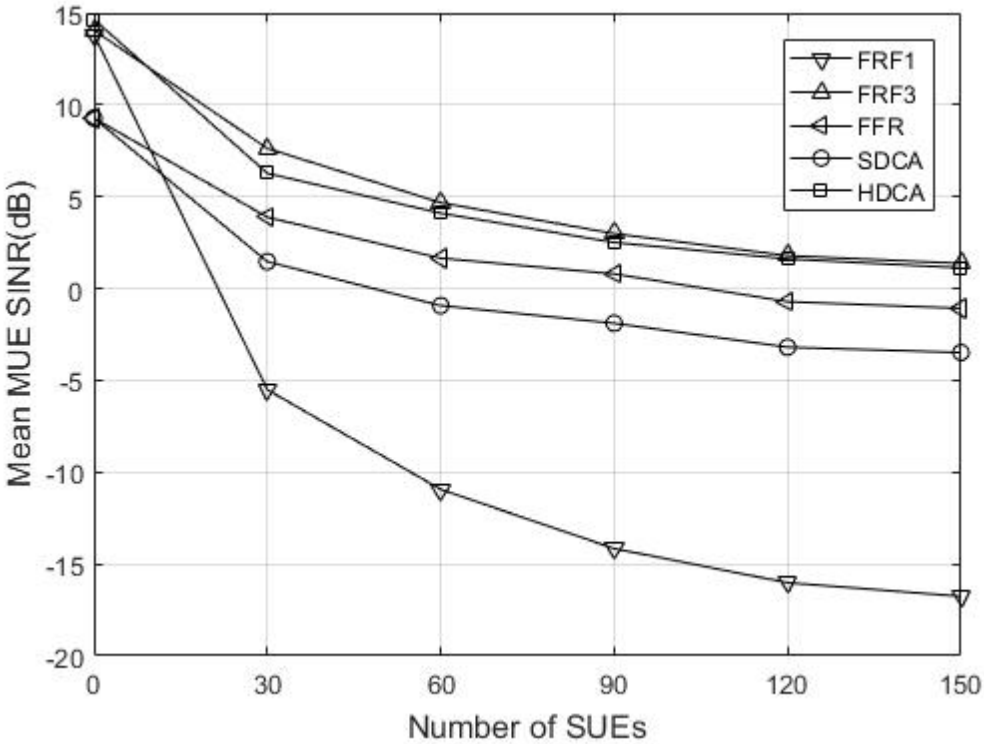


[그림 4-9] Outer zone SUE의 평균 SINR

셀 경계 바깥쪽 부분에서 각 방법의 성능이 비슷하게 나오는데, FRF3는 Outer부분의 스몰셀 유저들이 다른셀로부터 오는 간섭에만 영향을 받는다. FFR과 SDCA와 HDCA는 Outer부분에서 매크로셀의 자원을 같이 쓰므로 간섭의 영향이 있지만 매크로 기지국과의 거리가 있어서 간섭의 양이 강하지 않다. 간섭제어를 하지 않는 FRF1이 중심셀 매크로 기지국으로부터의 간섭도 받으므로 제일 성능이 낮다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

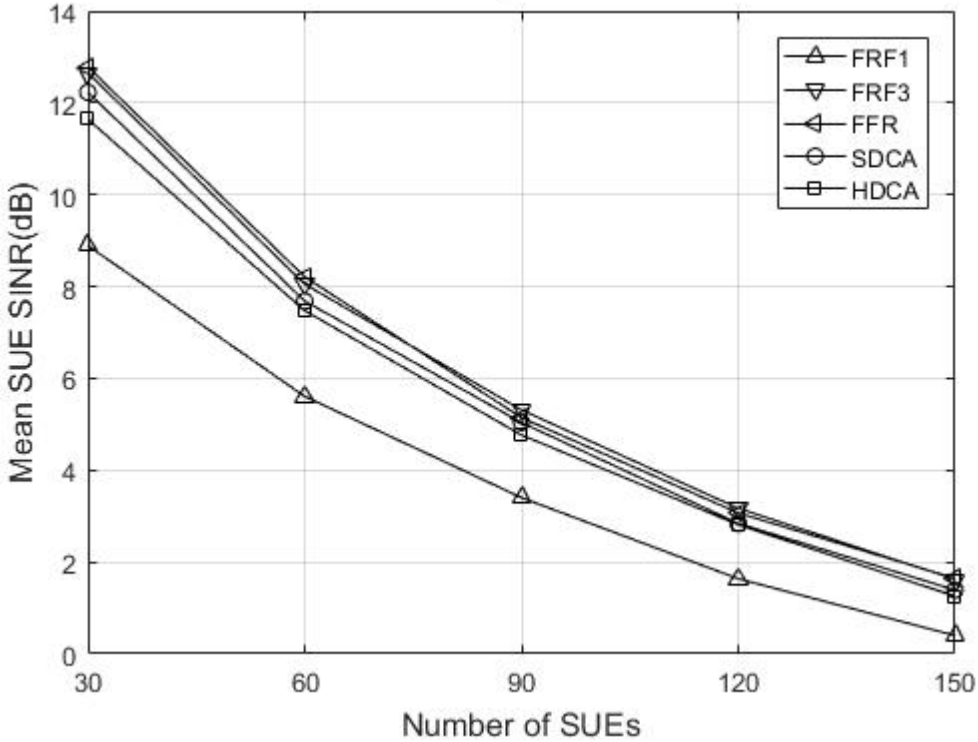


[그림4-10] B_{out}계수=0dB일 때 MUE의 평균 SINR

B_{out}가 0dB가 되면서 셀 경계 중심 지역의 매크로 유저들에게 심하게 간섭을 주는 스몰셀들의 자원이 더욱 제거되므로, HDCA의 매크로 유저 SINR은 더욱 좋아진다. 이는 안테나를 두 개 사용하여 신호세기가 더 좋은 안테나로 유저들이 서비스를 받기 때문이다. 그 결과 셀 내 매크로셀 유저와 스몰셀 유저사이의 간섭을 없애는 FRF3만큼 좋아졌다. 그리고 SDCA도 마찬가지로 간섭을 주는 영향을 더 줄이기 때문에 성능 향상이 된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

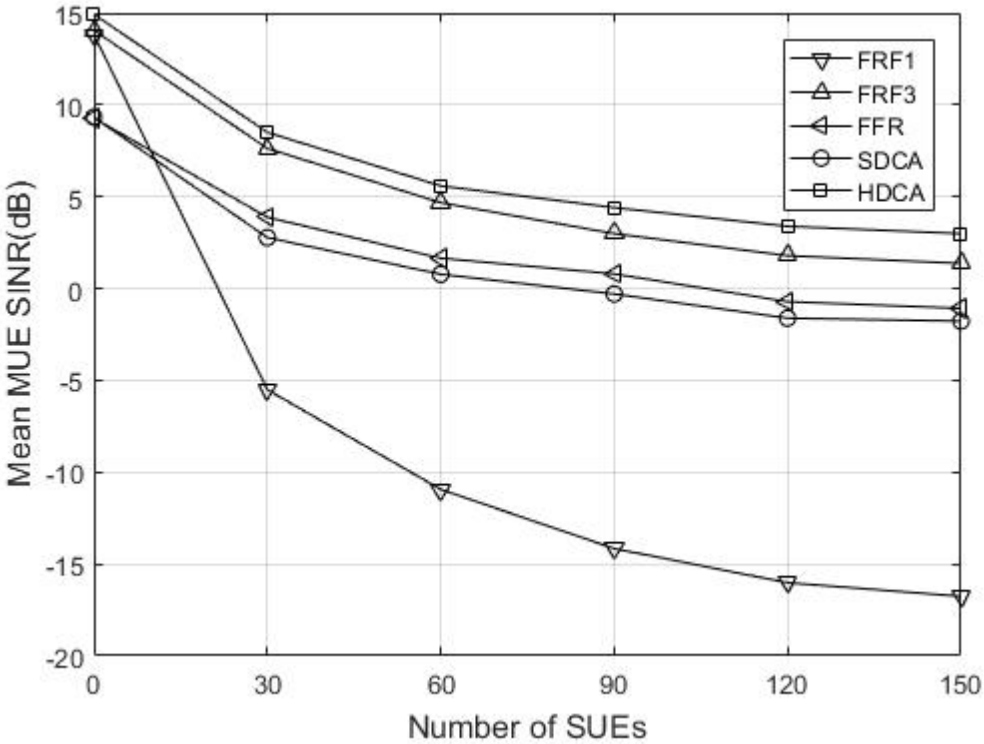


[그림4-11] B_{out}계수=0dB일 때 SUE의 평균 SINR

스몰셀 유저의 대한 SINR 변화는 B_{out}=-10dB일때와 차이가 없다. SUE의 SINR을 보면 FRF3과 FFR 제일 좋은 성능을 보인다. 이는 이웃하는 같은 자원을 쓰는 매크로기지국로부터 간섭의 양을 덜 받기 때문이다. 하지만 SDCA와 HDCA는 중심셀로부터의 간섭이 생기기 때문에 기존의 간섭이 없던 방법보다는 약간 낮은 성능을 보인다. FRF1이 제일 낮은 이유는 스몰셀들이 중심셀을 포함한 이웃하는 매크로 기지국으로부터 간섭을 받기 때문이다. 이는 매크로 유저가 좋은 안테나 신호를 받은 만큼, 스몰셀들에게 더 큰 간섭으로 발생하기 때문이다. 그러나 이는 어느정도 허용가능한 범위이며 기존의 간섭제어를 하지 않는 FRF1보다 성능이 좋다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

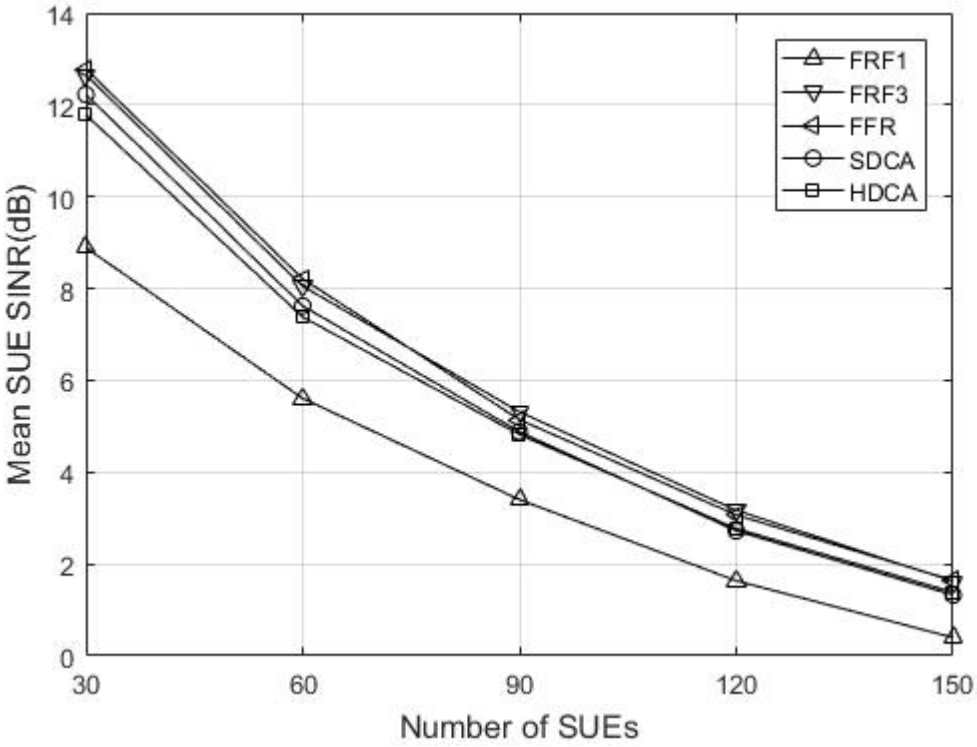


[그림4-12] B_{out}계수=10dB일 때 MUE의 평균 SINR

기존의 B_{out}=-10과 B_{out}=0보다는 HDCA에서 매크로 셀 유저의 SINR이 좋다는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 셀 중심 지역에서 매크로 셀 유저에게 심하게 간섭을 주는 스몰셀들을 파악하여 간섭은 제거하므로, 성능이 더 좋아졌다. 하지만 중심셀내 스몰셀들에 관하여 간섭 제어를 하므로, 성능 향상에는 한계가 존재한다. SDCA도 마찬가지로 성능이 향상되었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림4-13] B_{out}계수=10dB일 때 SUE의 평균 SINR

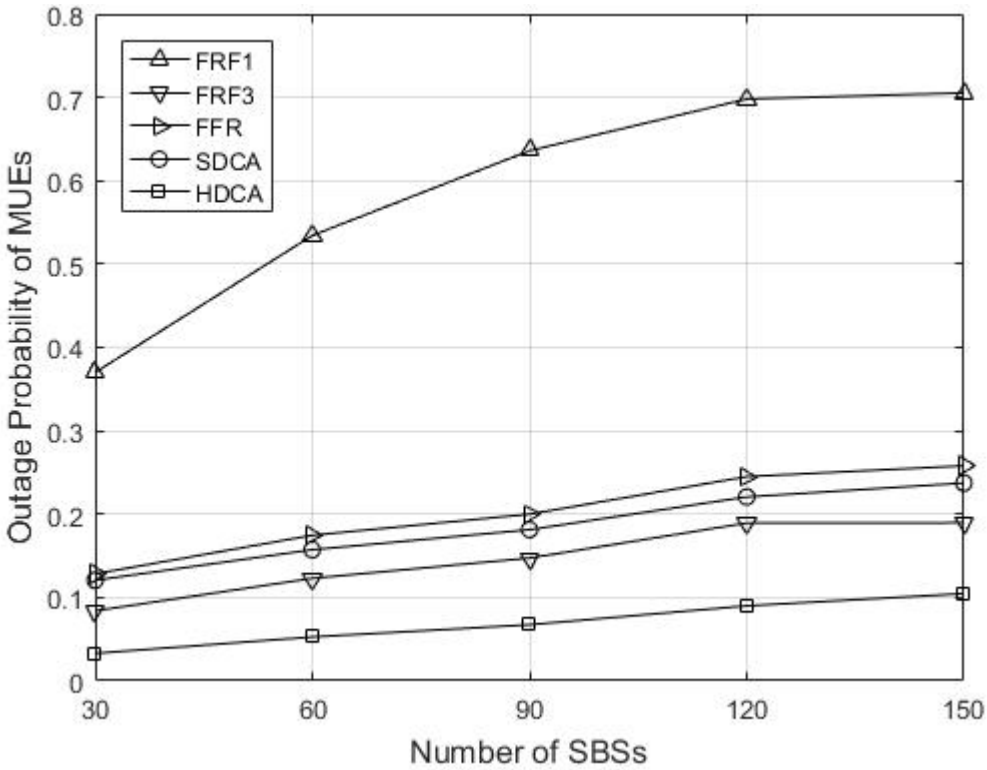
스몰셀 유저의 대한 SINR 변화는 기존의 B_{out}=-10dB과 0dB일때와 차이가 없다. SUE의 SINR을 보면 FRF3과 FFR 제일 좋은 성능을 보인다. 이는 이웃하는 같은 자원을 쓰는 매크로기지국로부터 간섭의 양을 덜 받기 때문이다. 하지만 SDCA와 HDCA는 중심셀로부터의 간섭이 생기기 때문에 기존의 간섭이 없던 방법보다는 약간 낮은 성능을 보인다. FRF1이 제일 낮은 이유는 스몰셀들이 중심셀을 포함한 이웃하는 매크로 기지국으로부터 간섭을 받기 때문이다. 이는 매크로 유저가 좋은 안테나 신호를 받은 만큼, 스몰셀들에게 더 큰 간섭으로 발생하기 때문이다. 그러나 이는 어느 정도 허용 가능한 범위이며 기존의 간섭제어를 하지 않는 FRF1보다 성능이 좋다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. Outage 비교

다음의 성능 비교로써 Outage 비율을 비교하였다. Outage는 서비스를 받지 못하는 성능의 기준이다. Outage란 서비스를 못받는 경우를 말하는데, 아무리 신호가 좋거나 자원이 많아도 Outage는 서비스를 받지 못하므로 통신을 못하는 것과 같다. 특히나 이후 Capacity부분에서 FRF1이 자원이 제일 많은 이상적인 상태이지만 Outage부분에서 많은 유저들이 서비스를 받지 못하여 사용하지 못하는 이유이다.

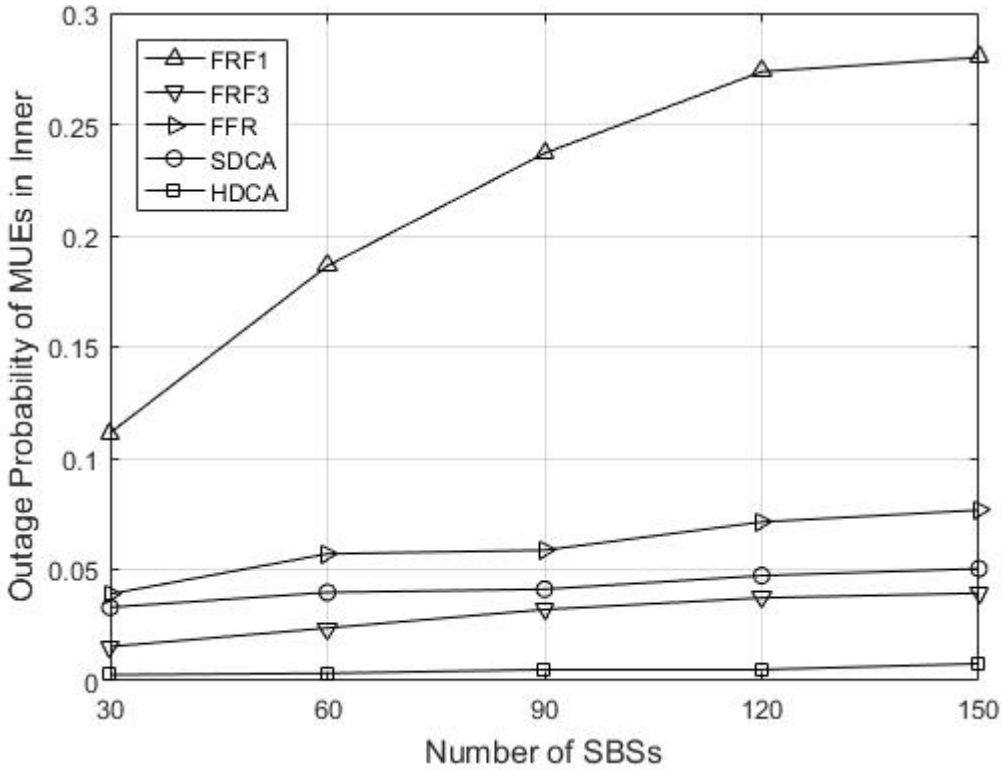


[그림 4-14] MUE의 Outage Probability

스몰셀 수가 증가할 때의 매크로셀 유저의 Outage를 보면 FRF1은 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. MUE의 Outage부분을보면 FRF1이 거의 40%부터 스몰셀이 150일 때, 70%이상을 서비스 받지 못한다. 그러나 제안한 HDCA방법은 스몰셀이 150이어도 10%이하가 된다는 것을 알 수있다. 그리고 SDCA는 간섭제어는 하지만 MUE의 성능을 향상시키는 방법은 사용하지 않아 Outage부분이 높아진 것을 볼 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

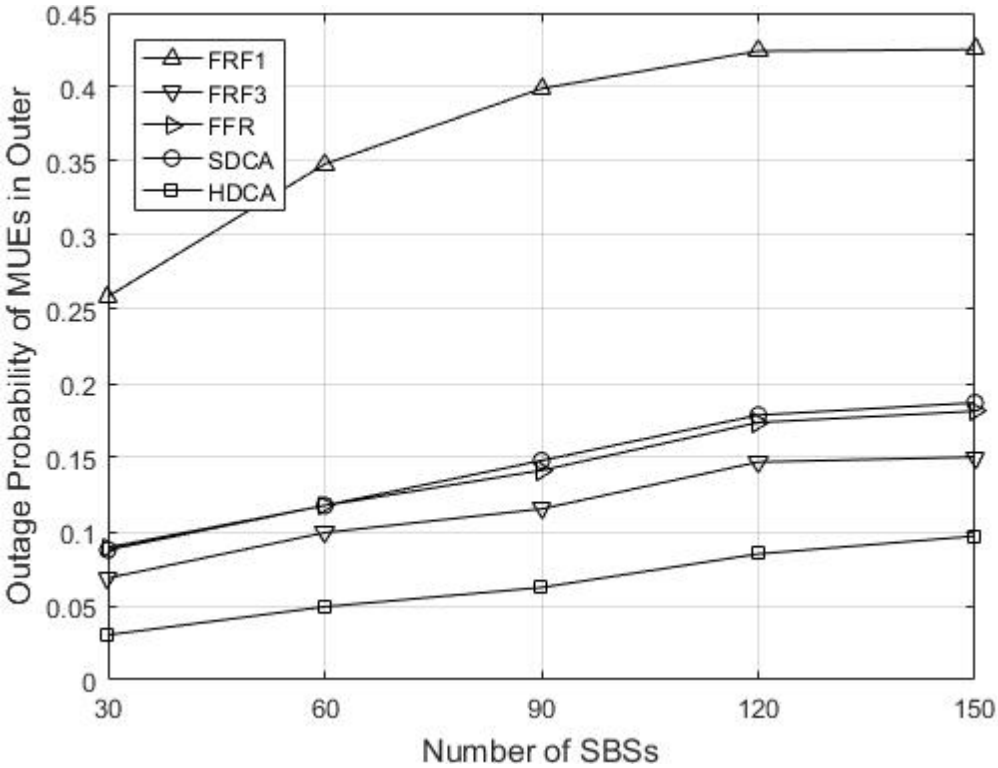


[그림 4-15] Inner zone MUE의 Outage Probability

셀 중심지역의 매크로 유저의 Outage역시 FRF1이 다른 것보다 간섭에 영향을 많이 받는다. 제안하는 HDCA방법은 FRF1과 같은 자원을 사용하지만 셀 중심지역의 매크로 유저들의 수신전력을 강하게 하고, 간섭을 완화하는 방법을 사용하기 때문에 거의 모든 유저들이 서비스를 받는다. 하지만 SDCA는 스몰셀 간섭을 줄이기는 하지만 매크로 유저의 성능을 향상시키기에는 부족하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

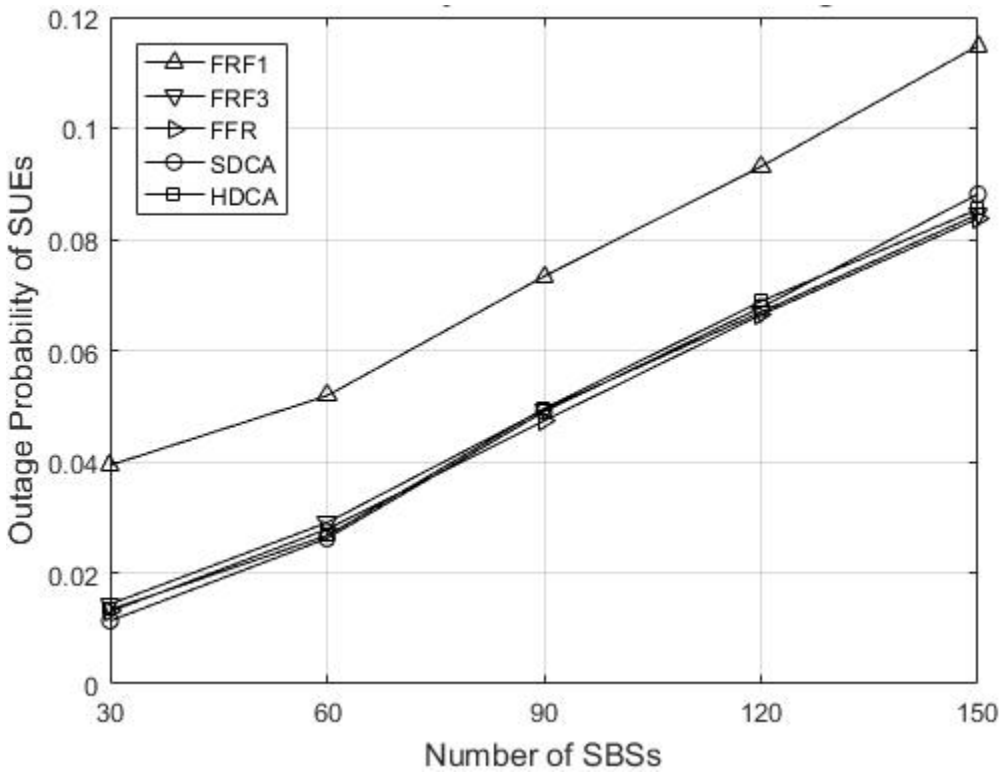


[그림 4-16] Outer zone MUE의 Outage Probability

셀 경계 바깥쪽도 역시 FRF1이 스몰셀이 150일 때 거의 42%나 서비스를 받지 못하고 있다. 바깥쪽 부분이 경계 중심 부분보다 Outage 비율이 높은편인데, 이는 중심지역의 MUE에게 강한 간섭을 주는 같은 자원을 쓰는 스몰셀들을 제어하도록 되어있지만, 바깥쪽 부분은 자원 A를 쓰기 때문에 근처 스몰셀들의 간섭은 약한 수준으로 도달한다. 그러나 중심지역보다 이웃하는 매크로 기지국으로부터의 거리가 가까워지므로 간섭이 세기가 강해져 수신신호의 상태가 약해진다. 이에 따라 스몰셀이 많아질수록 약한 수준의 간섭이 점점 더 많아지므로 성능이 떨어진다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

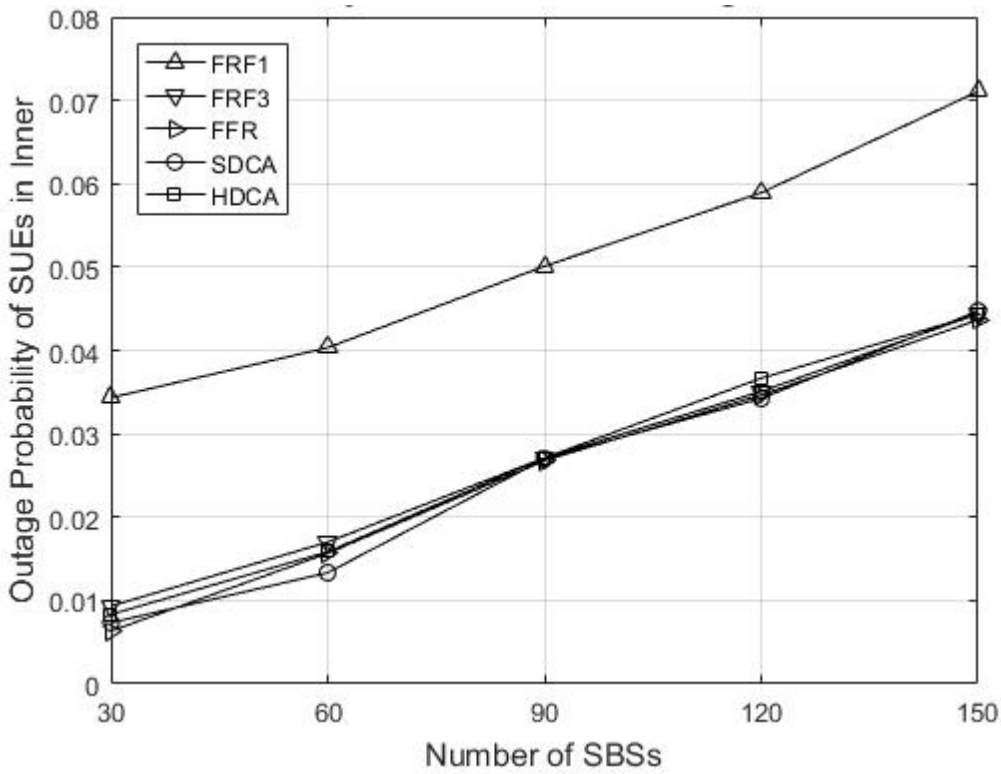


[그림 4-17] SUE의 Outage Probability

스몰셀 유저의 Outage를 보면 FRF1이 다른 방법에 비해 많이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 다른 방법들보다 중심 매크로셀과 이웃 매크로셀 기지국으로부터 오는 간섭에 영향을 많이 받는다는 것이다. 그러나 SDCA나 HDCA방법은 중심지역에서 MUE와 동일한 자원을 사용하는 스몰셀들이 존재하는데도, 간섭제어를 통해 매크로 유저가 사용하는 자원블록을 뺀 나머지를 사용하도록하여 매크로기지국으로부터의 간섭을 감소시켰다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

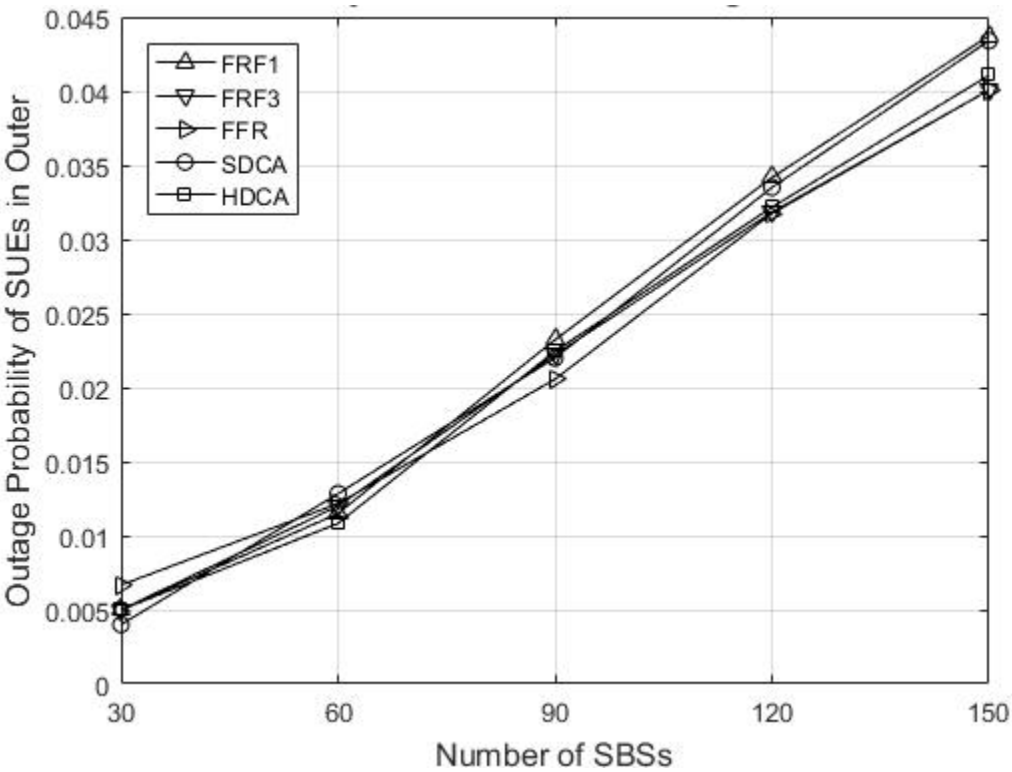


[그림 4-18] Inner zone SUE의 Outage Probability

셀 중심지역의 스몰셀 유저에 대한 Outage에서 FRF1이 셀 중심의 매크로 기지국으로부터 심한 간섭을 받으므로 가장 성능이 안좋다. 나머지 방법들이 비슷하지만 SDCA와 HDCA는 앞서 설명한것과 같이 스몰셀들이 매크로 유저가 사용한 나머지 자원들을 사용하므로, 스몰셀 유저에게 중심 매크로기지국으로부터 간섭이 있지만, 매크로 유저가 사용하지 않는 자원블록을 사용하므로, 간섭을 완화시켜 Outage의 비율이 간섭관리를 하지 않는 FRF1보다 낮게 나온다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

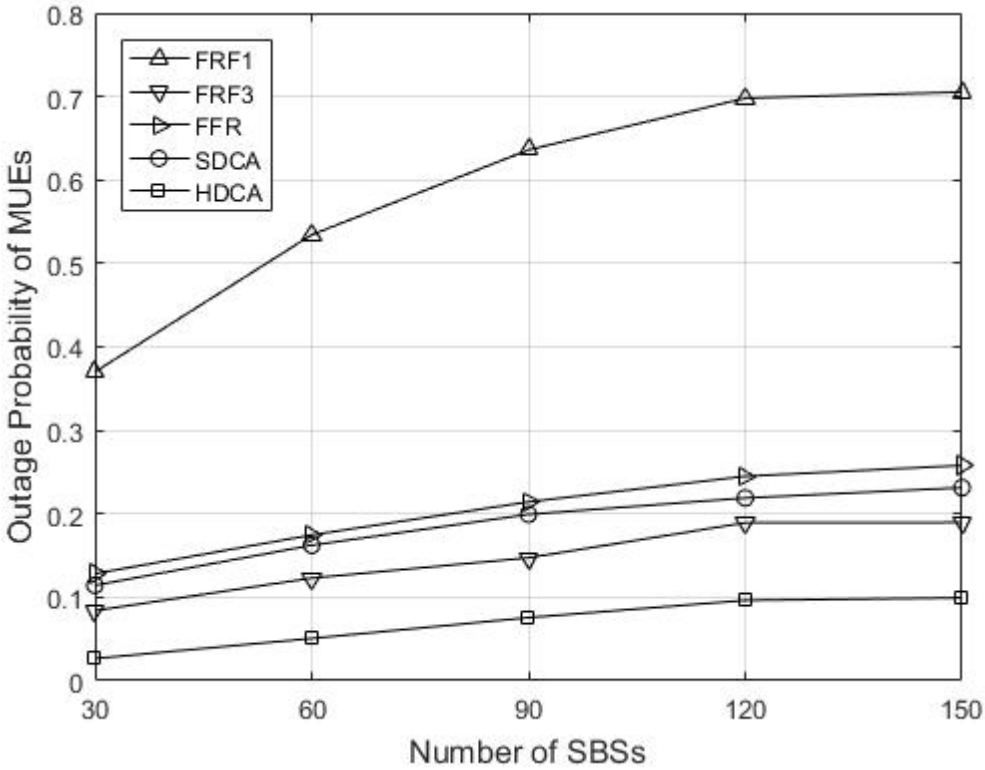


[그림 4-19] Outer zone SUE의 Outage Probability

셀 가장자리 스몰셀 유저에 대한 Outage 비율은 네 가지 방법 모두 비슷하게 나온다. 중심셀 Outer지역의 스몰셀 유저들은 다른 셀 매크로 기지국으로부터 간섭을 받지만 거리가 멀어 간섭의 세기가 수신 전력보다 강하지 않기 때문에 나오는 결과이다. 특히 FFR과 제안한 방법 SDCA와 HDCA는 스몰셀 유저들이 매크로 유저 자원 d를 사용하지만 거리가 충분히 멀어 간섭의 양이 적다. 따라서 SDCA와 HDCA는 FFR과 비슷한 성능을 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

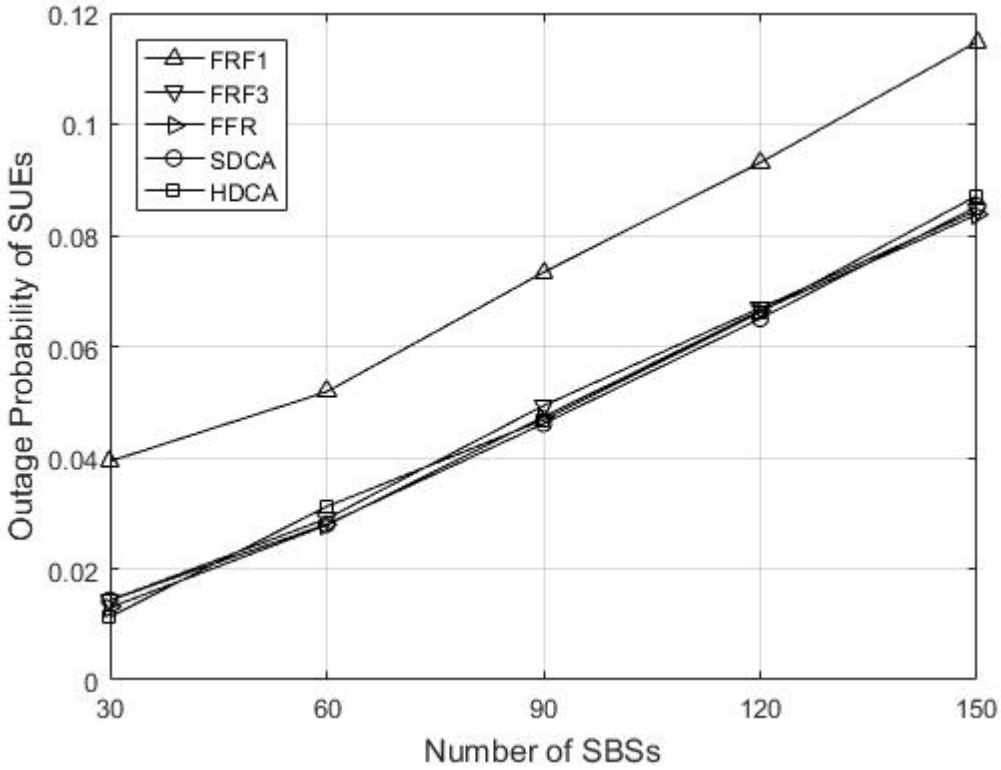


[그림4-20] B_{out}계수=0dB일 때 MUE의 Outage Probability

스몰셀 수가 증가할수록 매크로셀 유저의 Outage 비율은 급격히 증가한다. 특히나 FRF1은 자원의 사용이 많아도 Outage가 40%부터 70%까지 변화하면서 서비스를 받지 못하는 유저들이 늘어나 실생활에서 사용하기 어렵다. 하지만 제안하는 SDCA와 HDCA는 FRF1과 같은 자원을 사용하더라도 간섭제어를 통해 Outage비율이 적다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

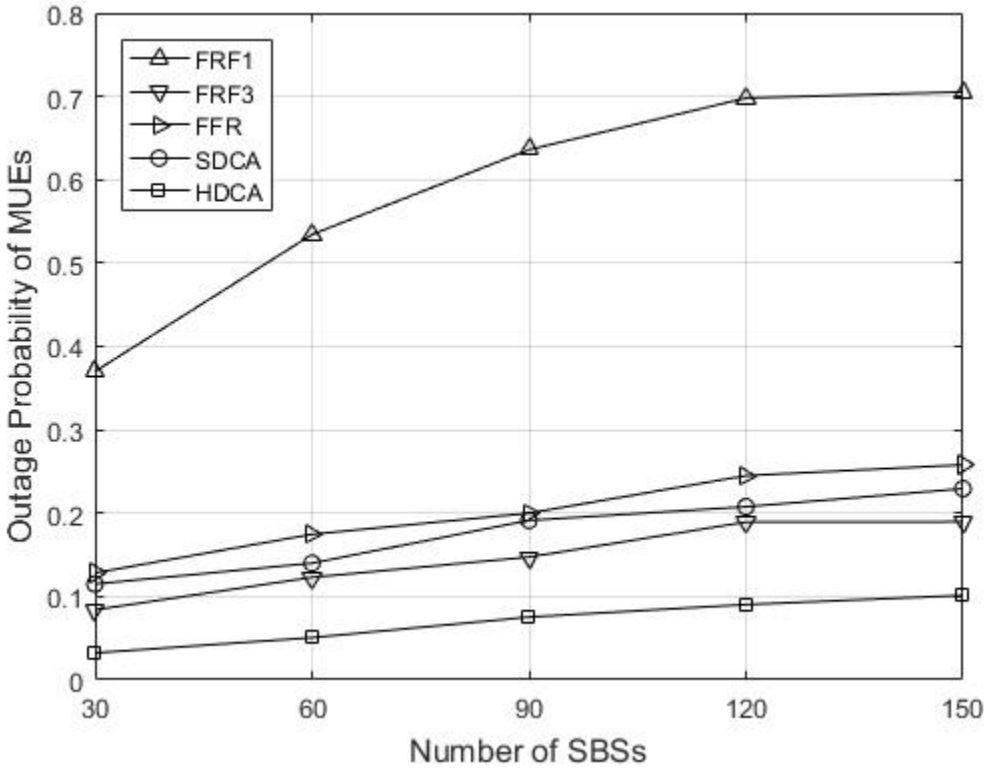


[그림4-21] B_{out}계수=0dB일 때 SUE의 Outage Probability

스몰셀 유저의 Outage를 보면 FRF1이 다른 방법에 비해 많이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 다른 방법들보다 중심 매크로셀과 이웃 매크로셀 기지국으로부터 오는 간섭에 영향을 많이 받는다는 것이다. 그러나 SDCA나 HDCA방법은 중심지역에서 MUE와 동일한 자원을 사용하는 스몰셀들이 존재하는데도, 간섭제어를 통해 매크로 유저가 사용하는 자원블록을 뺀 나머지를 사용하도록 하여 매크로기지국으로부터의 간섭을 감소시켰다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

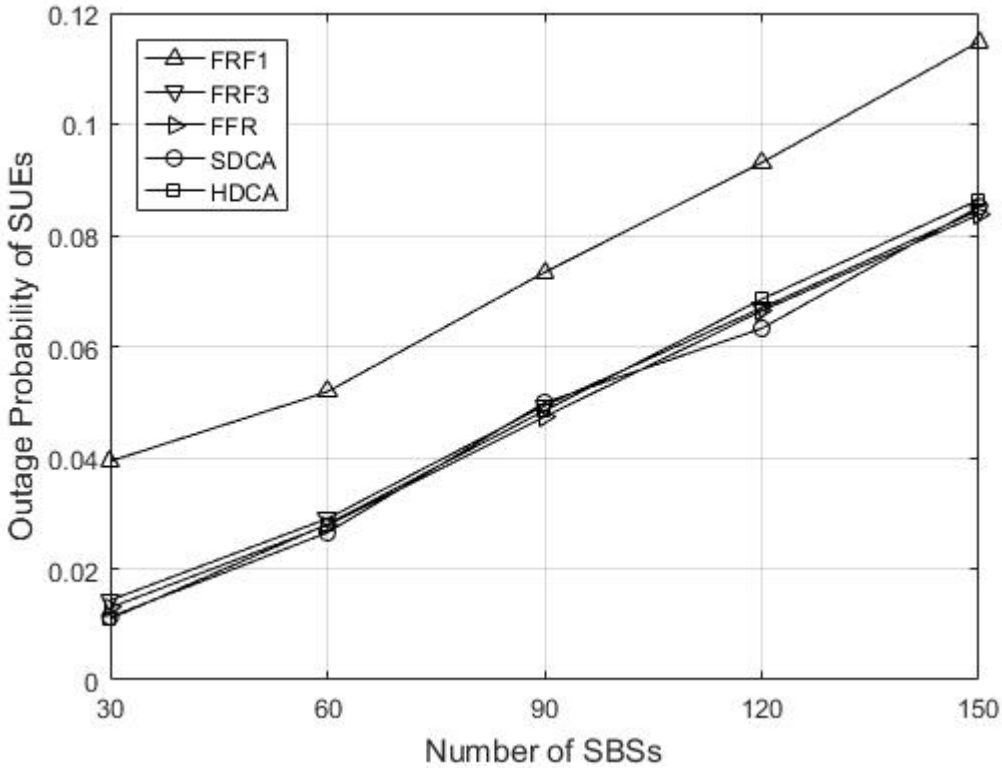


[그림4-22] B_{out}계수=10dB일 때 MUE의 Outage Probability

스몰셀 수가 증가할수록 매크로셀 유저의 Outage 비율은 급격히 증가한다. 특히나 FRF1은 자원의 사용이 많아도 Outage가 40%부터 70%까지 변화하면서 서비스를 받지 못하는 유저들이 늘어나 실생활에서 사용하기 어렵다. 하지만 제안하는 SDCA와 HDCA는 FRF1과 같은 자원을 사용하더라도 간섭제어를 통해 Outage비율이 적다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림4-23] B_{out}계수=10dB일 때 SUE의 Outage Probability

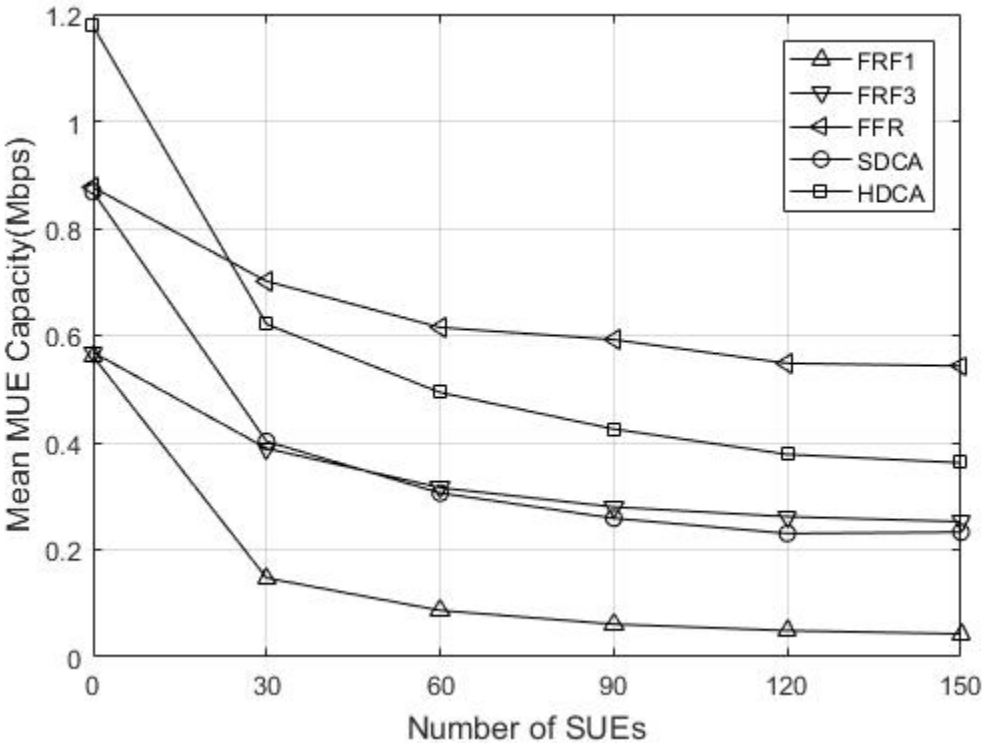
스몰셀 유저의 Outage비율을 보면 FRF1이 다른 방법에 비해 많이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 다른 방법들보다 중심 매크로셀과 이웃 매크로셀 기지국으로부터 오는 간섭에 영향을 많이 받는다는 것이다. 그러나 SDCA나 HDCA방법은 중심지역에서 MUE와 동일한 자원을 사용하는 스몰셀들이 존재하는데도, 간섭제어를 통해 매크로 유저가 사용하는 자원블록을 뺀 나머지를 사용하도록 하여 매크로기지국으로부터의 간섭을 감소시켰다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. Capacity 비교

다음으로 유저에 대한 용량을 나타내는 Capacity 성능비교를 하였다. 이는 자원을 얼마나 사용하는지를 나타내는 지표이다.

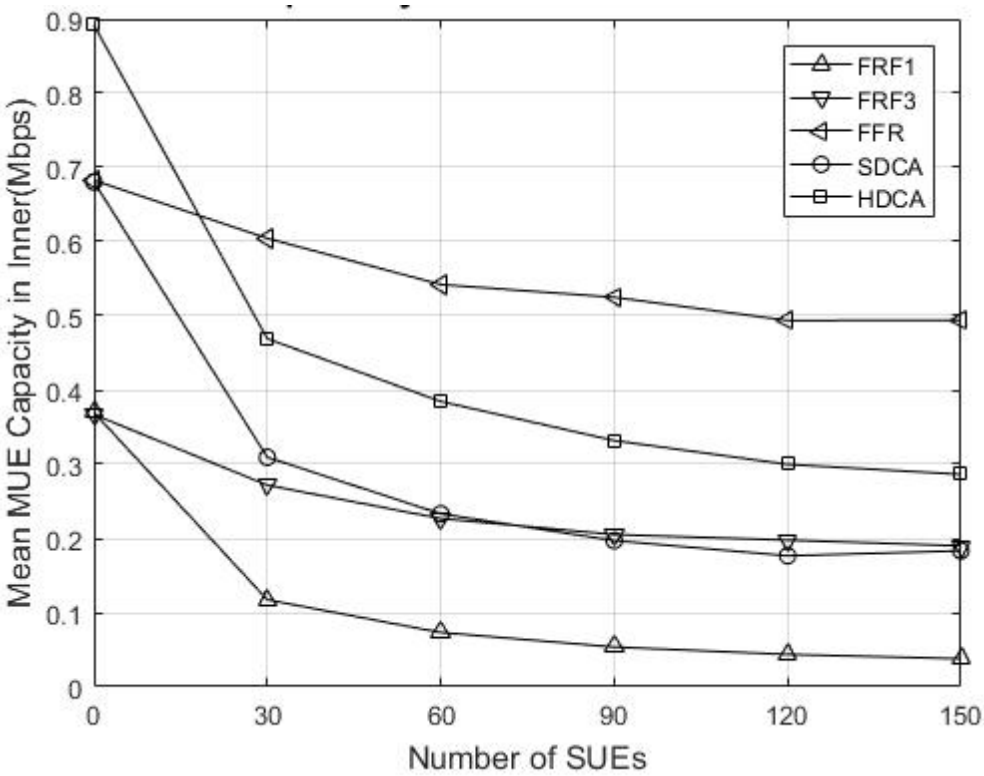


[그림 4-24] MUE의 평균 Capacity

매크로셀 유저에 대한 전체 Capacity를 보면 스몰셀이 없는 경우에 HDCA가 가장 높은 것을 알 수 있다. 스몰셀이 같이 배치되면서 FFR보다 낮은데, 이는 셀 경계 중심지역의 매크로셀 유저들이 근처 스몰셀들에게 간섭을 받기 때문이다. 물론 간섭 제어로 어느 정도는 간섭을 감소시켰지만, 감소하는 양을 결정하는 B_{out}이 낮아서 간섭을 주는 스몰셀들을 제거하는데 많이 필요하지 않아서 간섭의 양이 많이 줄어들지 않기 때문에 셀 경계 중심지역 매크로셀 유저에게 간섭을 주기 때문에 SINR이 낮아져 기존 FFR과 같은 자원이라도 Capacity가 낮아진다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

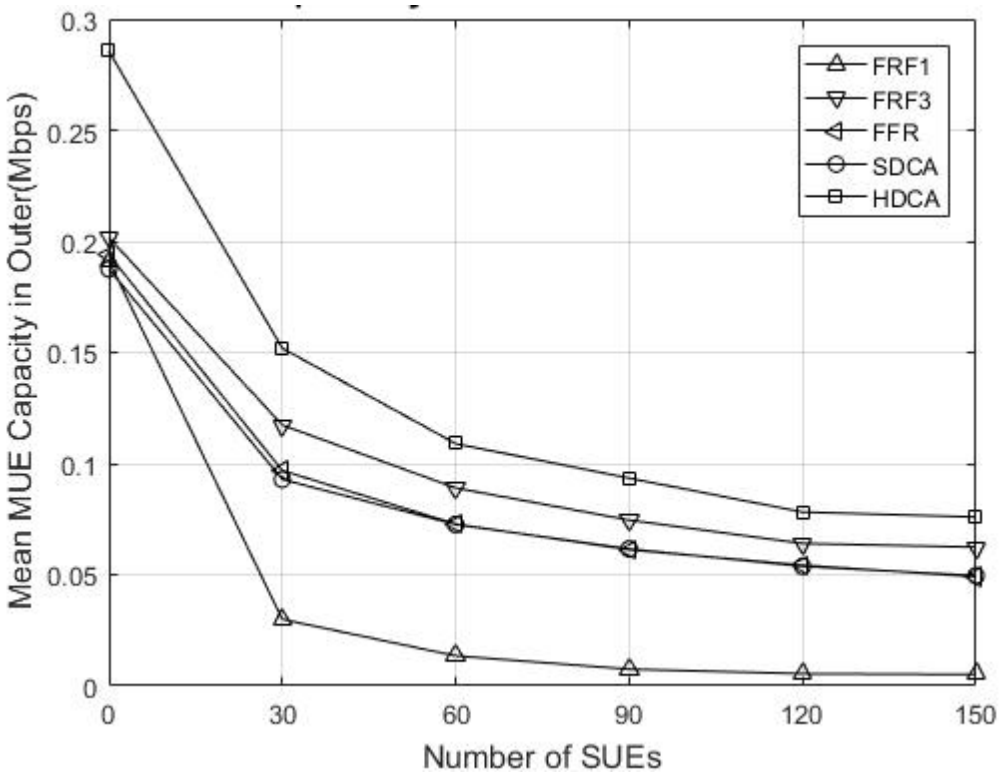


[그림 4-25] Inner zone MUE의 평균 Capacity

셀 경계 중심지역의 MUE의 Capacity를 비교해보면, FRF1이 SINR 다른 방법들보다 낮은 관계로 자원은 제일 많지만 성능 면에서는 제일 떨어진다. 또한 스몰셀이 없는 환경에서의 성능은 HDCA가 제일 많지만 스몰셀이 같이 배치된 이유로 FFR보다 떨어지는 경향을 보이는데, 이는 감소하는 양을 결정하는 B_{out}이 낮아서 매크로셀 유저에게 간섭을 주는 스몰셀들을 제거하는데 많이 필요하지 않아서 간섭의 양이 많이 줄어들지 않기 때문이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

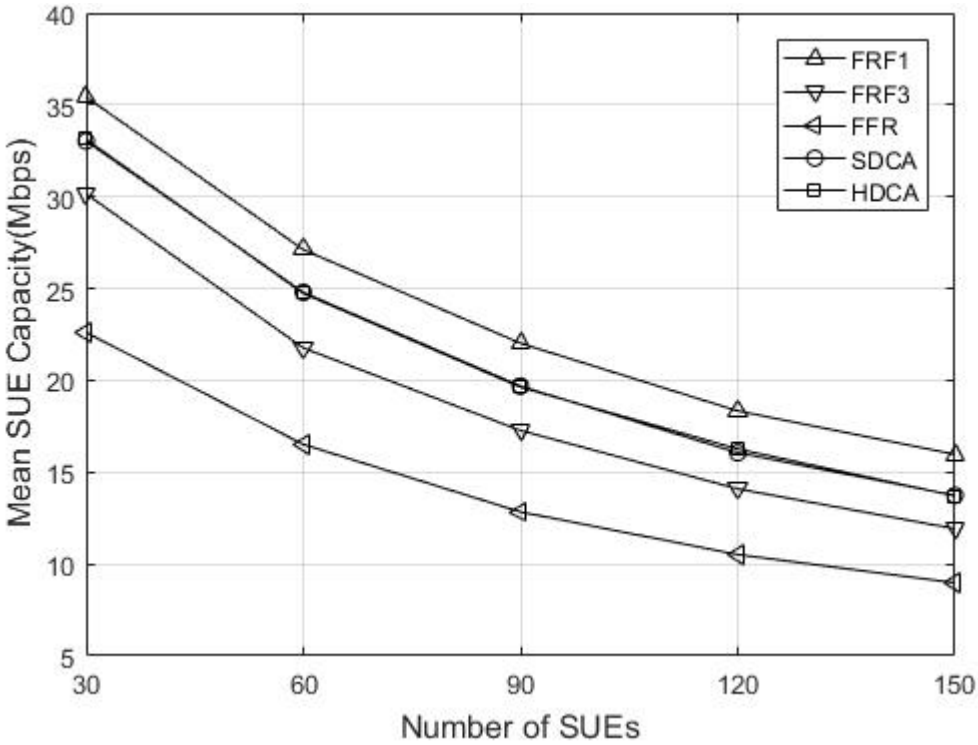


[그림 4-26] Outer zone MUE의 평균 Capacity

셀 Outer 지역에 있는 매크로셀 유저에 대한 Capacity는 기존 FFR과 동일한 자원을 사용하지만 셀 경계 바깥쪽 부분은 NBTC 안테나보다 WBTC 안테나로부터 수신 신호를 받는 유저들의 수신 파워가 더 좋아지므로 SINR이 향상된다. 따라서 동일한 자원으로 SINR으로 FFR보다 높아서 매크로셀 유저의 용량은 향상된다. 하지만 SDCA는 스몰셀로부터 오는 간섭의 양만 제어하기 때문에 FFR과 비슷한 성능을 보이는 것을 볼 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

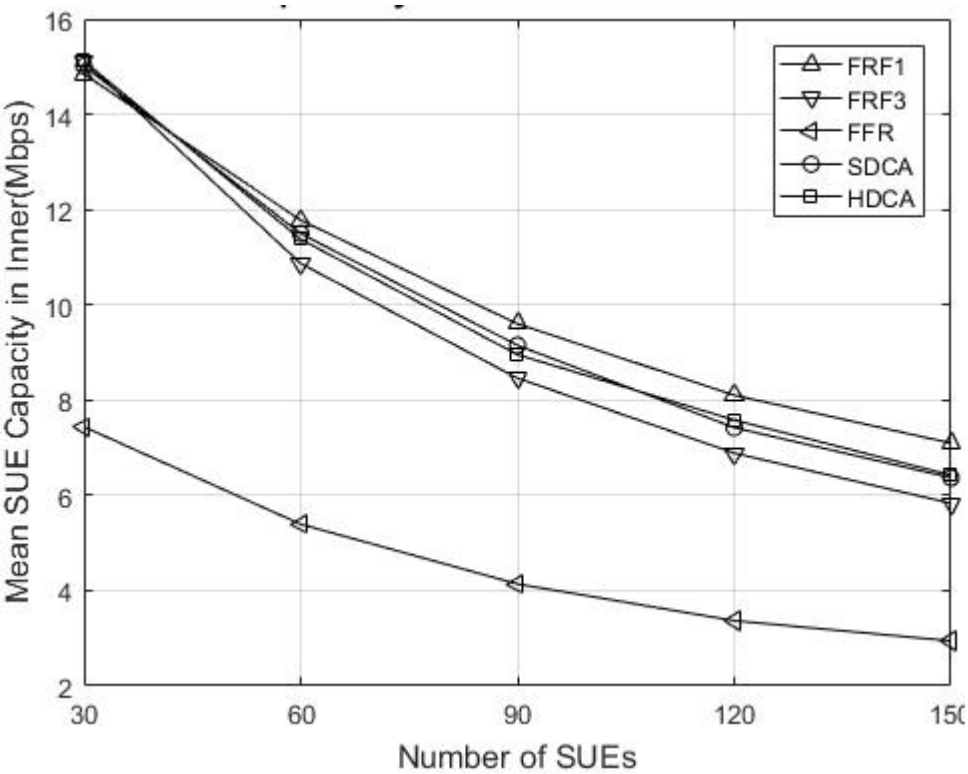


[그림 4-27] SUE의 평균 Capacity

스몰셀 유저에 대한 전체 Capacity를 보면 이상적인 FRF1의 스몰셀 유저들의 성능이 가장 좋다. 하지만 Outage면에서 많은 유저들이 서비스를 받지 못하므로, 이는 현실적으로 사용할 수 없는 환경이다.HDCA와 SDCA는 기존의 FFR보다 월등히 좋아지는 것을 알 수 있다. 이는 중심셀에서 매크로 유저가 사용하고 간섭을 주지 않는 남은 자원을 스몰셀이 사용하도록 하여 스몰셀들의 성능을 향상시켰다. 또한 FFR이 FRF3보다 낮은 이유는 자원의 양이 부족하기 때문이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

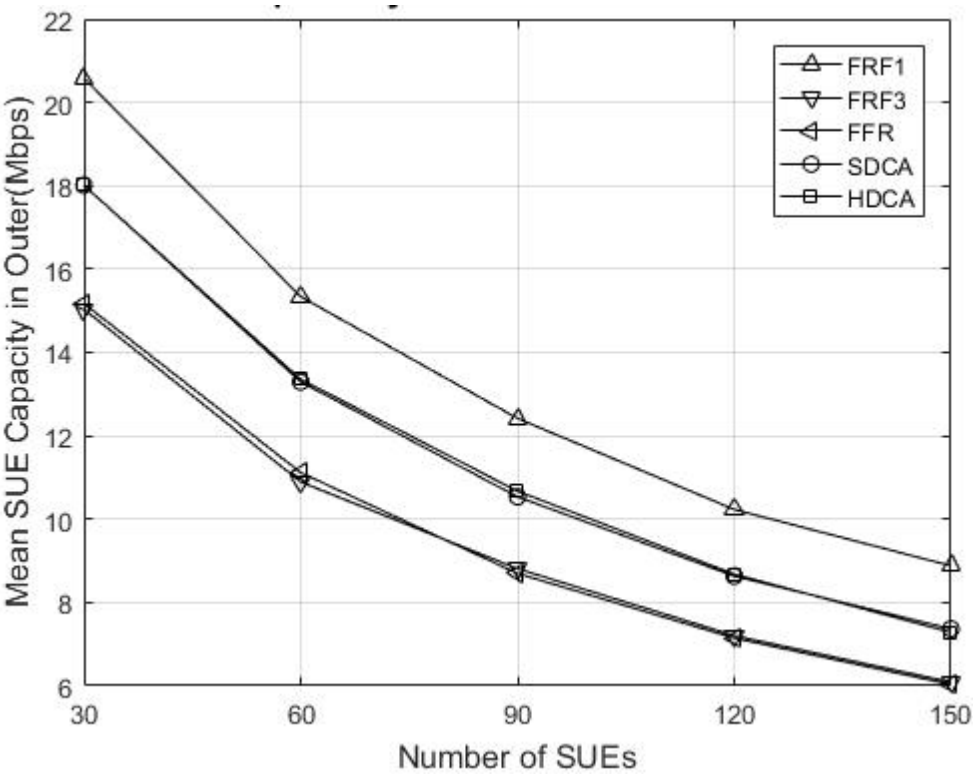


[그림 4-28] Inner zone SUE의 평균 Capacity

셀 중심지역에서의 스몰셀 유저의 Capacity를 보면 HDCA가 FRF1과 비슷해 지는 것을 볼 수 있다. 실제로 FRF1의 스몰셀 유저는 자원을 전부 쓰고 있는 이상적인 상태이다. 셀 경계 중심지역에서 FFR은 d의 자원을 사용하지 않는 반면에, HDCA와 SDCA는 매크로 유저가 사용하는 자원블록을 제외한 나머지 블록을 사용하게 되므로 기존 FFR보다 많은 자원을 사용하게 된다. FFR이 같은 b,c자원을 쓰지만 FRF3보다 낮은 이유는 FRF3는 자원의 2/3을 쓰는 반면, FFR은 자원의 2/6인 1/3을 쓰므로 약 두배 정도 차이나는 것을 볼 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

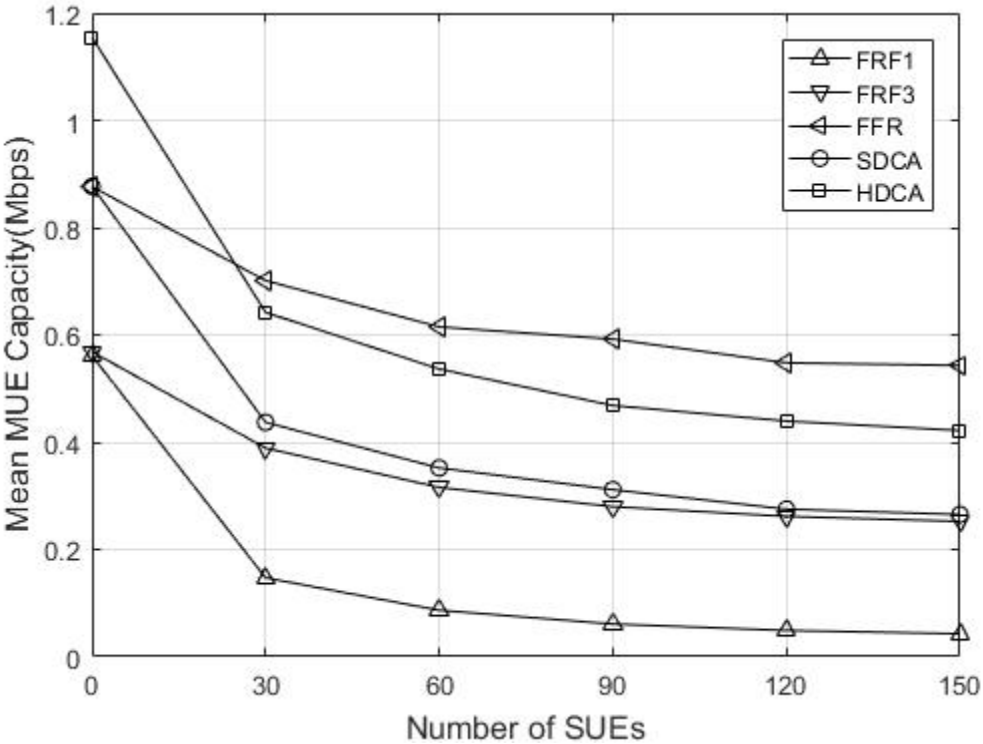


[그림 4-29] Outer zone SUE의 평균 Capacity

셀 Outer 지역의 스몰셀 유저들의 성능도 SDCA와 HDCA가 기존 FFR보다 높은 것을 알 수 있다. 이는 FFR과 SDCA 그리고 HDCA가 각각 자원 d를 사용하기는 하지만, SDCA와 HDCA에서는 간섭제어를 통해 매크로 유저가 사용하는 자원 블록을 제외한 나머지 블록을 사용하여 매크로 기지국으로부터 오는 간섭을 어느 정도 완화시키기 때문에 성능이 FFR보다 좋다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

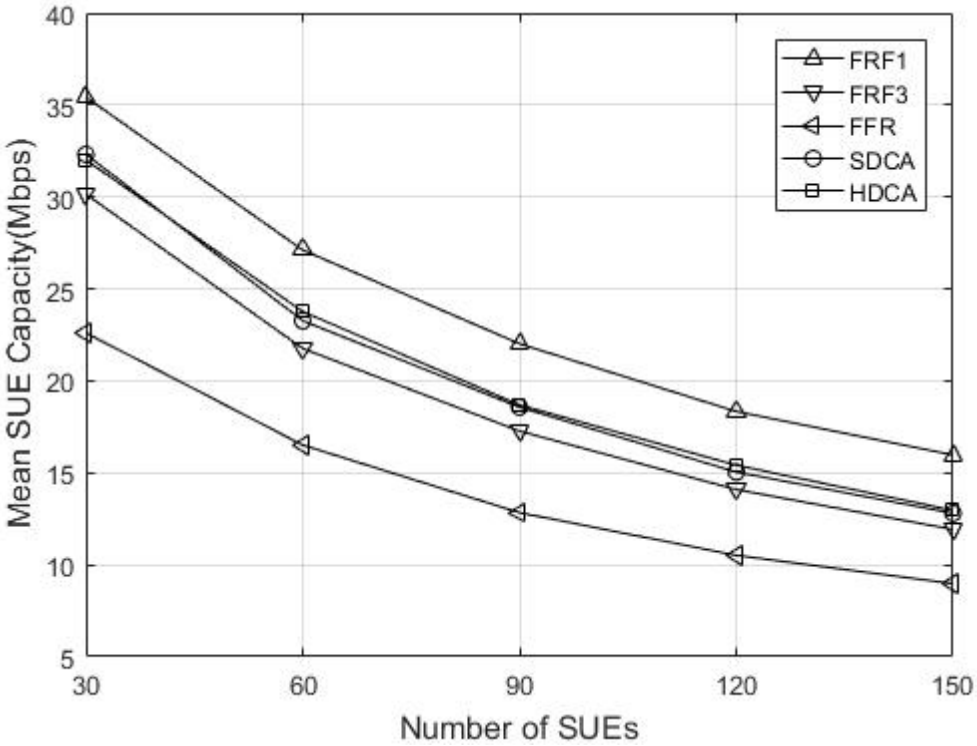


[그림4-30] B_{out}계수=0dB일 때 MUE의 평균 Capacity

B_{out}=0dB일 때 보다 SDCA와 HDCA의 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다. 이는 B_{out}가 -10에서 0으로 바뀌면서 매크로 유저에게 간섭을 주는 자원 블록을 쓰는 스몰셀들이 더 많은 자원블록을 못쓰도록 되어 매크로 유저의 SINR이 증가하였기 때문이다. 매크로셀 유저의 SINR이 올라가므로, 매크로 유저의 Capacity도 올라간다. 마찬가지로 SDCA도 성능향상이 존재한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

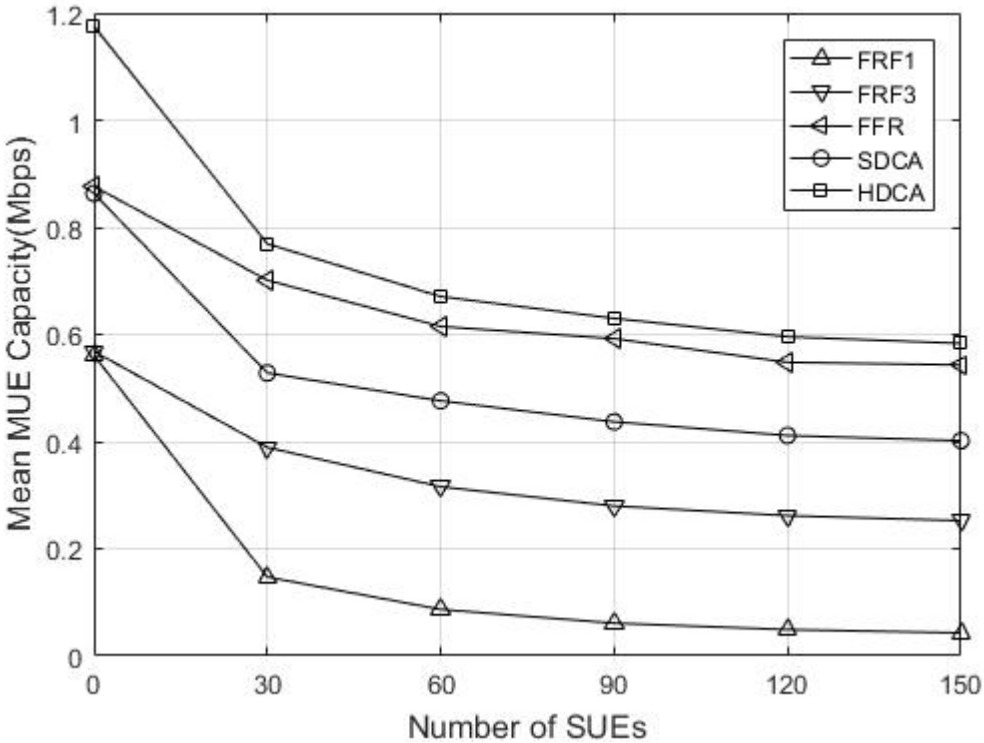


[그림4-31] B_{out}계수=0dB일 때 SUE의 평균 Capacity

제안하는 방법 SDCA와 HDCA가 B_{out}=-10dB보다 그래프가 내려와 있는 것을 알 수 있다. 이는 B_{out}가 -10에서 0dB로 변화하면서 매크로 유저에게 심각한 간섭을 주는 자원 블록들을 기존 B_{out}=-10일때보다 더 제거하므로, 스몰셀 유저에게 할당되는 자원은 그만큼 더 줄어들기 때문이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

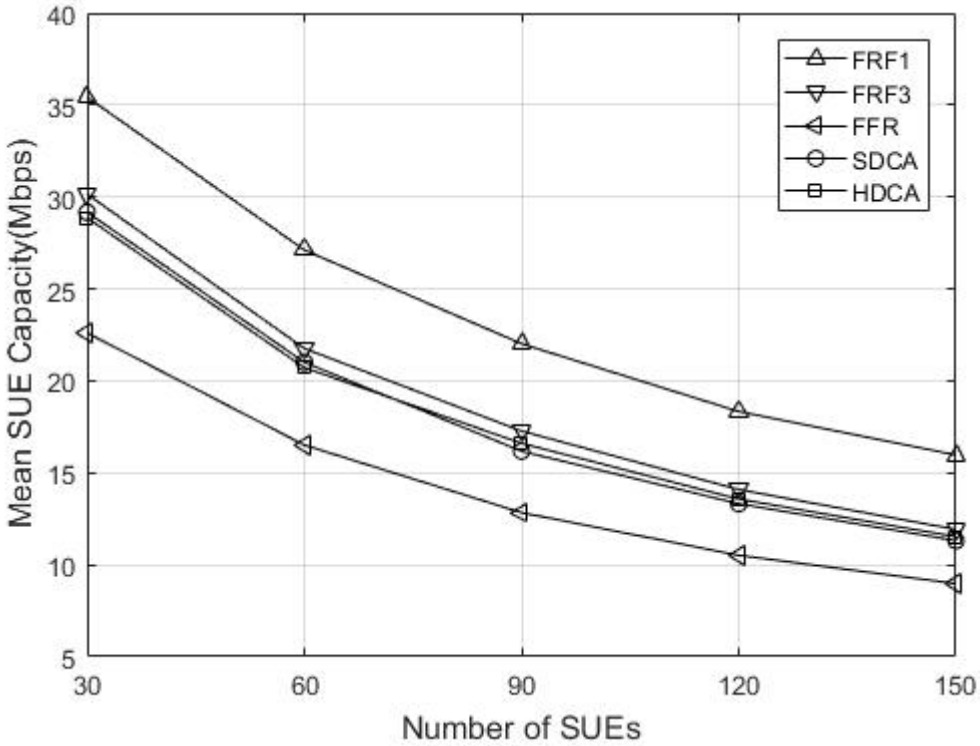


[그림4-32] B_{out}계수=10dB일 때 MUE의 평균 Capacity

이전 B_{out}=-10dB와 0dB일 때 보다도 HDCA의 Capacity가 가장 좋은 것을 알 수 있다. 이는 스몰셀들로부터의 간섭이 알고리즘을 통해 거의 없어져 매크로셀 유저의 SINR이 더욱 상승해서 나온 결과임을 알 수 있다. 마찬가지로 SDCA도 성능 향상이 있는 것을 알 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



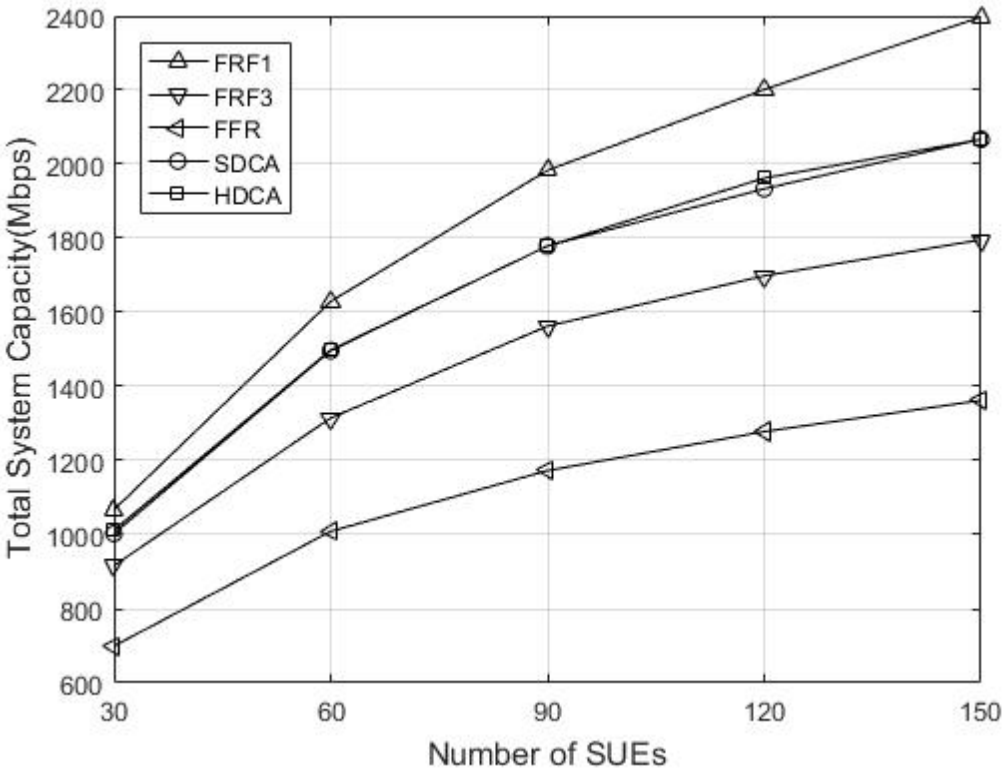
[그림4-33] B_{out}계수=10dB일 때 SUE의 평균 Capacity

스몰셀 유저의 성능은 이전 B_{out}=-10dB와 0dB보다 더욱 떨어져있는 것을 알 수 있다. 이는 매크로 유저의 성능이 향상될수록, 스몰셀들이 사용가능한 D의 자원이 고갈되므로, 기존 b,c만 쓰던 FRF3와 비슷해 지는 것을 알 수 있다. FRF3보다 낮은 이유는 d를 쓰지 않는 FRF3의 스몰셀 유저들은 이웃하는 매크로셀로부터만의 간섭만 존재하므로, SDCA와 HDCA처럼 d부분을 쓰는 스몰셀들이 매크로 기지국으로부터의 간섭이 어느 정도는 포함되므로 나오는 결과이다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. Total System Capacity 비교

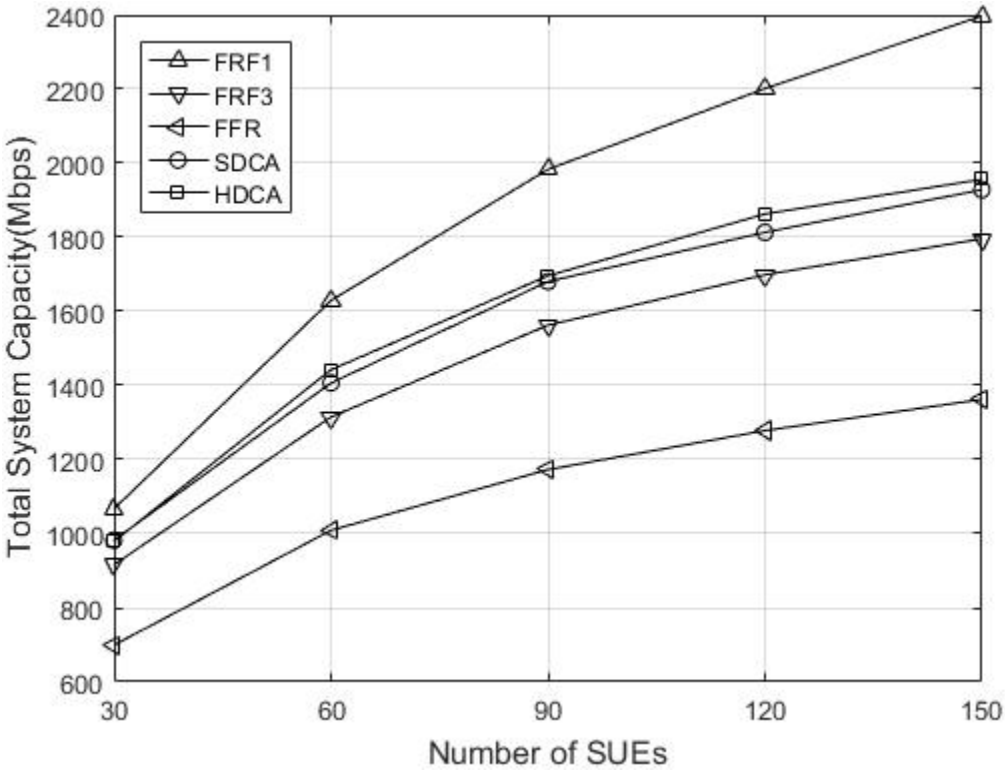


[그림 4-34] Total System Capacity

전체 시스템 Capacity를 비교해보면 자원을 제일 많이 사용할 수 있는 FRF1이 제일 성능이 좋게 보인다. 하지만 Outage면에서 거의 서비스를 받지 못하는 유저들이 많으므로 현실적으로 불가능하다. 제안한 방법 HDCA와 SDCA가 거의 비슷하게 나오지만 이는 SUE의 Capacity값이 커서 미세한 차이가 안 보이는 것이다. MUE의 Capacity측에서 보면HDCA가 SDCA보다 성능이 더 좋다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

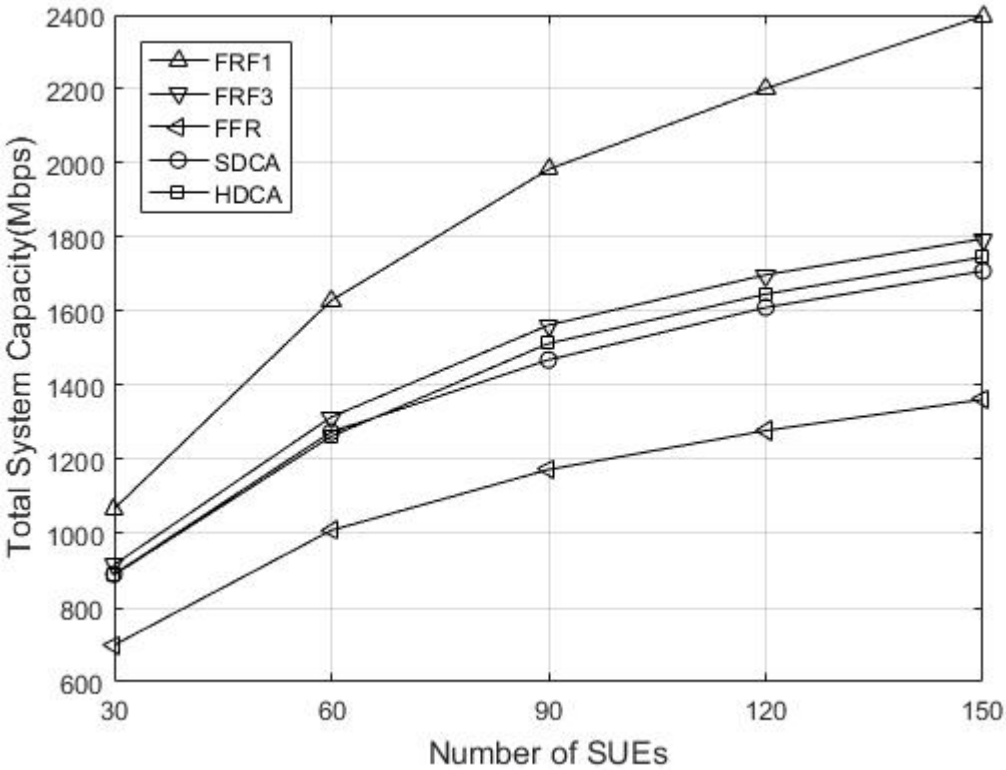


[그림4-35] B_{out}계수=0dB일 때 Total System Capacity

이전과 마찬가지로 매크로셀 유저의 성능은 향상되지만, 기본적으로 스몰셀들이 사용할 자원들은 더 줄어들기 때문에, 전체적인 시스템 용량은 기존의 B_{out}=-10일 때 보다 감소하였다. 제안한 방법 HDCA와 SDCA가 거의 비슷하게 나오지만 이는 SUE의 Capacity값이 커서 미세한 차이가 안 보이는 것이다. MUE의 Capacity측에서 보면HDCA가 SDCA보다 성능이 더 좋다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



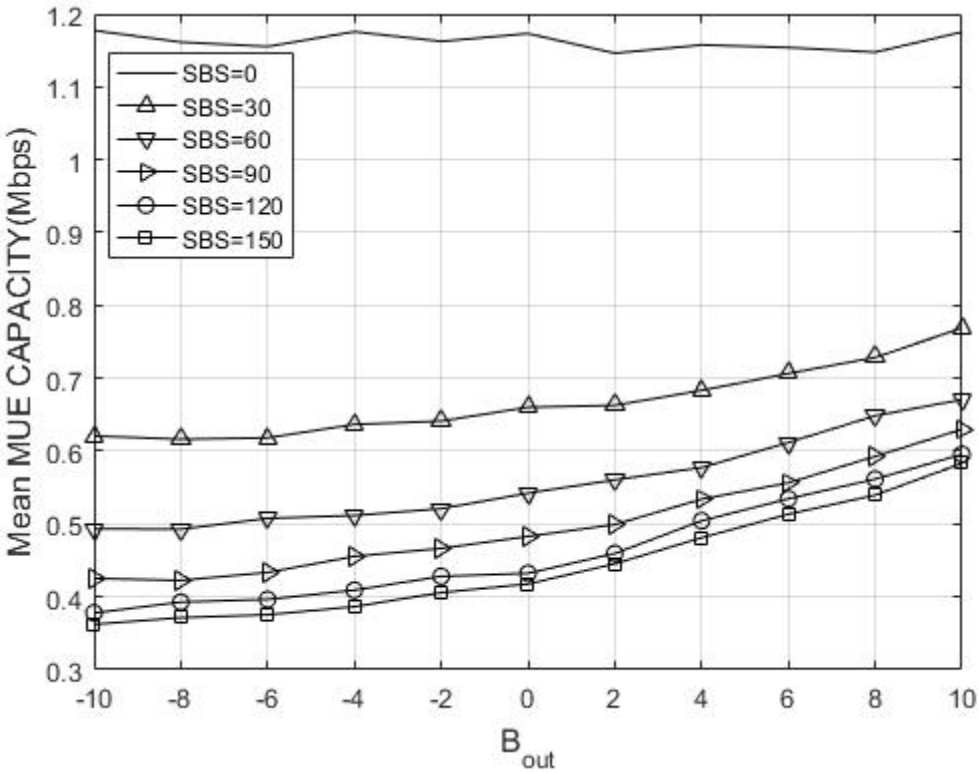
[그림4-36] B_{out}계수=10dB일 때 Total System Capacity

마찬가지로 이전 B_{out}=-10dB와 0dB보다 스몰셀의 성능이 떨어지므로 전체적인 시스템 용량은 낮아졌다. 그러나 매크로 유저측면에서는 성능이 더욱 향상되는 것을 볼 수 있었다.제안한 방법 HDCA와 SDCA가 거의 비슷하게 나오지만 이는 SUE의 Capacity값이 커서 미세한 차이가 안 보이는 것이다. MUE의 Capacity측에서 보면 HDCA가 SDCA보다 성능이 더 좋다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

본 논문에서 제안한 동적 자원할당 부분은 Outage Boundary(B_{out}) 계수를 어떻게 하느냐에 따라 간섭을 많이 주는 스몰셀들의 간섭량을 조절하기 때문에, 계수가 변함에 따라 각 매크로셀 유저와 스몰셀 유저의 성능은 달라지게 된다. 따라서 이를 비교하기 위해서 B_{out}를 -10에서 10dB까지 비교해 보았다.

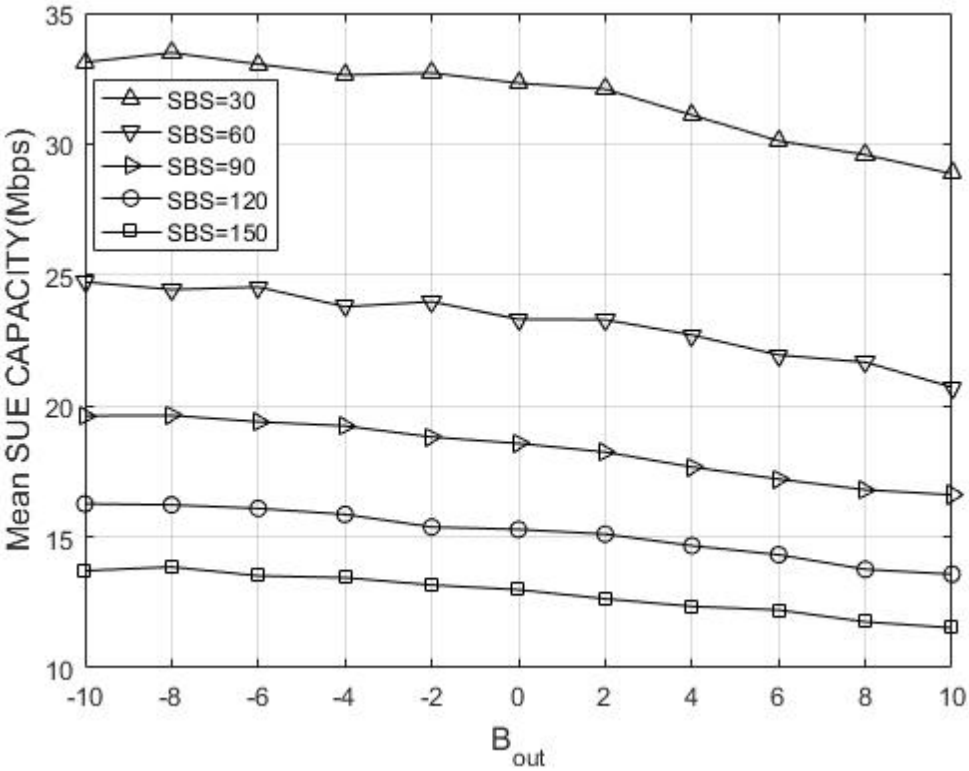


[그림 4-37] B_{out}에 대하여 MUE의 평균 Capacity 추세

B_{out} 기준에 따라 매크로셀 유저에 대한 Capacity는 증가하는 추세를 가지고 있다. 이는 중심셀에서 B_{out}이 높아질수록 간섭제거 알고리즘을 통해 스몰셀들이 매크로 유저가 사용하는 자원블록들을 사용하는 비율이 낮아지므로 간섭은 적어지게 되므로 매크로 유저의 SINR이 향상되고 이에따라 Capacity도 향상되었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

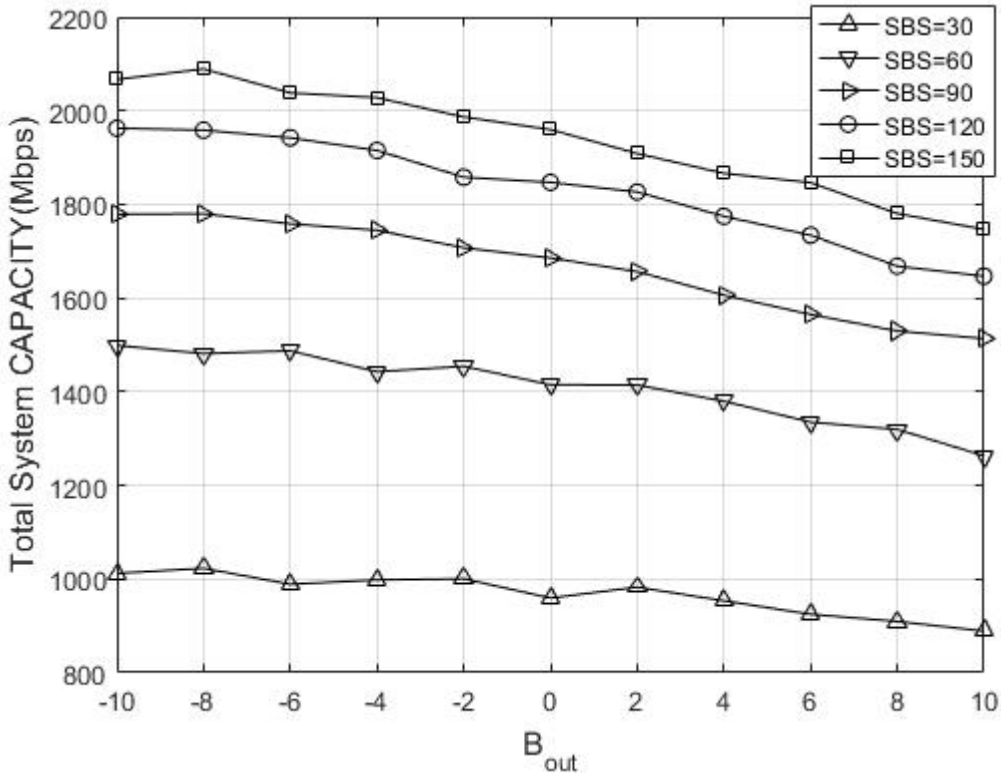


[그림 4-38] B_{out}에 대하여 SUE의 평균 Capacity 추세

B_{out} 기준에 따라 스몰셀 유저에 대한 Capacity는 약간씩이지만 감소하는 추세를 가지고 있다. 앞에서 매크로 유저의 성능이 올라 갈수록 간섭을 주는 스몰셀들이 매크로 유저가 사용하는 동일한 자원블록을 사용하지 않기 때문에, 전체 사용하는 주파수 자원들이 줄어들게 되므로 점점 줄어드는 추세를 가진다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 4-39] B_{out}에 대하여 Total System Capacity 추세

B_{out}기준에 따라 전체적인 시스템 Capacity는 조금씩 감소하는 추세이다. 실제로 매크로 유저에 대한 성능을 올라가지만 그 크기가 스몰셀보다 작은 수치여서 스몰셀 유저의 수치가 떨어지는 것이 더 크므로, 전체 시스템 성능을 떨어지는 것처럼 보인다. 하지만 매크로 유저에 대한 성능은 향상된다. 따라서 본 논문에서는 B_{out}기준을 어느 한 점에 두지 않고 있다. 이는 관점을 매크로 유저의 성능향상을 볼 것인지, 스몰셀 유저의 향상을 볼 것 인지에 중점을 가져야한다. 매크로 유저의 성능을 올리기 위해 B_{out}을 올리면 스몰셀 유저의 자원사용량이 떨어지는 반비례 관계이므로, 상황에 맞추어서 적절한 B_{out}를 결정해야 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5. 결 론

앞으로의 차세대 네트워크에서는 데이터 트래픽이 더욱 급증하는 추세이다. 이를 해결하기 위해 현재 차세대 네트워크에서 표준화 기술이 분석되어지고 있다. 또한 2020년에 네트워크에 대한 상용화가 완료될 것이다. 이러한 차세대 네트워크에서 스몰셀은 여전히 용량 증대 문제를 해결할 중요한 기술이다. 또한 고밀집 형태를 이루는 스몰셀들간의 간섭관리도 중요한 문제이다. 이후 기술들은 새로운 방법들보다 기존의 방법을 활용하여 해결해 나가야 할 것이다. 따라서 기존의 매크로셀과 밀집된 스몰셀들이 같이 있는 환경에서 기존의 방법들을 활용해 서로의 간섭을 줄이는 연구를 하게 되었다.

관련된 연구에서는 이동통신 발전에 따라 기술의 변화를 알아보았고, 표준화 동향에 따른 기술들을 알아보았다. 또한 5G에서의 스몰셀의 연구방향을 알아보고 그에 따른 동향에 대해 알아보았다. 앞으로 급증하는 데이터 트래픽을 수용하기위해 한정된 자원을 이용하는 5G에서 데이터 전송속도와 커버리지를 향상시킬 수 있는 스몰셀 역할은 중요할 것이다.

본 연구에서는 기존의 매크로셀과 스몰셀이 중첩되어 있는 네트워크에서 셀 경계 중심지역에 매크로셀 유저들에게 부족한 성능을 더욱 향상시키도록 하고, 중심지역의 스몰셀들에게 부족한 자원을 더욱 보장해줘 성능을 향상시키도록 하였다. 처음 단계로 SDCA를 통해 매크로셀 유저들의 SINR을 분석하여 이 유저들의 SINR이 목표값에 못 미치는 경우 주위 스몰셀들의 간섭 양과 비교하여 적절한 자원배치를 통해 간섭을 완하시켜 성능을 향상시키고, 스몰셀들이 사용할 수 있는 자원을 늘려 스몰셀 성능을 향상시켰다. 또한 HDCA를 통해 기존 매크로셀 유저들의 수신전력을 두 안테나 NBTC와 WBTC를 통하여 더 강한 신호에 서비스를 받도록하여 SINR을 향상 시켰다.

논문에서는 각 매크로셀과 스몰셀의 유저들의 SINR,Outage,각 유저에 대한 Capacity 그리고 전체 시스템 용량을 통하여 제안하는 방법을 FRF1과 FRF3 그리고 FFR과 성능비교를 하였다. 먼저 SINR을 비교한 결과 FRF1과 FRF3 그리고 FFR보다 매크로 유저들의 성능이 향상되는 것을 확인하였다. 그리고 스몰셀 유저들의 성능또한 FFR보다 좋은 것을 알 수 있다. 두 번째로 Outage비율을 비교하였다. 일반적으로 FRF1이 자원을 제일 많이 가지고 가지만, Outage비율이 높기 때문에 대부분 서비스를 받지 못하는 유저들이 많았다. 그러나 제안한 방법의 SDCA와 HDCA는 적절한 간섭제어와 수신전력을 향상시켰기 때문에 FRF1과 동일한 자원을 사용하더라도 Outage비율이 낮은 것을 확인하였다. 세 번째로 Capacity를 비교하였다. Capacity부분에서는 양면성을 볼 수 있었다. SDCA와 HDCA방법에서 매크로 유저의 Capacity를 올리면 올릴수록, 스몰셀 유저가 사용할 자원이 부족해져 반대로 스몰셀 유저의 Capacity는 내려가는 추세를 보였다. 하지

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

만 이는 FFR보다 높은 성능을 보였으며, 최대로 매크로 유저의 성능을 향상시켰다고 가정한 Boundary에서 스몰셀 유저의 감소된 성능이 FRF3와 비슷해짐을 볼 수 있었다. 마지막으로 전체 시스템 Capacity를 비교하여 전체적인 시스템 성능을 비교하였다. 전체적인 시스템은 매크로 유저의 성능이 향상될수록 스몰셀 유저의 성능이 감소하여 전체적인 시스템 성능은 감소하는 추세를 보였다.

비교결과 제안하는 방법은 매크로셀 유저의 성능을 향상 시키는 점과 스몰셀 사용자의 자원사용량을 높여 성능을 향상 시키는 점이 있다. 제안한 방법은 두 가지 관점을 가지고 접근 가능해 진다. 매크로셀 유저의 성능을 향상시켜서 스몰셀의 성능을 자원이 많은 상태에서 감소시키는 면과 매크로셀 유저의 성능을 두고 스몰셀의 자원 사용량을 높여 스몰셀의 성능을 향상시키는 점이다. 이러한 두 개의 관점은 앞으로 다가올 차세대 네트워크에서 효율적으로 쓰일 것이다. 전자는 스몰셀의 추가된 자원들이 불필요해지는 경우에 이를 줄여 매크로 유저의 성능을 향상시키는 이점과 후자는 매크로 사용자의 성능은 유지한채로 스몰셀들의 부족한 자원을 채워주기 위해서 쓸 수 있는 점이다. 이러한 유동성은 밀집된 환경에서 경우에 따라 대처할 수 있기 때문이다.

이기종 네트워크에서의 발생하는 간섭은 매크로셀과 스몰셀의 성능을 감소시킨다. 차세대 네트워크에서는 더욱 밀집된 형태인 UDN환경으로 발전되어 이러한 간섭문제 앞으로도 중요한 연구과제가 될 것이다. 이뿐만 아니라 UDN환경에서의 스몰셀간 간섭관리 또한 중요할 것으로 전망된다. 따라서 2차원적인 스몰셀 환경뿐만 아니라 3차원적인 연구도 필요할 것이라고 생각된다. 다음 연구에서는 스몰셀들이 건물 내에 있는 Enterprise UDN 환경에서 각 스몰셀들의 간섭을 제어할 수 있는 효율적인 자원관리에 대한 접근이 필요하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고 문헌

[1] Cisco, "Visual Networking Index:Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014-2019 White Paper", Feb. 3rd, 2015.

[2] Viva "Optimizing small cells and the Heterogeneous Network(HetNet) "

[3] STATISTA, https://www.statista.com/chartoftheday/

[4] 원정욱, 장길수, 전학성, "무선랜과 이동통신의 결합," 주간기술동향 통권 1110호, 한국전자통신연구원, 2003, 8., pp.1-15.

[5] ABI Research, "LTE and LTE-Advanced; Infrastructure, Network Elements, Handsets, Devices, Subscribers," Dec. 28, 2010.

[6] 미래창조과학부, http://www.msip.go.kr/web/main/main.do

[7] Recommendation ITU-R M.2083-0 "IMT Vision Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond" Sept.2015.

[8] IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, ITU, Feb. 2014

[9] SK Telecom, 5G White Paper, 2014.

[10] 김문홍, 박종한, 나민수, 조성호 "5G 이동통신기술 발전방향" SK Telecom 5G Tech Lab, 한국통신학회

[11] 3GPP, http://www.3gpp.org

[12] Small Cell Forum, http://www.smallcellforum.org

[13] LTE Small Cell vs WiFi User Experience - Huawei

[14] SK Telecom, 5G White Paper, 2014.

[15] Hamza, A.S.; Khalifa, S.S.; Hamza, H.S.; Elsayed, K., " A Survey on Inter-Cell Interference Coordination Techniques in OFDMA-Based Cellular Networks," in Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol.15, no.4, pp.1642-1670, Fourth Quarter 2013

[16] 좌혜경,김승현,나지현 "소형셀 간섭제어 기술 동향 " 전자통신동향분석 한국전자통신연구원

[17] Yuanye Wang and K.I. Pedersen. Performance analysis of enhanced inter-cell interference coordination in lte-advanced heterogeneous networks. In

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2012 IEEE 75th, pages 1-5, 2012

[18] M. Cierny, H. Wang, R. Wichman, Z. Ding, and C. Wijting, "Onnumberofalmostblanksubframesinheterogeneouscellular networks," Wireless Communications, IEEE Transactions on, vol. 12, pp. 5061-5073, October 2013.

[19] Lopez-Perez,D.;Xiaoli Chu and Guvenc, I., "On the Expanded Region of Picocells in Heterogeneous Networks," Selected Topics in Signal Processing, IEE Journal of, vol.6,no.3,pp.281,294,June 2012.

[20] Daewon Lee; Hanbyul Seo; Bruno Clerckx; Eric Hardouin; David Mazzarese; Satoshi Nagata; Krishna Sayana "Coordinated multipoint transmission and reception in LTE-advanced: deployment scenarios and operational challenges" IEEE Communications Magazine 2012

[21] Haeyoung Lee, Seiamak Vahid, and Klaus Moessner. A survey of radio resource management for spectrum aggregation in LTE-advanced. IEEE Commun. Surveys & Tutorials, 16(2):745-760, May 2014.

[22] Hugo T ullberg. P h.D M ETIS T echnical M anager " METIS Conecpts for 5G" Aprill, 2014

[23] Workshop on 5G Ultra Dense Networks 2017 May

[24] 문정모, 나지현, 권동승 "UDN을 위한 소형셀 기술동향" 한국전자통신연구원

[25] 3GPP, http://www.3gpp.org/

[26] 3GPP TSG RAN TR 36.872 v12.1.0, "Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Physical Layer Aspects", 2013-12

[27] Yongsheng Shi, Allen B. MacKenize, Luiz A. Dasilva "On Resource Reuse for Cellular Networks with Femto- and Macrocell Coexistence" Proceedings IEEE Globecom 2010

[28] 배원건, 김정곤 "FFR기반의 Femtocell네트워크를 위한 적응 주파수 자원할당 방법" 2012.7. 한국통신학회논문지 37(7), 505-516

[29] NAZMUS SAQUIB, EKRAM HOSSAIN, AND DONG IN KIM "FRACTIONAL FREQUENCY REUSE FOR INTERFERENCE MANAGEMENT IN LTE-ADVANCED HETNETS" IEEE Wireless Communications April 2013

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[30] 양정렬, 진미성, 김동인 “국제 표준 LTE-Advanced에서 논의되고 있는 Heterogeneous Network 관련 Interference Management 기술”

[31] M. Assaad, “Optimal Fractional Frequency Reuse (FFR) in Multicellular OFDMA System,” IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Sept. 2008.

[32] D. Lee, C. Xu, U. Mayekar, M. Mohile, “Frequency reuse factor vs. pathloss exponent and sectorization,” IEEE MTT-S Symposium on Technologies for Wireless Applications Digest, 1997.

[33] 3GPP TR 25.996 V10.0.0 “Spatial channel model for Mutiple Input Multiple Output(MIMO) simulations(Release 10)” 2011-03

[34] Nguyen, V. A., Wan, P.J., and Frieder, O. (2002). “Channel alternation and rotation in narrow beam tri-sectored cellular systems,” Proc. of European Wireless, 2, 739-745.

[35] Nguyen, V. A., Wan, P.J., and Frieder, O. (2001). “Channel alternation and rotation for tri-sectored directional antenna cellular systems,” IEEE Vehicular Technology Conference, 54, 1, 394-398.

[36] T. Lee, H. Kim, J. P, and J. Shin, “ An Efficient Resource Allocation in OFDMA Femtocells Networks,” IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Sept. 2010.

[37] 3GPP TR 36.814 V9.2.0, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects(Release 9)” 2017-03

[38] V. A. Nguyen, Peng-Jun Wan, O. Frieder “Channel alternation and rotation for tri-sectored directional antenna cellular systems ” IEEE 54th Vehicular Technology Conference. VTC Fall 2001. Proceedings

Collection @ chosun