



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](#)

2021년 8월
박사학위 논문

차세대 이동통신 시스템에서
HetNet 구성과 AI기술을 통한
시스템 성능향상 기법 연구

조선대학교 대학원

전산통계학과

김윤환

차세대 이동통신 시스템에서 HetNet 구성과 AI기술을 통한 시스템 성능향상 기법 연구

A Study on System Performance Improvement Technique
through HetNet Configuration and AI Technology in
Next-generation Mobile Communication System

2021년 8월 27일

조선대학교 대학원

전산통계학과

김윤환

차세대 이동통신 시스템에서 HetNet 구성과 AI기술을 통한 시스템 성능향상 기법 연구

지도교수 배 상 현

이 논문을 이학박사학위신청 논문으로 제출함

2021년 4월

조선대학교 대학원

전 산 통 계 학 과

김 윤 환

김윤환의 박사학위논문을 인준함

위원장	목포대학교 교수	<u>장 봉 석 (인)</u>
위원	조선대학교 교수	<u>권 용 만 (인)</u>
위원	조선대학교 교수	<u>장 인 흥 (인)</u>
위원	조선대학교 교수	<u>김 세 진 (인)</u>
위원	조선대학교 교수	<u>배 상 현 (인)</u>

2021년 6월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제1장 서론	1
제1절 연구 배경	1
제2절 연구 목적	4
제2장 관련 기술	5
제1절 이동통신의 발전 과정	5
제2절 4세대 이동통신	5
1. LTE 통신	5
2. LTE-A 통신	6
제3절 5세대 이동통신	10
1. 초 광대역 서비스	12
2. 초저지연 통신	12
3. 대량연결	13
4. 밀리미터파	14
5. 고주파대역의 경로손실	15
제4절 스몰셀 네트워크	16
1. 스몰셀 기술 정의	17
2. 초밀집네트워크	17
제5절 D2D 통신	19
1. D2D 통신 정의	19
2. D2D 통신의 종류와 방식	20

3. D2D 통신의 절차	21
4. D2D 통신 효율 향상 기술	24
제6절 이기종네트워크에서의 간섭	25
제7절 이동통신 시스템에서 HetNet 구성 연구 동향	28
제8절 인공지능	31
1. 머신러닝	31
2. 딥러닝	34
3. 이동통신 시스템에서 인공지능 알고리즘 적용 국내외 연구 동향	35
제3장 HetNet 기술 적용을 통한 시스템 성능향상	
기법 연구	37
제1절 시스템 모델	37
1. 시스템 파라미터	37
2. 스몰셀 네트워크	38
3. D2D 네트워크	39
4. 스몰셀네트워크와 D2D네트워크의 Outage	40
제2절 각 시스템별 성능 분석 방법	43
1. 매크로 통신의 SINR과 시스템 용량	43
2. D2D 통신의 SINR과 시스템 용량	44
3. 단말의 비트크기, 지연, 처리량 관계	45
제3절 이기종 네트워크 통신 알고리즘	46
1. 스몰셀 알고리즘	46
2. 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘	48
3. 단말간직접통신 알고리즘	50

4. 스몰셀-D2D 하이브리드 알고리즘	52
제4절 시뮬레이션 결과	54
1. 이동통신 성능 비교	54
2. 스몰셀 통신 시뮬레이션 결과	57
3. D2D 통신 시뮬레이션 결과	61
4. 스몰셀, D2D 통신 성능 비교	63
5. 스몰셀-D2D 하이브리드 알고리즘 시뮬레이션 결과 ..	64
제5절 요약	65
제4장 AI 기술 적용 시스템 성능 향상 기법	66
제1절 시스템 모델	66
1. 시스템 파라미터	66
제2절 스몰셀 머신러닝 알고리즘	67
1. 서포트벡터머신 알고리즘 분류 예측	68
2. 로지스틱 회귀 알고리즘 분류 예측	69
3. 결정트리 알고리즘 분류 예측	69
제3절 스몰셀 머신러닝 알고리즘 성능 분석 방법	70
1. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 정확도 분석	71
2. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 재현율 분석	72
3. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 정밀도 분석	73
4. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 F1-score 분석	74
5. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 학습 속도 및 성능 종합 분석	75
제4절 스몰셀 머신러닝 알고리즘 성능 분석	77
1. SVM 알고리즘 시뮬레이션 결과	77

2. 결정트리 알고리즘 시뮬레이션 결과	78
3. 로지스틱회귀 알고리즘 시뮬레이션 결과	79
4. SVM 알고리즘 이중훈련 시뮬레이션 결과	80
5. 결정트리 알고리즘 이중훈련 시뮬레이션 결과	81
6. 로지스틱 회귀 알고리즘 이중훈련 시뮬레이션 결과 ...	82
제5절 요약	83
제5장 결론	84
제6장 참고문헌	86

표목차

[표 2-1] 주파수 결합에 따른 데이터 속도	8
[표 2-2] D2D와 WLAN 및 블루투스와의 비교	21
[표 3-1] 시스템 파라미터	37
[표 4-1] 시스템 파라미터	66
[표 4-2] Confusion matrix	70
[표 4-3] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 학습 속도	75

그림목차

[그림 1-1] 2030까지 트래픽 증가 예상[1]	1
[그림 1-2] 이동통신 사업자 주파수 할당 현황[9]	2
[그림 1-3] 맨하탄시 AT&T 스몰셀 구동에 대한 머신러닝 시스템 구현[36]	3
[그림 1-4] 5G 스몰셀 기술 개발 로드맵[42]	4
[그림 2-1] OFDM 통신방식 [49]	6
[그림 2-2] 4G-LTE 기술 표준화 과정[51]	7
[그림 2-3] 주파수 결합 [52]	8
[그림 2-4] 셀 간 간섭	9
[그림 2-5] 모바일 데이터 트래픽의 성장 및 분포 예상 [57]	10
[그림 2-6] IMT-2020 사용 시나리오 [62]	11
[그림 2-7] 다양항 사용 시나리오에서 5G 이동통신의 주요 기능의 중요성	12
[그림 2-8] IMT-2020 성능 요구 사항[60]	13
[그림 2-9] 밀리미터파 경로손실 요인[56]	14
[그림 2-10] 밀리미터파의 매질에 따른 신호감쇄[67]	15
[그림 2-11] FDD 방식과 TDD방식의 비교[71]	16
[그림 2-12] 스몰셀 시스템	17
[그림 2-13] Ultra Dense Network [75]	18
[그림 2-14] 셀룰러 네트워크에서의 D2D 통신[76]	19
[그림 2-15] D2D 탐색 단계 [89]	22
[그림 2-16] D2D 통신 모드[89]	24
[그림 2-17] 스몰셀 망 구조	25
[그림 2-18] 단말간직접통신(비공유방식, Split)	26
[그림 2-19] 단말간직접통신(공유방식, Shared)	27
[그림 2-20] 다층 빌딩에서의 스몰셀 네트워크[90]	28
[그림 2-21] 스몰셀 배치에 대한 외부 전력선 구성 연구[91]	28
[그림 2-22] 재난 시나리오에 따른 드론을 이용한 스몰셀 네트워크 시스템	

.....	29
[그림 2-23] 재난 시나리오에서 드론을 이용한 D2D 네트워크 구축	29
[그림 2-24] 이기종네트워크에서 비면허대역과 면허대역에 대한 연구	30
[그림 2-25] 머신러닝 종류	31
[그림 2-26] 이기종 네트워크 오프로딩에 대한 머신러닝 기술 적용	35
[그림 2-27] 스몰셀 협력전송(CoMP)에 대한 머신러닝 훈련모델 적용 예	36
[그림 3-1] 스몰셀 네트워크 시스템	38
[그림 3-2] D2D 네트워크 시스템	39
[그림 3-3] 스몰셀 네트워크 Outage	40
[그림 3-4] 단말간직접통신 Outage(Shared)	41
[그림 3-5] 단말간 직접통신 Outage(Split)	42
[그림 3-6] 스몰셀 시스템 배치 알고리즘	47
[그림 3-7] 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘	49
[그림 3-8] 단말간직접통신 알고리즘	50
[그림 3-9] D2D 통신의 자원할당 단계	51
[그림 3-10] 스몰셀-단말간직접통신 하이브리드 알고리즘	53
[그림 3-11] 5G통신과 4G통신의 SINR CDF	54
[그림 3-12] 매크로통신 SINR과 스몰셀기술 적용시의 SINR	55
[그림 3-13] 셀룰러 시스템에서 D2D 통신과 매크로통신 SINR	56
[그림 3-14] 스몰셀 통신 방법 비교	57
[그림 3-15] 스몰셀 통신 평균 시스템 총량	58
[그림 3-16] 스몰셀 알고리즘 적용에 대한 PRB 사용의 수	59
[그림 3-17] 스몰셀 증가에 따른 매크로통신 Outage	60
[그림 3-18] 단말간직접통신 평균 시스템 총량	61
[그림 3-19] 송신 D2D 유저수 증가에 따른 매크로통신 Outage	62
[그림 3-20] 스몰셀, D2D 기술 적용 시스템 총량 비교	63
[그림 3-21] 스몰셀-단말간직접통신 하이브리드 알고리즘 평균 시스템 총량	64
[그림 4-1] 스몰셀 SVM 알고리즘 훈련모델을 이용한 분류결과	68
[그림 4-2] 결정트리 훈련 모델	69

[그림 4-3] 머신러닝 알고리즘 정확도	71
[그림 4-4] 머신러닝 재현율	72
[그림 4-5] 머신러닝 알고리즘 정밀도	73
[그림 4-6] 머신러닝 알고리즘 F1-score	74
[그림 4-7] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(SVM)	77
[그림 4-8] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(결정트리)	78
[그림 4-9] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(로지스틱)	79
[그림 4-10] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(SVM-proposed) ..	80
[그림 4-11] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(결정트리-proposed)	81
[그림 4-12] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(로지스틱회귀-proposed)	82
[그림 4-13] 스몰셀 머신러닝 전체 알고리즘 평균 시스템 총량	83

ABSTRACT

A Study on system performance improvement technique through HetNet configuration and AI based system in Next-generation mobile communication system

Kim YoonHwan

Advisor : Prof. Bae Sanghyun, Ph.D.

Department of Computer Science and
Statistics,

Graduate School of Chosun University

Mobile traffic has been increasing exponentially recently as mobile communication terminals and users' usage patterns have shifted from text data, pictures, and voice to video-oriented streaming services. 5th generation mobile communication technology, which is named IMT-2020 in ITU, is a technology that meets 1000 times data traffic capacity, low latency, high energy efficiency, and cost compared to 4th generation LTE systems.

It may be difficult to provide services compared to existing 4G LTE systems due to very high path loss due to high frequency area use. Various technologies are being studied to overcome these shortcomings. In this paper, we introduce Small-Cell and D2D technologies and AI technologies as technologies for improving system performance of 5-generation mobile communication systems. In this thesis analyze the performance by comparing the results of the application of each technique and the application of the proposed algorithm.

The analysis results show that using Small-Cells and D2D in 5th generation mobile communication systems can significantly reduce the problem of shading area improvement and path loss, which is a disadvantage of 5G. However, since

Macrocells and Small-Cells use limited frequencies, interference problems occur, especially terminals on the cell boundary are heavily affected by interference from neighboring cells, and interference problems between Macrocells can occur within cells. In this thesis, we propose algorithm applications for Small-Cell and D2D technologies and hybrid algorithms of both technologies to improve the performance of cellular communication, and further introduce algorithms such as support vector machines, logistic regression, and decision tree.

Simulations show that the performance improvement portion of the proposed Small-Cell algorithm compared to the general application of Small-Cells, and the proposed algorithm to control the amount of Small -Cell interference can be observed 2.86x performance improvement over conventional macro systems. D2D communication also showed higher performance compared to macro-systems in application, and eventually applied Small-Cell, D2D hybrid algorithms to produce better results. Furthermore, we applied the learned AI algorithm based on data from the Small-Cell position, user position, SINR, and capacity of the system, and it was shown that the dual training algorithm of the proposed SVM algorithm has 98.1% accuracy and high system performance compared to the previous 92.8%.

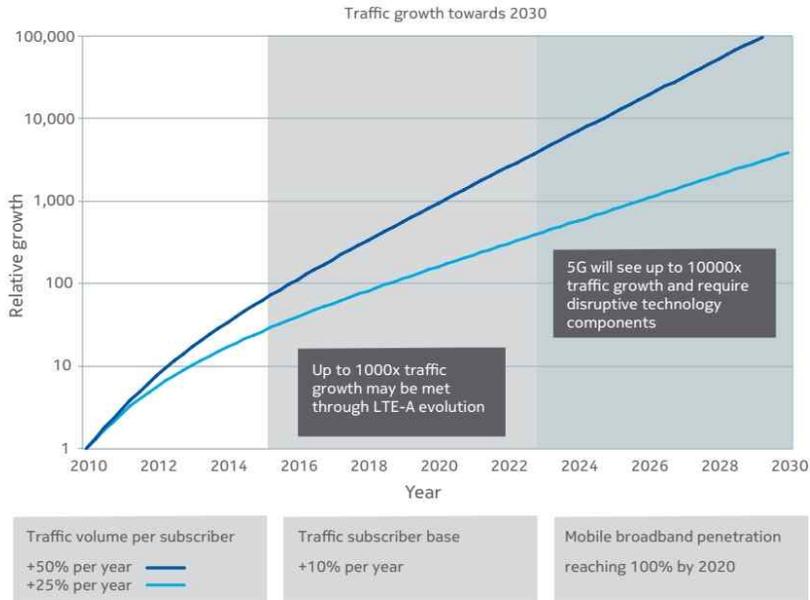
Configuration of HetNet such as Small-Cells and D2D communication is considered essential for Next-generation mobile communication, and it was observed that AI technology actively improves system performance along with reducing variables in the actual environment.

Keywords: 5G, LTE, Small-Cell, D2D, Mobile Communication

제1장 서론

제1절 연구 배경

최근 모바일기기의 보급과 통신기술의 급속한 발전으로 인하여 모바일 데이터 트래픽이 음성, 텍스트, 사진 등의 데이터를 벗어나 동영상 위주의 시각 미디어로 옮겨감에 따라 데이터 트래픽이 매년 증가하고 있으며 그림 1-1에서 보는 것과 같이 향후 10년 동안 데이터 트래픽이 약 1000배 증가할 것으로 전망하고 있다.[1-5]



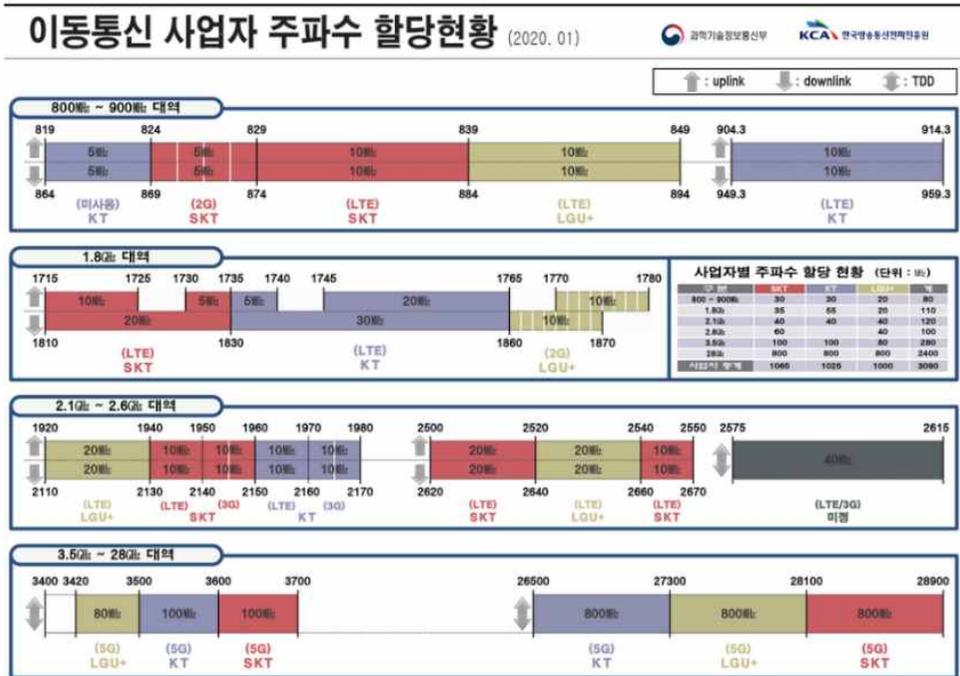
[그림 1-1] 2030까지 트래픽 증가 예상[1]

이러한 데이터 트래픽의 급격한 증가에 대응하여 통신 서비스 사업자는 한정된 자원과 주파수의 이용에 대한 포화상태로 신규 기술인 5G 기술을 상용화 하고 있다.[6]

5세대 이동통신 시스템은 4세대 이동통신 시스템 대비 1000배의 데이터 트래픽 수용과 연결 디바이스의 수용 규모, 저지연, 높은 에너지 효율, 비용을 충족하는 기술이다.[7] 그림 1-2에서 보는 것과 같이 5G 시스템의 경우 국내 통신사의 경우 SK(3.6~3.7GHz, 28.1~28.9GHz), KT(3.5~3.6GHz, 26.5~27.3GHz), LGU+(3.42~3.5GHz, 27.3~28.1GHz)를 배정받아 2020년 현재 3

기가 대역만 서비스 중이며 밀리미터파는 향후 서비스할 계획이다.[9]

5세대 이동통신의 문제는 4세대와 비교하여 높은 주파수로 인한 경로손실이 있다는 것이다. 3GHz 뿐만 아니라 향후 서비스 될 28GHz의 경우 수분, 벽, 창문 등에 매우 큰 손실이 발생한다.[10]



[그림 1-2] 이동통신 사업자 주파수 할당 현황[9]

이런 단점을 극복하기 위하여 연구되고 있는 스몰셀과 단말간직접통신 D2D(Device-to-Device) 통신기술은 기존 4세대 이동통신시스템에서도 커버리지 확장 및 주파수 재이용을 이용한 시스템 성능 향상을 시킬 수 있는 기술로 5세대 이동통신의 주요 핵심 기술인 밀리미터파의 사용에 따른 해결방안으로 제시 할 수 있는 기술이다.[11-19]

스몰셀은 3GPP Release.10에서 표준화가 진행되었으며 면허대역에서의 통신성능향상을 위하여 3GPP Release.10, 3GPP Release.11에서 스몰셀 기술로 정의되어 연구되어오고 있다.[20] 스몰셀 기술은 Small-Cell Forum이라는 국제협회에서 교류 및 표준화를 진행하고 있으며 국내외에서 지속적으로 연구

를 진행 중이다. D2D 기술은 3GPP Release 12에서 표준화를 진행하였다.[21] 국외 기술 연구는 매크로기지국과 스몰셀의 간섭제어와 커버리지 확률을 고려한 핸드오버에 대한 연구[22-23], 면허대역/비면허대역 사용[24-30], SON(Self Organizing Network)[31-33], 스몰셀 배치[34-35], 5G 스몰셀 네트워크를 위한 Precision planning 의 연구를 진행 중이며 그림 1-3에서 보는 바와 같이 AT&T는 스몰셀 배치에 머신러닝 알고리즘을 적용하여 최대성능과 점미 아닌 커버리지최대화와 비용을 최적화하는 방안을 연구 중이다.[36]

Manual design (185 sites)



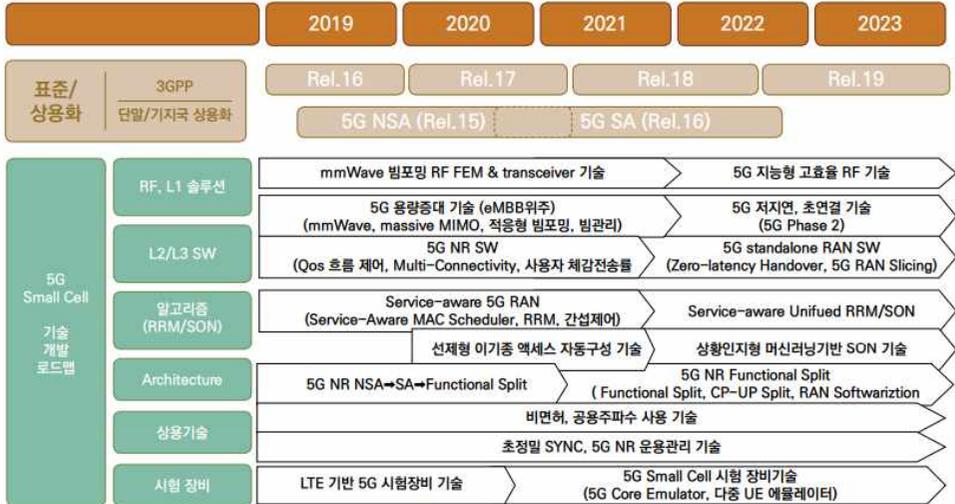
Automated design (111 sites)



[그림 1-3] 맨하탄시 AT&T 스몰셀 구동에 대한 머신러닝 시스템 구현[36]

또한 SON(Self Organizing Network) 관련 알고리즘에 대한 연구로 머신러닝에 기반한 연구[37]와 밀집도심 시나리오에서 비디오 스트리밍 서비스를 위한 D2D 통신 등의 이기종 네트워크 망에 대한 SON연구[38] 등 많은 연구가 진행 중에 있다. 최근 국내 연구는 셀룰러 망에서 D2D 통신이용에 대한 에너지 최적화연구[39]와 셀룰러 다운로드 네트워크를 위한 D2D 통신 파워컨트롤에 대한 연구[40]등 많은 연구가 이루어지고 있으며 군사학적인 면에서 5G 기반의 스몰셀의 이용과 D2D기술의 응용에 대한 연구를 진행 중이다.[41] 스몰셀 국내 5G 포럼에서는 그림 1-4에서 보는 바와 같이 스몰셀 기술 개발 로드맵으로 2023년 까지 Service-aware 5G RAN과 Service-aware Unified

RRM/SON 개발을 제안하고 있으며 2020년부터 선제형 이기종 액세스 자동구성 기술과 2021년부터 상황인지형 머신러닝기반 SON 기술개발을 2023년까지 개발하는 것으로 제안하고 있다.[42]



[그림 1-4] 5G 스몰셀 기술 개발 로드맵[42]

제2절 연구 목적

본 연구는 이러한 차세대 이동통신 시스템의 성능향상을 위하여 스몰셀 기술과 D2D 기술을 적용하여 해결해보고자 하였으며 두 기술을 셀룰러 시스템에 각각 적용하거나 하이브리드 방식을 구축하여 성능분석을 하였으며 인공지능기술인 머신러닝기법을 스몰셀 네트워크 시스템에 적용하여 시뮬레이션 환경을 구현하고 각 머신러닝 알고리즘에 대한 성능분석과 해당 기술의 적용에 대하여 기존 시스템과의 비교와 이중학습 기법 적용에 대한 시스템 성능향상 부분을 분석해보고자 한다.

제2장 관련 기술

제1절 이동통신의 발전 과정

현대 이동통신의 첫 시작은 1984년 아날로그로 시작된 1세대 이동통신(1G)은 음성 전화 서비스로 전송속도 9.6~14.4Kbps, 2세대 이동통신(2G)은 CDMA 기반의 음성과 문자 서비스로 전송속도 14.4Kbps~64Kbps로 서비스를 하였다.[43] 2006년 3세대(3G) 이동통신 부터는 최대 2.4Mbps의 속도 지원으로 화상전화와 멀티미디어 문자전송이 가능해졌다.[44] 2011년 4세대 LTE 이동통신 등장부터는 최대 1Gbps의 빠른 속도의 지원으로 모바일 동영상 서비스가 가능해졌으며 2020년부터 전세계에서 최초로 한국에서 상용서비스가 시작된 5세대 이동통신은 최대 20Gbps를 지원하는 초고속 무선서비스를 제공하고 있다.[45]

제2절 4세대 이동통신

1. LTE 통신

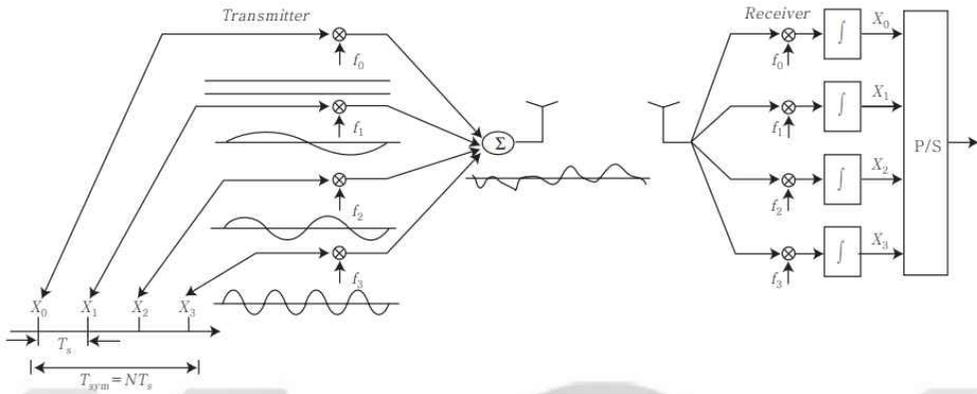
4세대 이동통신시스템의 첫단계인 LTE(Long Term Evolution)통신은 2008년 12월에 확정된 3GPP Rel.8에 기반하고 있으며 3세대 이동통신 시스템에 비해 12배 이상의 빠른 속도로 통신을 수행 할 수 있다. LTE통신의 핵심기술은 직교주파수분할다중(OFDM; Orthogonal Frequency Division Multiplexing)과 다중안테나(MIMO; Multiple Input Multiple Output)를 사용하여 큰 변화가 있었고 패킷데이터 기반으로 동작시켜 기술적인 큰 변화가 있었다.[46]

4G부터 음성신호 처리를 담당하는 서킷기반 통신이 없어지고 패킷통신구조로 변경되었다. 4G-LTE 이동통신 기술규격은 기본적인 데이터 전송속도 뿐만 아니라 IoT기기를 수용하는 방안이 적용되었다.[47]

가. OFDM

직교 주파수 분할 다중방식은 그림 2-1에서 보는바와 같이 주파수 선택적 채널이 심볼 사이의 간섭(ISI; Inter Symbol Interference)이 없는 주파수 비선택적인 다중 반송파(Multiple Carrier Frequencies)를 이용하여 데이터를 분할 전송하여 동시에 고속으로 데이터를 전송하는 기술이며 일종의 변조 기술이다. 무선랜 분야에서는 802.11a, 802.11g, 802.16에서도 활용한

다. [48]



[그림 2-1] OFDM 통신방식 [49]

나. MIMO

무선통신의 용량을 높이기 위한 안테나 기술로 기지국과 단말에 여러 개의 안테나를 사용하여 사용된 안테나만큼 전송용량을 높이는 기술이다. MIMO(Multiple Input Multiple Output)는 데이터 송수신에 여러 개의 공간채널을 사용하여 공간 다이버시티(Spatial Diversity)라고도 한다.[30]

단일입력 단일출력(SISO; Single-Input Single-Output)을 사용하는 시스템에서는 단일 공간 스트림 전송이 가능하나 MIMO를 이용하면 여러 개의 안테나로 한 번에 여러 개의 공간 스트림 전송이 가능하며 이를 조합하여 오류를 제어하기도 한다.[50]

2. LTE-A 통신

LTE-A(LTE-Advanced)는 IMT-Advanced 4G요구사항을 충족하는 기술로 2011년 3월 3GPP Rel.10을 기반으로 완성된 기술이다. LTE-A의 핵심기술은 기존 LTE 채널을 두 개 이상 밴딩하여 속도를 증가시키는 주파수 결합기술(CA:Carrier Aggregation)이 있다. 3GPP는 LTE-Advanced 기술을 더 발전시켜 그림 2-2에서 보는바와 같이 3GPP Rel.13과 Rel.14에 LTE-Advanced Pro를 정의 하였으며 이는 기존 LTE-Advanced에 비하여 더 많은 LTE 채널의 결합과 비면허대역활용과 4X4 MIMO(Multiple Input Multiple Output), 256

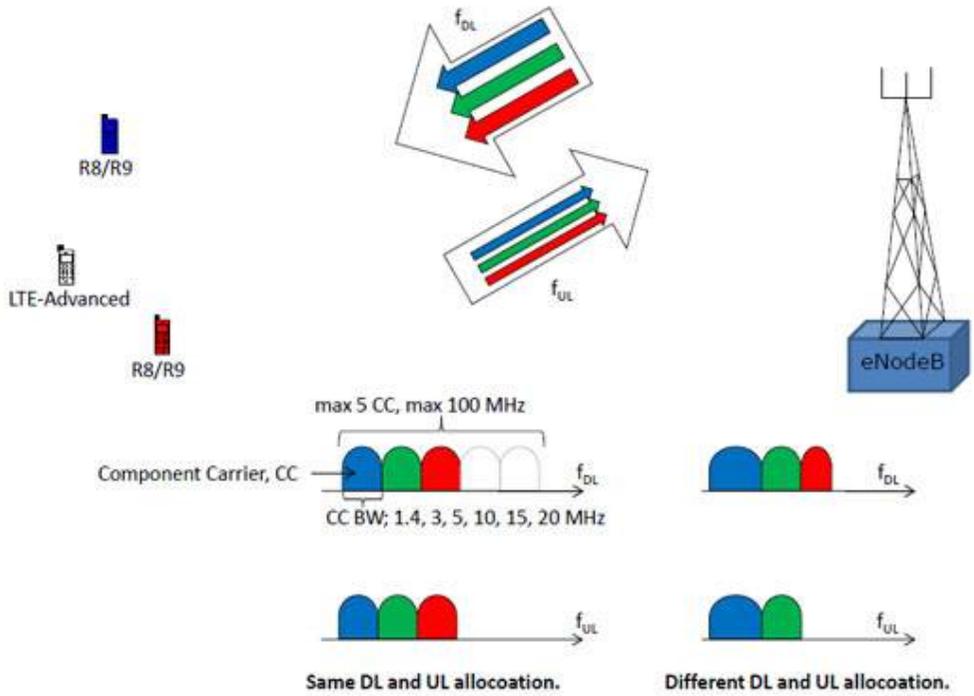
QAM(Quadrature Amplitude Modulation)등의 기술을 활용하여 최대 기가급의 전송속도를 구현한 기술로 4.5G라고도 명명한다.[51]



[그림 2-2] 4G-LTE 기술 표준화 과정[51]

가. 주파수 결합

주파수 결합(CA; Carrier Aggregation)은 그림 2-3에서 보는바와 같이 20~100MHz폭의 LTE주파수를 최대 5개까지 결합하여 하나의 주파수처럼 사용하는 기술이다. 반송파 결합의 유형으로 동일 대역 내 인접 반송파 결합이 있으며 비연속적 반송파 결합이 있다. 또한 다른 대역 간 비연속적 반송파 결합을 하기도 한다. LTE-A에서는 주파수 결합기술은 3GPP Rel.10부터 도입되고 추가적으로 개선 확장 되었다. 3GPP Rel.10에서는 5개의 주파수를 결합하여 최대 100MHz 전송 대역폭을 지원하였으며 3GPP Rel.13에서는 32개의 개별 반송파를 결합하여 최대 640MHz 전송 대역폭을 지원하였다. 표 2-1은 주파수 결합에 따른 데이터 속도를 나타내며 주파수 결합으로 더 높은 전송속도를 나타내는 것을 볼 수 있다.[52]

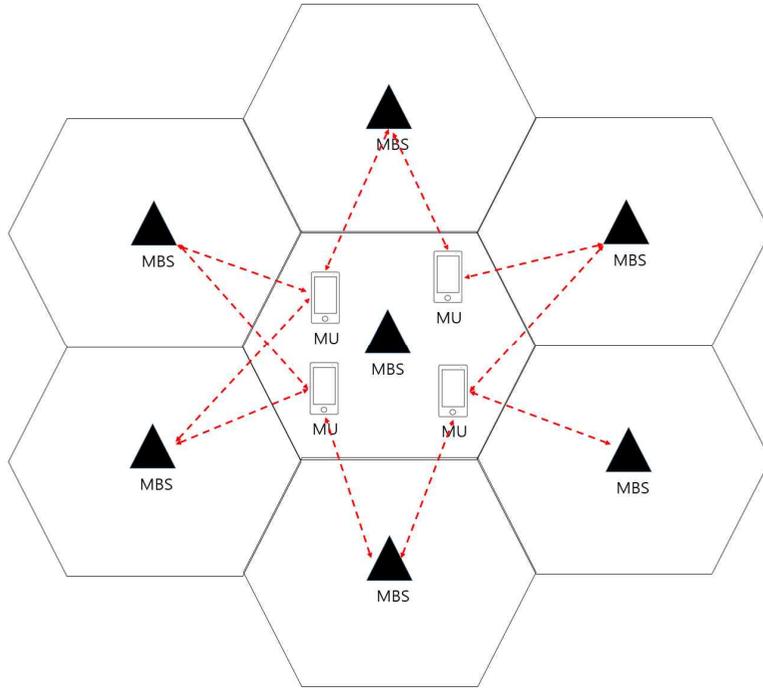


[그림 2-3] 주파수 결합 [52]

[표 2-1] 주파수 결합에 따른 데이터 속도 [53]

주파수 결합	데이터 속도	모뎀 클래스
15MHz	100Mbps	LTE Cat.3
20MHz	150Mbps	LTE Cat.4
40MHz	300Mbps	LTE Cat.6/7
60MHz	450Mbps	LTE Cat.9/10
80MHz	600Mbps	LTE Cat.11/12

나. 기지국간 간섭제어



[그림 2-4] 셀 간 간섭

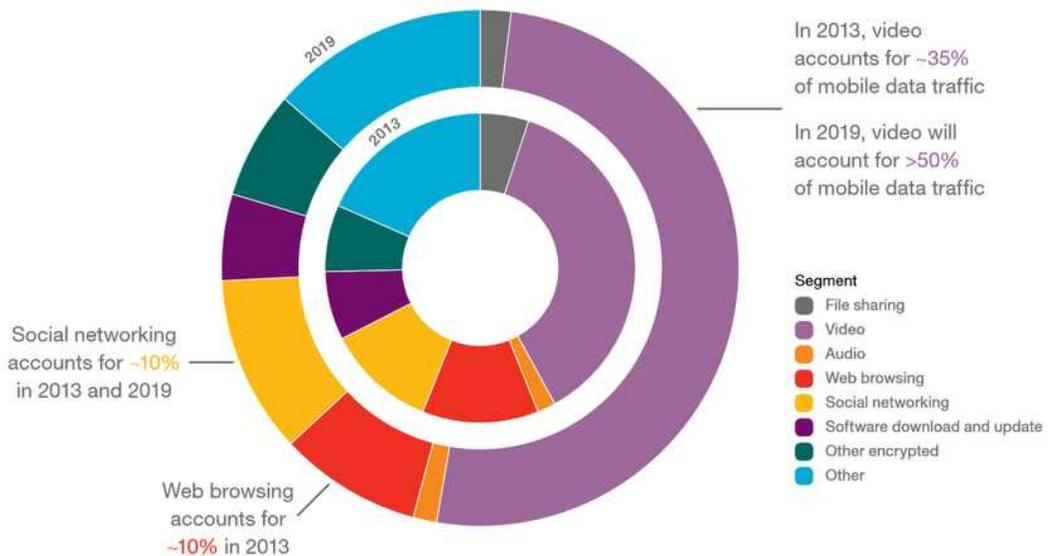
그림2-4는 셀룰러 통신에서 매크로통신 유저가 주위 기지국에 대한 간섭을 받는 상황에 대한 그림이다. LTE-A 표준에서 무선 액세스 모드는 심볼간, 동일채널간섭을 피하기 위해 다운/업 링크에 각각 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access), SC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access)를 배정하여 운영한다.

다. 협력전송

협력전송(CoMP; Coordinated Multi-Point)은 기지국 전송범위 경계에 있는 단말의 서비스 품질 향상을 위하여 주변 기지국들의 협력하여 전송효율을 향상시키는 기술로 스케줄링, 빔포밍, 신호에 대한 공동처리 방법이 있다. 협력전송을 이용시 셀 가장자리에 있는 단말들에 대한 원활한 서비스를 지원할 수 있는 장점이 있다.[55]

제3절 5세대 이동통신

4G-LTE 통신 등장 이후 무선통신기기 이용자들은 더 빨라진 면허대역 이동 통신 기술로 그림 2-5에서와 같이 유튜브 등의 시각 미디어 스트리밍 서비스의 트래픽 비율증가로 3G 통신에 비하여 전체 데이터 통신 트래픽 급증하여 4G-LTE 기술로는 이러한 요구사항을 수용할 수 없다는 예측에 따라 2016년부터 5G에 대한 요구사항을 정의하고 5G 기술연구가 시작되었다. 5G 규격은 LTE-Advanced Pro(4.5G)기술을 기반으로 개발되었으며 2018년 6월에 3GPP Release-15에서 최초로 5G 국제표준이 발표되었다. [56]



[그림 2-5] 모바일 데이터 트래픽의 성장 및 분포 예상 [57]

3GPP Release-15에서는 3GPP Release-14에서 발전시킨 LTE-Advanced Pro 기술도 포함되며 Release-15에서 나온 5G 표준을 5G Phase 1으로 명명하였다. [58-59] 기존 LTE 대역의 주파수 부족으로 인하여 기존의 이동통신 주파수가 아닌 3.5GHz 대역과 28GHz 대역을 활용하는 이동통신 시스템으로 NR(New Radio) 또는 IMT-2020으로 정의한다. [60]

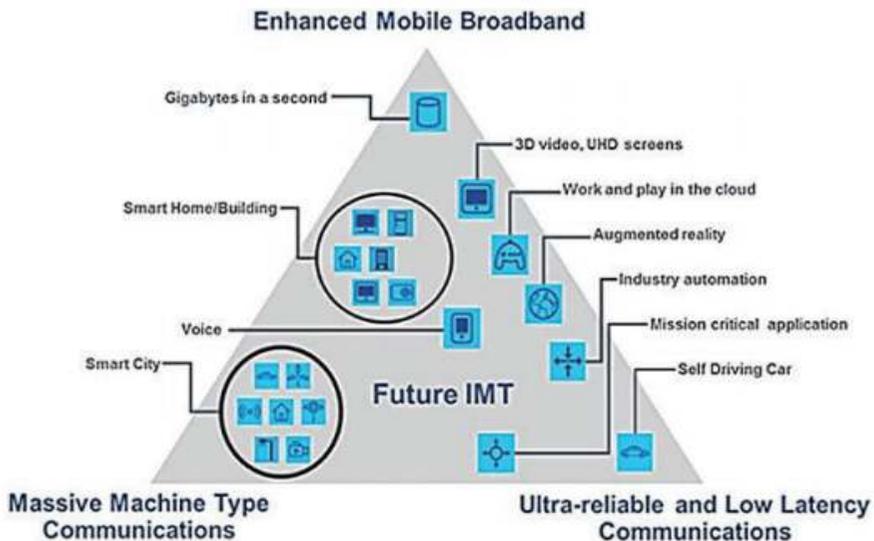
5G 통신망의 전체적인 구조는 4G와 유사하나 기존 4G 망과 연동이 가능한 NSA(Non Standalone)와 5G 망을 단독 사용하는 SA(Standalone) 방식이 있다.

NSA의 경우 사용자 데이터는 5G기지를 사용하고 나머지 데이터는 4G 통신망을 활용한다. 현재 대다수의 이동통신 사업자는 5G 망을 구축하기 위한 많은 투자비 발생으로 인하여 4G망에 기반 한 5G망을 구축하고 있다.[61]

5G 이동통신은 기술개발 양상은 IMT-2020의 명칭에서 정의한 것과 같이 2020년까지 기술개발 완료 후 상용서비스를 준비하는 것이었으나 국가 간 기술경쟁의 심화로 2019년 4월 3일에 한국에서 세계 최초로 5G 상용서비스 시작을 발표하였다.

ITU는 5G에서는 다양한 분야의 서비스들을 정의하고 이 서비스들의 특징을 분석하여 초 광대역 서비스(eMBB; enhanced Mobile Broadband), 초저지연통신(URLLC; Ultra Reliable & Low Latency Communications), 대량연결(mMTC: Machine-Type Communication)의 3가지 서비스로 정의한다.[62-63]

그림 2-6은 5G 연구의 대표적인 세 가지 서비스에 대한 정의를 그래픽으로 나타낸 것으로 비디오 미디어와 클라우드 서비스 등의 데이터 고속전송 기능을 필요로 하는 대량연결과 자율주행과 방송, 산업 자동화 측면에서의 저지연서비스, 다양한 기기들을 연결하는 대량연결을 연구하는 기술이다.[62]



[그림 2-6] IMT-2020 사용 시나리오 [62]

1. 초 광대역 서비스

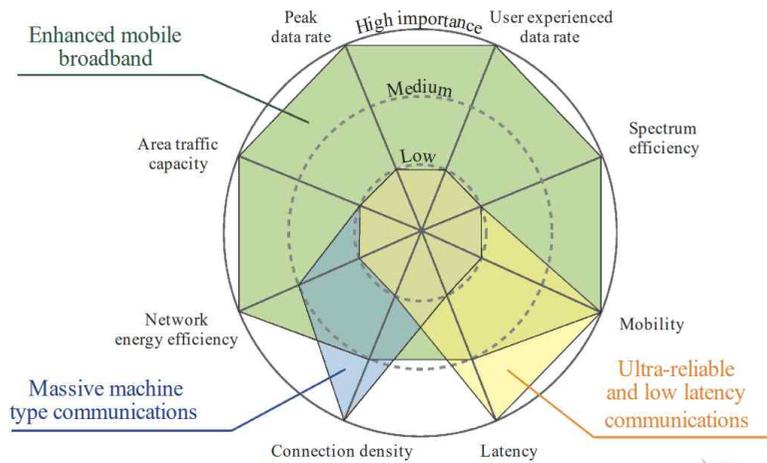
초 광대역서비스(eMBB; enhanced Mobile Broadband)는 대용량 전송이 필요한 서비스를 감당하기 위하여 더 큰 주파수 대역폭과 Massive MIMO(Multiple Input Multiple Output)등을 사용하여 사용자당 100Mbps에서 최대 20Gbps까지 훨씬 빠른 데이터 전송속도 제공을 목표로 한다. 5G에서 뒤에서 기술할 밀리미터 주파수(28GHz)를 이용할 경우 400MHz의 대역폭을 이용하여 기본 4G-LTE 시스템 대비 약 8배의 빠른 속도를 지원한다.[62]

2. 초저지연 통신

5G 이동통신에서 초저지연 통신(URLLC; Ultra Reliable Low Latency Communication)는 그림2-7에서 보는 바와 같이 고신뢰도(99.999%)와 저지연 통신 기능을 의미한다. 5G에서의 요구지연시간은 1ms이하로 기존 4G-LTE 통신 지연시간인 10ms에 비해 10배로 개선되었다.[64]

URLLC 기능은 전송대상 정보가 상대방까지 확실하게 전달되고 통신지연이 매우 짧은 서비스가 요구되는 원격의료서비스, 로봇제어 등에 사용된다.

5G 규격은 초기부터 URLLC를 위한 기술이 추가되어 유무선 구간 프로토콜에 저지연 통신 기술을 적용했고 추가적으로 MEC(Mobile Edge Computing)를 활용하여 통신지연을 줄이고 있다.[65]



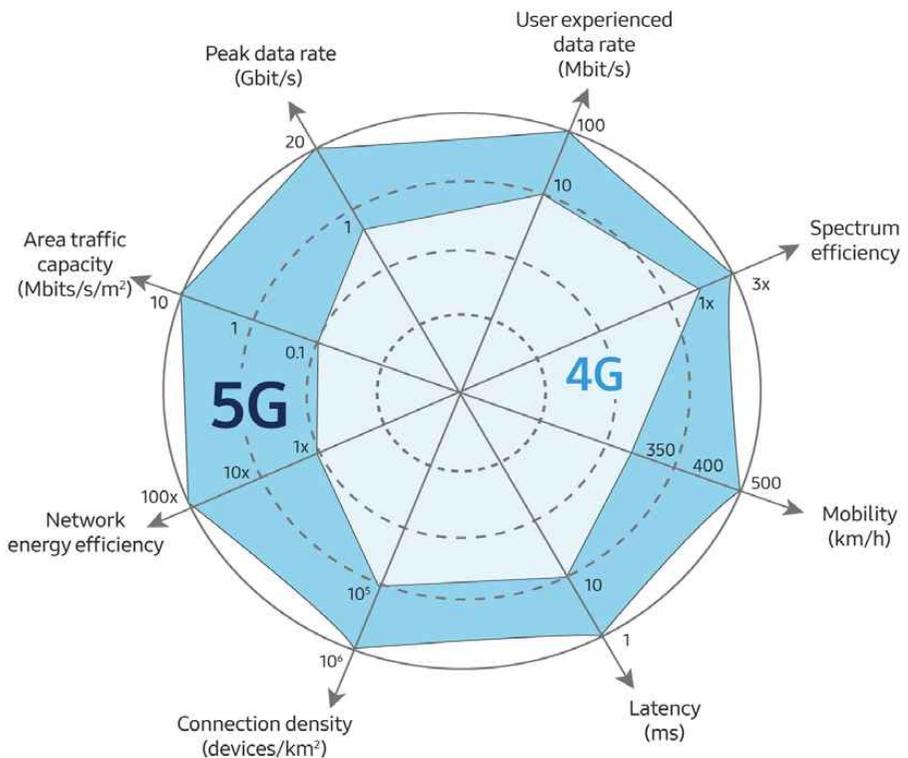
[그림 2-7] 다양한 사용 시나리오에서 5G 이동통신의 주요 기능의 중요성

[64]

ITU-R의 22차 WP5D회의에서는 1ms이하의 무선전송지연이 요구조건으로 제시되었으며 METIS(Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society)에서는 5ms, 한국의 5G포럼에서는 1ms의 전송지연을 제시하여 지연시간을 최소화 하는 것을 목표로 한다.[66]

3. 대량연결

대량연결(mMTC; Machine-Type Communication)은 IoT(Internet of Things) 기기나 수많은 각종 기기들이 연결되어 서비스를 제공하기 위한 것으로 1km 면적당 1백만개의 연결을 지원하는 것이 목표다.[60]

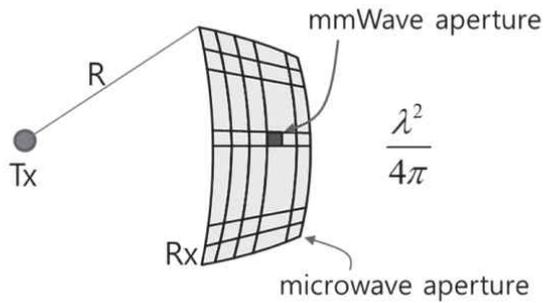


[그림 2-8] IMT-2020 성능 요구 사항[60]

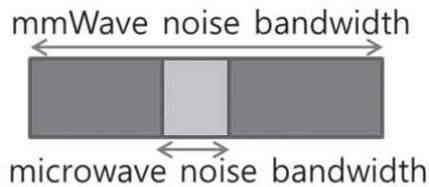
그림2-8은 4G 이동통신 시스템 대비 5G 이동통신의 서비스 정의에 대한 세부 사항을 나타내고 있다.

4. 밀리미터파

밀리미터파는 10GHz~300GHz이하의 주파수이다. 그림 2-9에서 보는바와 같이 밀리미터파는 상대적으로 짧은 파장의 사용으로 수신 안테나의 실효 개구면 크기가 작고 넓은 대역폭의 사용에 따라 높은 열잡음을 수반하여 높은 경로손실이 발생하며 대한민국 통신사가 채택한 28GHz의 경우 그림 2-10에서 보는 바와 같이 공기 중의 수분, 벽돌, 코팅된 창문 등의 매질에 대하여 매우 큰 손실이 발생한다.[56]



(a) Smaller wavelength

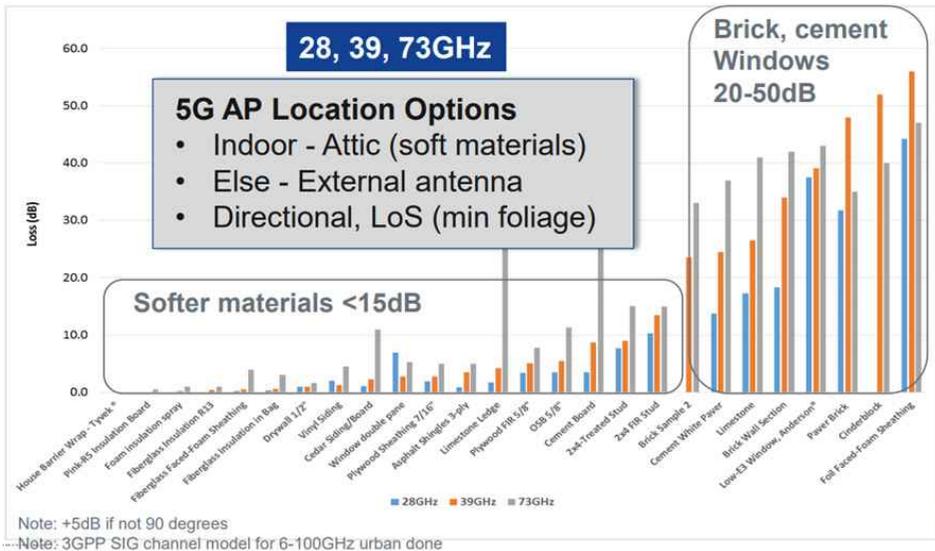


(b) Larger bandwidth

[그림 2-9] 밀리미터파 경로손실 요인[56]

이 때문에 기존 4G LTE통신 대비 5G는 기본적으로 각 기지국에서 서비스 할 수 있는 범위가 좁다. 이런 사항을 고려하여 4G 기지국 대비 규모가 작은 5G 기지국의 특성을 이용하여 기지국을 늘리는 방법이 중요하다.

스몰셀 및 D2D기술은 기존 4G-LTE 시스템에서도 커버리지 확장 및 주파수 재이용을 이용한 시스템 성능을 향상 시킬 수 있는 기술로 5G 밀리미터파의 사용에 따른 해결방안으로 제시 할 수 있는 기술이다.



[그림 2-10] 밀리미터파의 매질에 따른 신호감쇄 [67]

5. 고주파대역의 경로손실

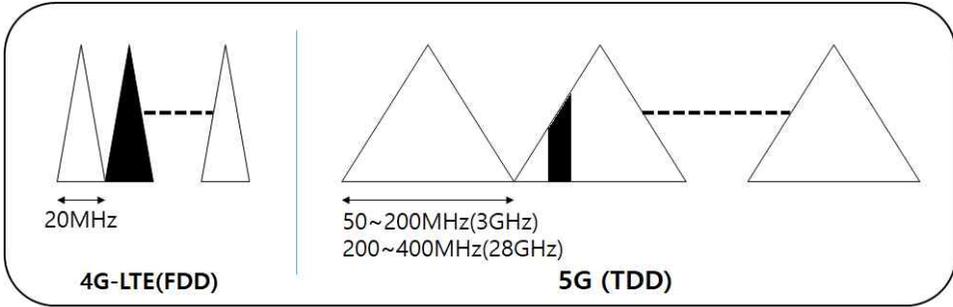
밀리미터파를 이용함에 따른 경로손실은 상대적으로 짧은 파장과 넓은 대역폭의 사용에 따라 발생하며 다음 식과 같이 일반적으로 수신 신호의 전력 P_{rx} 는 다음 식과 같이 송신 신호 전력 P_{tx} 에 대하여 주파수의 제곱에 해당하는 경로손실을 겪게 된다. [68]

$$P_{rx} = P_{tx} G_{tx} G_{rx} \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 = P_{tx} G_{tx} G_{rx} \left(\frac{c^2}{4\pi f^2}\right) \left(\frac{1}{4\pi R^2}\right) \quad (2-1)$$

G_{tx} 는 송신안테나 이득, G_{rx} 는 수신안테나 이득이며 R 은 송수신기 사이의 거리이다. 경로손실 값은 2.8GHz 대역과 28GHz를 비교하여보면 각각 -41.4dB, -61.4dB로 고주파 대역을 사용하는 경우 경로손실 값이 매우 큰 것을 알 수가 있다. [69-70]

5G 시스템은 3GHz의 저주파수 영역과 28GHz의 주파수 대역을 사용한다. 3GHz의 최대 대역폭은 50/100/200MHz이며, 28GHz는 200/400MHz이다. 4G LTE에서는 FDD(Frequency Division Duplex) 방식으로 업로드 대역과 다운로드

대역을 나눠서 사용하기 때문에 간섭이 발생하지 않으나 주파수 효율성이 떨어지는 단점이 존재한다. 반면에 그림 2-11에서 보는바와 같이 5G 시스템에서는 TDD(Time Division Duplex) 방식으로 업로드 대역과 다운로드 대역을 나누지 않고 전체 주파수대역폭의 일부를 시간에 따라 나누어 사용할 수 있어 많은 수의 디바이스의 연결을 수용 할 수 있다.[71]



[그림 2-11] FDD 방식과 TDD방식의 비교[71]

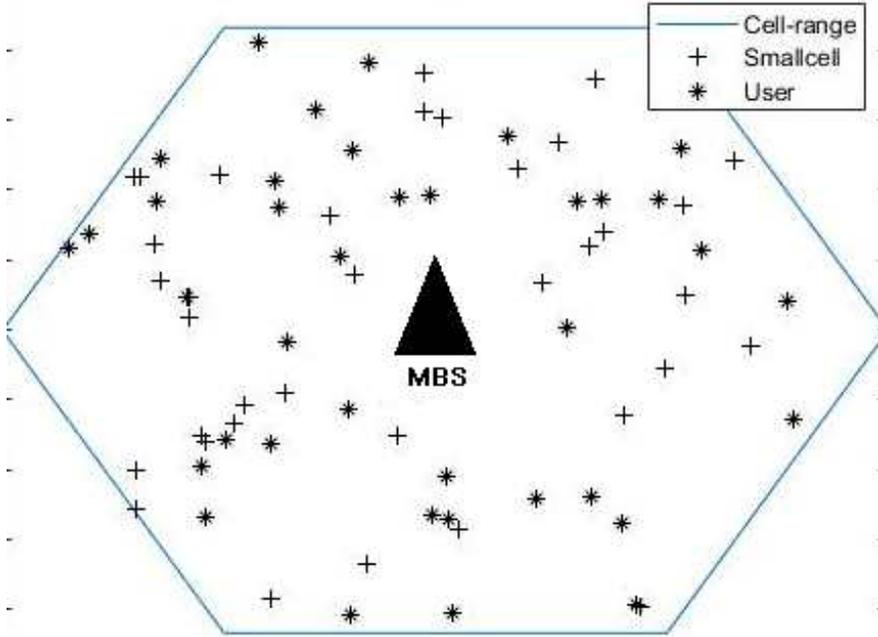
제4절 스몰셀 네트워크

스몰셀네트워크는 높은 전송 파워와 넓은 커버리지를 갖는 매크로셀과 달리 10W급 이하의 소출력 기지국장비로 스몰셀의 종류로는 피코셀과 펌토셀이 있다. 스몰셀 포럼에서는 내부장소 또는 일정 구역에서의 통신구역 확대와 통신 용량 증대를 목적으로 통신사업자가 허가 받은 주파수를 사용하여 운영하는 저전력 무선AP를 스몰셀로 정의하고 있고, 3GPP는 출력 파워에 따라 펌토셀(21dBm), 피코셀(24dBm), 마이크로셀(38dBm)로 구분하고 있다.[72-73]

스몰셀은 기지국에 비해 구축비용이 낮고 크기가 작아 인구 밀집지역이나 기타 특정 공간에 단기간에 구축이 용이하며 저전력 소형 기지국으로 코스트가 적게 소요되는 장점이 있다. 최근 IoT 및 동영상 미디어의 급격한 발달로 무선통신시스템 구성시 스몰셀 기술의 적용은 매우 고려해야 할 기술이다.

그림2-12와 같이 스몰셀은 매크로기지국 내에 배치된 소형기지국이며 셀룰러시스템에서 여러 AP로 구성하여 배치 시 음영지역해소, QoS 및 전송용량 증대를 기대 할 수 있는 기술이다. 5G 시스템 내에서 스몰셀을 일정 공간에 배치하여 주파수 재이용을 하여 시스템 성능을 향상 시킬 수 있다. 5G 시스템에서는 높은 주파수로 인한 큰 간섭으로 인한 경로손실로 인하여 전파수신

에서의 품질을 보장 못하는 현상이 있어 스몰셀 기술은 5G의 한계를 극복하는데 있어 주요한 기술이다.



[그림 2-12] 스몰셀 시스템

1. 스몰셀 기술 정의

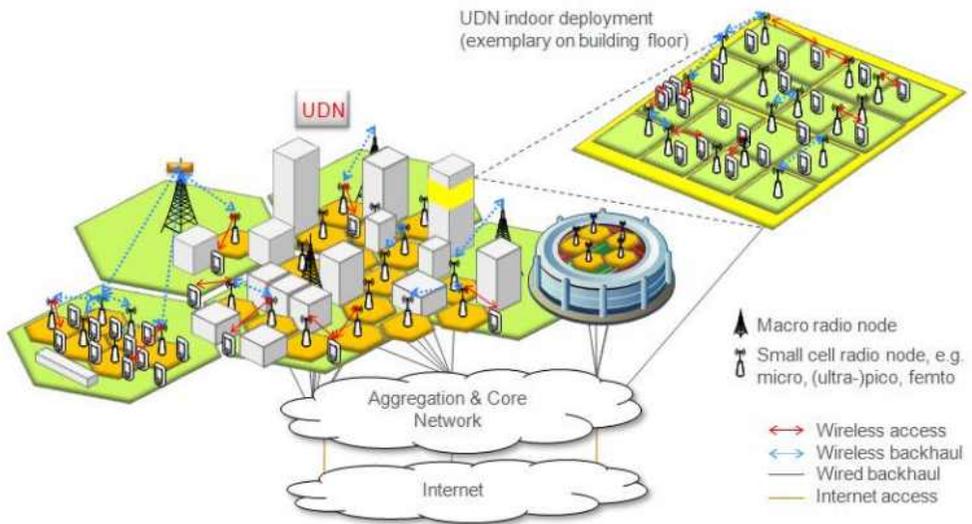
셀룰러 시스템의 성능향상을 위하여 나오게 된 스몰셀 기술은 Home eNB의 용도로 펌토셀 데이터 트래픽 오프로드로 정의되어 3GPP Rel. 10에서 SIPTO(Selected IP Traffic Offload)와 LIPA(Local IP Access)의 표준화를 진행하였다.[54] 면허대역에서의 통신성능향상을 위하여 3GPP Rel. 10과 3GPP Rel. 11에서 스몰셀 기술로 정의되어 통신범위 확장과 전송용량을 증대할 수 있는 기술로 정의되었다.[74]

2. 초밀집네트워크

초밀집 네트워크(UDN; Ultra Dense Network)는 스몰셀 기지국을 주어진 공간에 많은 수를 배치하는 방법이며 모바일기기와 매크로셀 사이의 거리가 짧아 높은 성능을 기대할 수 있다. UDN은 대용량의 데이터 트래픽이 발생하는

장소에도 적용 할 수 있으며 복합적인 망구조를 가진다. UDN의 기술적 이슈로는 무선전송기술, 간섭제어, 셀 구동 방법, 매크로셀과 스몰셀의 통신방법과 많은 수의 소형기지국을 운영하는 데 있어서의 에너지효율을 높이기 위한 방법들이 고려되어야한다. [75]

그림 2-13은 초밀집네트워크에 대한 그림으로 도시 내에 많은 수의 스몰셀과 주변 매크로셀의 간섭 및 통신 방법에 대하여 볼 수 있다.

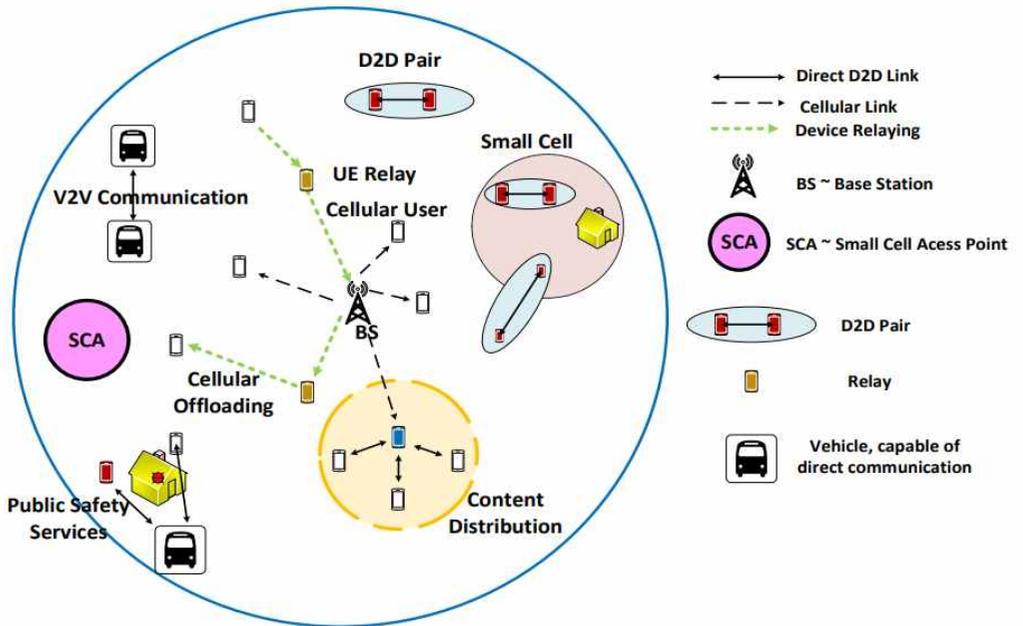


[그림 2-13] Ultra Dense Network [75]

제5절 D2D 통신

1. D2D 통신 정의

D2D(Device-to-Device) 통신 기술로도 불리는 단말간 직접통신은 이동통신 단말들의 직접통신으로 데이터 트래픽 오프로드를 통하여 코어 네트워크의 부하를 조절 할 수 있으며 셀룰러 네트워크를 기반으로 에너지 절약, 접속시간 단축, 주파수 자원 등의 이점이 있는 로컬 연결을 위한 통신 방법이다.[76-80]



[그림 2-14] 셀룰러 네트워크에서의 D2D 통신[76]

단말간의 거리가 가까운 경우 D2D통신을 통해 코어네트워크를 거치지 않고 단말간 직접 통신을 하게 되어 코어네트워크의 부하를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 전송전력을 낮출 수 있고 주파수의 재사용률을 높일 수 있다. 그림 2-14는 셀룰러네트워크 내에서 셀룰러 오프로딩이나 릴레이통신 다양한 D2D 전송방법을 나타내고 있는 그림이다. 기지국의 부하 측면에서 보면 동일 지

역내의 단말기 간에 통신을 수행할 경우 해당 트래픽이 발생하여 업링크 및 다운링크 채널에서 트래픽이 쌍방에 발생을 하기 때문에 비효율적이다. 게다가 단말기간에 가까운 거리에 있는 상태에서 직접통신을 할 경우 기지국을 통하는 방법보다 전송전력면에서 단말기가 기지국에 비하여 사용하는 전력이 매우 낮으므로 그만큼 효율적이다.

2. D2D 통신의 종류와 방식

표 2-2에서 근거리 통신 방식에서 블루투스, WLAN과 D2D 통신을 비교한 사항을 확인 할 수 있다.[76] D2D 통신 방식 이외의 단말간 통신 방법은 블루투스, 지그비, NFC 등이 있으며 이러한 통신 방법은 비 면허대역을 이용한 통신 기술로 간섭 및 서비스제공 측면에서 제어가 어려워 QoS에 대한 한계가 존재하며 근거리 초점을 둔 통신방식이다. 이와 반대로 D2D 통신방식은 셀룰러 네트워크하에서 면허대역을 사용하는 방식으로 셀룰러 망과 동일한 주파수 대역을 공유하기 때문에 간섭문제가 발생하고 이를 적절히 제어하지 못할 경우 셀룰러 통신과 D2D 통신 모두 영향을 받게된다.[81-86] D2D 통신의 자원할당은 중앙집중형 방식과 기지국의 개입없이 단말들이 자원을 할당하는 분산형이 있다. 중앙집중형은 기지국이 단말들의 정보를 수집하여 이를 토대로 자원을 할당하는 방식이다. 분산형은 D2D가 주변 간섭을 인지하여 스스로 자원 할당을 하는 방식이다.[87] 분산형의 경우 복잡도는 낮으나 주변 통신 환경이 동적으로 변하기 때문에 단말이 이를 제어하는데 어려움이 있어 본 논문에서의 D2D 통신은 중앙집중형 방식으로 시뮬레이션을 진행하였다.

[표 2-2]. D2D와 WLAN 및 블루투스와의 비교[76]

Feature Considered	BLUETOOTH	WLAN	D2D COMMUNICATION
Pairing	Require manual pairing	Require user defined settings for access points	Base station assisted or device assisted
Quality of Service (QoS)	No hard QoS guarantee	No hard QoS guarantee	Provides hard QoS guarantees
Spectrum	Unlicensed	Unlicensed	Licensed, Unlicensed
Standardization	Bluetooth SIG	IEEE 802.11	3GPP Release 12
Maximum Data rate	25Mb/s	54Mb/s	5-10 Gb/s
Modulation Technique	GFSK	DSSS	SC-FDMA (Downlink), OFDMA (Uplink)
Max. Transmission Distance	10-100 m	32 m	Up to 500 m
Forward Error Correction	ARQ, FEC (MAC)	ARQ, FEC (PHY)	Low Density Parity Check codes (LDPC)
Max Transmit Power	4dBm	15dBm	24dBm
Pricing	Free of cost	Free of cost	Operator decides the cost

3. D2D 통신의 절차

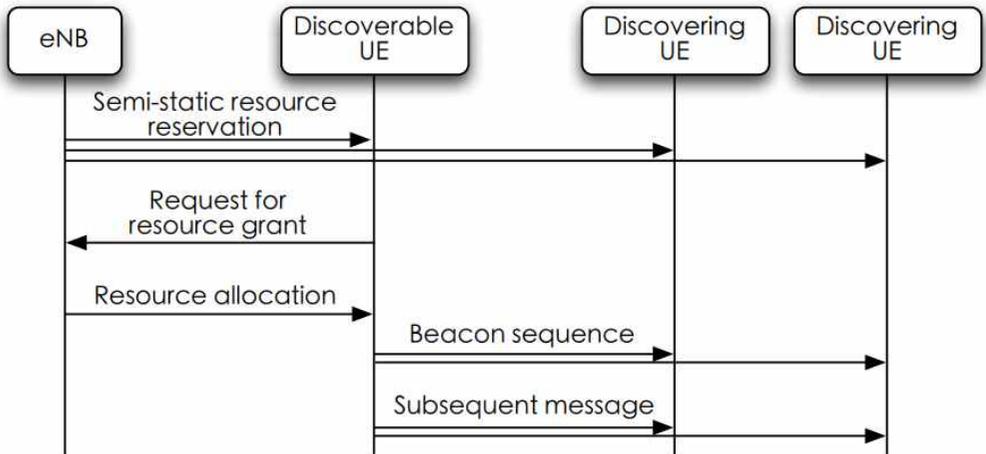
D2D 통신의 절차는 1단계 단말탐색, 2단계 링크생성, 3단계 데이터 전송의 총 세가지 단계로 이루어진다.

가. 단말 탐색 단계

단말탐색단계는 각 D2D 통신단말이 그 단말 주변에 있는 D2D 통신이 가능한 후보 단말들을 탐색하는 단계이다. 본 단계에서 통신단말들은 자신들의 정보가 담긴 신호를 발신하고 그와 동시에 다른 단말들이 송신하는 신호를 수신하여 단말간직접통신이 가능한 다른 통신단말들이 범위 내에 있음을 검색한다. 각 단말은 자신에 대한 정보를 제공하여 서로 식별할 수 있도록 한다. 단말 탐색 단계에서는 단말 탐색 시 사용하는 시간과 전력효율이 중요하다. 매크로셀 네트워크 기반의 D2D 통신의 경우 단말 탐색 단계가 비중앙집중형인 독립적인 D2D 통신들에 비해서 탐색시간과 전력효율 면에서 더 나은 성능을 일반적으로 나타낸다. 중앙집중형 D2D 통신의 경우 단말탐색시 각 단말들이 탐색하는 단계를 거치지 않고 기지국을 통하여 해당 단말들의 정보가 수집되어 D2D 단말들의 공유하여 더 효율적인 네트워크 구성이 가능하다. 비

중앙집중형 통신인 WiFi Direct와 블루투스를 예로 들어보면 통신을 하고자 하는 시점에서 상호 페어링 과정을 통하여 주파수 중 하나를 임의로 정하여 단말간 연결을 수행한다. 이러한 방법은 흔히 사용하는 블루투스 기기들의 경우에도 단말연결에 사용하는 시간과 통신에 사용되는 주파수가 달라 통신 연결 단계에서 시간이 오래 걸리거나 탐색에 실패 할 수 있다. 이 경우에 대한 해결책으로 각 단말들이 최대 송수신 신호를 사용하고 탐색 시간을 늘림으로 중앙집중형 방식을 사용하지 않고 성능을 높이는 방법이 있으나 소형 기기에서 이러한 방법을 사용할 경우 배터리등의 전력사용면에서 매우 비효율적이다. [88]

그림 2-15는 중앙집중형 방식 사용 시 단말들 사이의 송신과 수신을 분석하여 단말 탐색을 중앙관리 하는 것을 볼 수가 있다. 중앙집중형방식에서 기지국은 D2D 연결을 수행하고자 하는 두 단말이 같은 매크로셀에 있음을 감지하는 역할을 수행한다. D2D연결 단말들이 동일 매크로셀 구역에 존재시 D2D 통신 가능 여부를 확인하기 위하여 단말 탐색을 지시한다. 중앙집중형 방식은 D2D 통신 수행단계에 개입하여 매크로셀의 부하가 가중되나 앞서 비중앙집중형 방식에 비하여 사용 단말들에 대하여 효율적인 방법을 기대할수 있다. [89]



[그림 2-15] D2D 탐색 단계 [89]

나. 링크 생성 단계

D2D 통신을 위한 2단계는 링크생성 단계이다. 링크 생성 단계에서는 단말 탐색 단계에서 발견한 주변의 D2D 단말들 중에서 데이터를 전송하고자 하는 단말과 데이터 전송을 위한 링크를 맺는 단계이다. 일반적으로 단말이 링크 생성 신호를 다른 단말에 보내면 해당 단말이 응답신호를 보내어 상호 링크를 맺게 된다.[89]

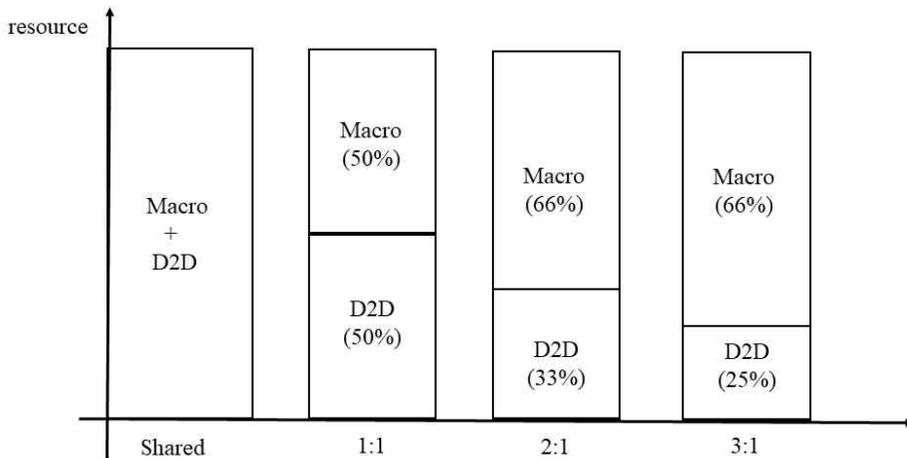
다. 데이터 전송 단계

D2D통신은 매크로셀을 통하여 통신을 수행하는 것에 비하여 이동통신 단말이 가지고 있는 저전력 사용 및 기지국을 통하지 않고 비교적 더 가까운 단말들 간에 통신을 수행하기 때문에 일반적인 매크로셀을 통한 단말들 간의 통신에 비하여 전력 및 자원사용 측면에서 매우 효율적이다. 또한 매크로셀을 거쳐 통신을 수행할 경우 송신 단말에서 업링크 채널과 다운링크 채널이 발생하고 수신 단말에서 또한 같은 채널들이 발생하게 되기 때문에 기지국을 통해서 발생하는 전력과 업링크 채널과 다운링크 채널 생성시 사용되는 자원 및 기지국을 통함으로 인한 부하의 측면에서 비효율적인 통신을 하게 된다. 각 D2D 통신 수행시 D2D 송신 단말이 발생하게 되므로 새로운 간섭원이 발생하게 되나 전체 시스템에서 보면 통신단말들은 짧은 거리내 통신을 수행한다는 점과 단말들이 가지고 있는 전송파워 측면에서 D2D 송신 단말들이 발생하는 간섭은 기지국 측면에서 작은 수준이다. 이런 점을 이용하여 한 기지국내 D2D 통신을 동일한 주파수를 사용하여도 통신이 가능하게 되어 주파수 재사용 측면에서 많은 효율성을 가지고 있는 기술이다. 중앙집중형 기반의 D2D 통신은 각 데이터 전송에 있어 비중앙집중형 방식에 비하여 앞서 설명 한 것과 같이 탐색단계의 효율성을 가지고 있으며 더불어 기지국 측면에서 간섭량이 낮을 지라도 D2D 통신간의 간섭이 발생 할 수 있으므로 중앙집중형 방식에서는 D2D 통신 단말들이 기지국과 다른 D2D통신들과 유기적인 협력을 토대로 간섭제어까지 가능하며 각 D2D 통신을 고려하여 자원할당을 할수 있으므로 데이터 전송 측면에 있어서 효율적인 방법이다.[89]

4. D2D 통신 효율 향상 기술

가. 모드선택기술

중앙집중형 방식에서 단말들의 통신방법은 D2D 통신 방법과 일반적인 기지국과 통신하는 매크로통신까지 동시에 수행하는게 일반적이다. 그림 2-16에서 보는 바와 같이 통신 구성에 있어서 매크로통신과 자원을 공유하는 주파수 Shared 방식과 1:1, 2:1, 3:1등의 매크로통신과 D2D 통신 자원할당 모드가 있다. 이 방법은 데이터 전송 단계에서 각 통신 사용자의 특성을 고려하여 주파수 자원할당 비율을 선택하여 전송하는 기술이다.[89]



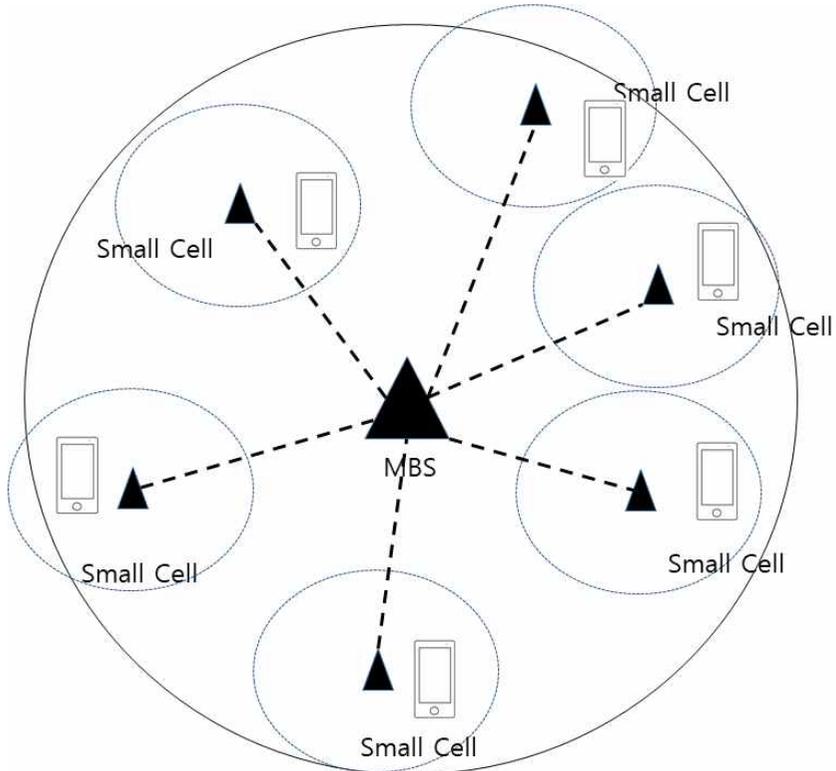
[그림 2-16] D2D 통신 모드[89]

나. Power control

D2D통신을 하는 경우 D2D 송신 단말에서 발신하는 전송전력이 클 경우 D2D 수신 단말에서의 SINR 값이 크기 때문에 높은 전송 성능을 나타 낼 수 있다. 하지만 전송전력이 크게 발생하는 만큼 기지국으로의 간섭과 주변 D2D 통신에 대한 간섭이 발생할 수 있다. 이런 점에서 최대 전송전력을 이용한다고 하여도 그것이 전체 시스템의 성능향상으로 이뤄지지 않기 때문에 D2D 송신 단말들이 사용하는 전송전력의 크기는 주변 통신 환경에 따라 유동적으로 조정이 되어야 하며 통신의 파워컨트롤은 기지국이 중앙집중형 방식으로 컨트롤 해줘야 하며 효율적인 전송전력의 관리로 단말들의 에너지 효율과 전체 시스템의 성능을 높일 수 있게 된다.

제6절 이기종네트워크에서의 간섭

1. 스몰셀 통신 네트워크 환경

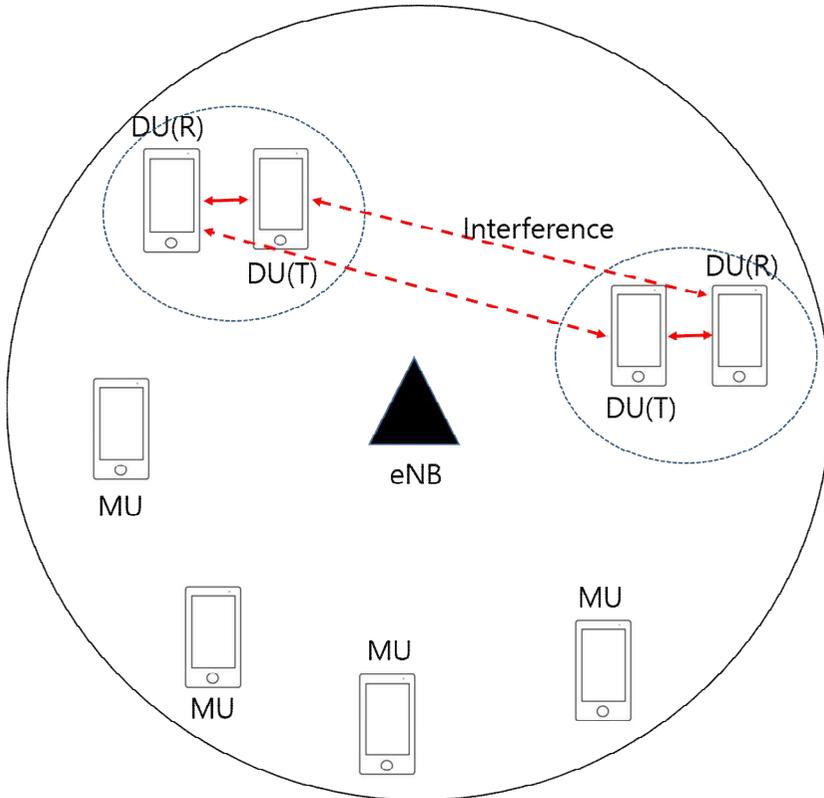


[그림 2-17] 스몰셀 망 구조

매크로 기지국 내에 스몰셀들이 배치되는 환경으로 셀간 간섭과 셀 내부의 면허대역을 사용하는 스몰셀 간섭이 존재하는 시스템이다. 그림 2-17은 매크로셀 내 스몰셀 배치시 발생하는 간섭에 대하여 나타낸 그림으로 많은 수의 스몰셀들이 배치되는 UDN환경에서는 스몰셀들간의 간섭과 매크로셀간의 간섭, 그리고 매크로셀과 스몰셀의 간섭을 고려하여 시스템 환경을 구축하여야 한다.

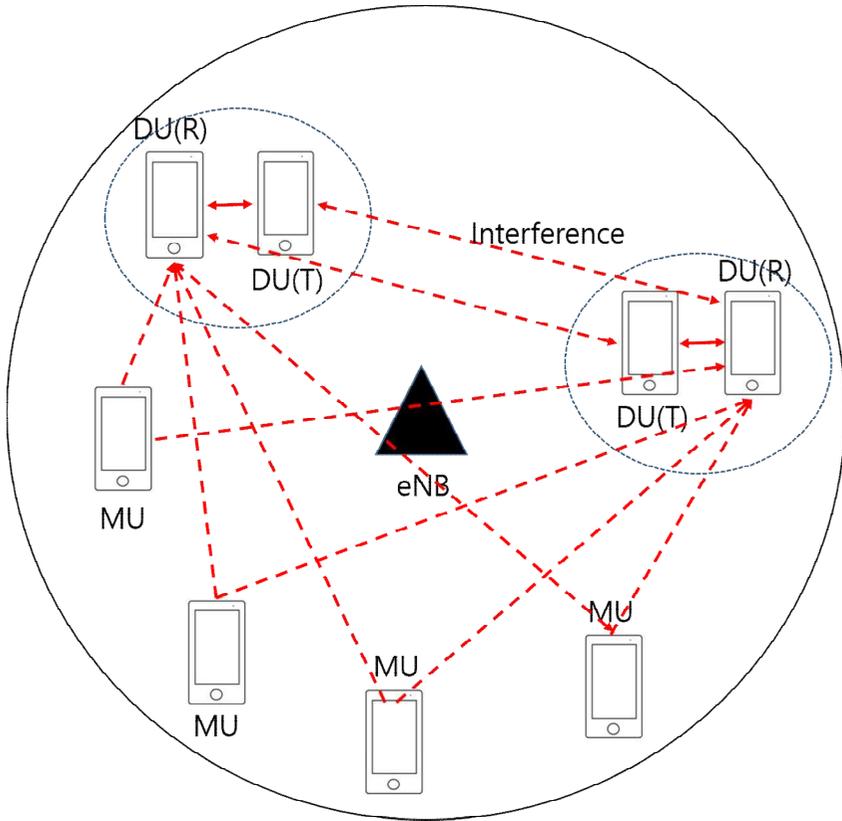
2. D2D 통신 네트워크 환경

매크로 기지국내에 D2D 단말들이 배치되 환경으로 셀간 간섭문제 외에 송신단말(DU-T)의 존재로 인하여 단말-단말간의 간섭이 생기는 사항으로 단말들이 사용하는 주파수 방식에 따라 공유방식(Shared)과 비공유방식(Split)이 있다.



[그림 2-18] 단말간직접통신(비공유방식, Split)

주파수 비공유방식인 Split은 그림 2-18에서 보는바와 같이 D2D 통신을 수행할 경우 셀 중앙 기지국의 간섭을 받지 않게 된다. 주파수 공유방식의 경우 D2D 단말의 전송파워보다 중앙기지국의 전송파워가 훨씬 강력하여 D2D 통신에 대하여 상당한 영향이 있어 주파수 비공유 방식으로 통신 시 신호대잡음비인 SINR의 값이 공유방식에 비하여 높을 수 있다.



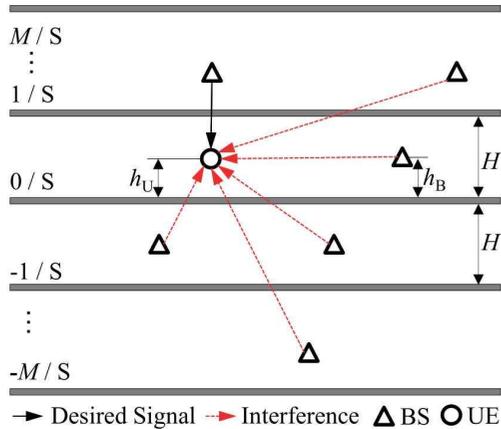
[그림 2-19] 단말간직접통신(공유방식, Shared)

그림 2-19은 D2D 통신의 주파수 공유방식을 나타낸 그림으로 주파수 공유에 의하여 매크로셀-D2D단말, 주위 D2D송신단말-D2D단말, 주변 매크로셀-D2D 단말에 대하여 간섭을 주는 사항을 나타낸 그림이다. 주파수 공유 방식의 경우 간섭원이 많기 때문에 SINR 값의 상당한 영향이 있다.

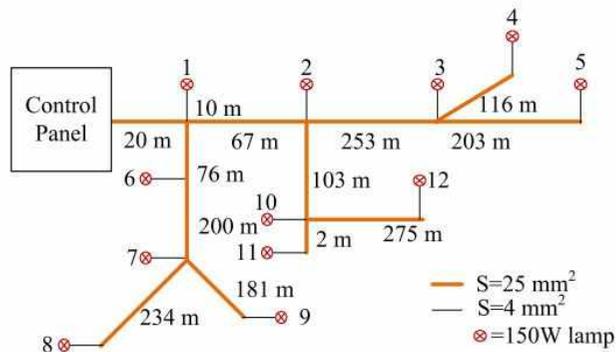
제7절 이동통신 시스템에서 HetNet 구성 연구 동향

이기종네트워크(HetNet)의 기술인 스몰셀과 D2D 통신은 각각 3GPP Release.11과 Release.12에서 표준화를 진행하였으며 국내외에서 지속적으로 연구 중이다. 본 절에서는 서론 부분에 다룬 국내·외 연구동향에 이어 HetNet 구성에 대한 최근 연구 동향에 대하여 다뤄보고자 한다.

스몰셀의 구성에 따라 내부 또는 외부로 나뉘지게 되고 각각의 연구에 대하여 진행중에 있다. 그림 2-20에서 보는바와 같이 내부 스몰셀 배치의 경우 한 건물 내에 설치된 스몰셀의 성능 분석에 대한 연구가 있으며 3차원 구조를 고려하여 특정 높이 및 기지국의 밀도 조정에 대한 연구가 있으며[90] 그림 2-21와 같이 외부에 스몰셀을 배치할 경우 전력라인의 구성에 대한 연구도 진행중이다.[91]

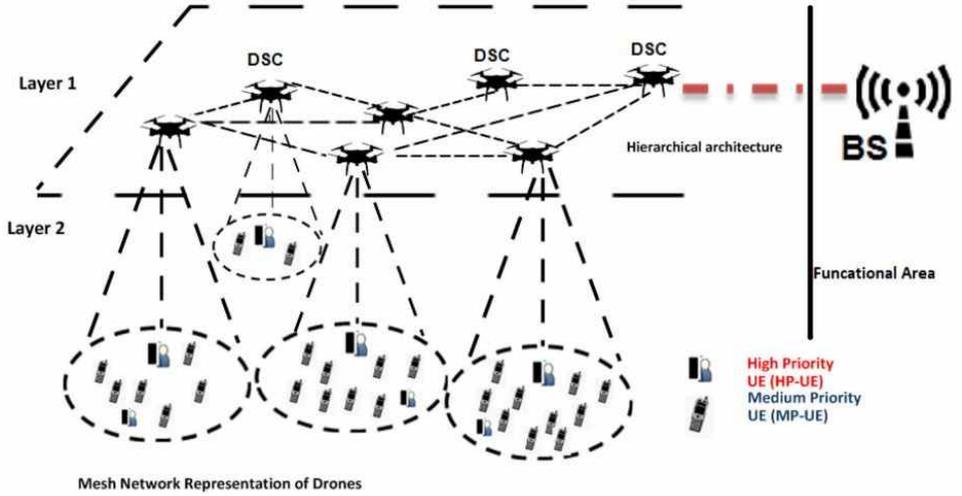


[그림 2-20] 다층 빌딩에서의 스몰셀 네트워크[90]



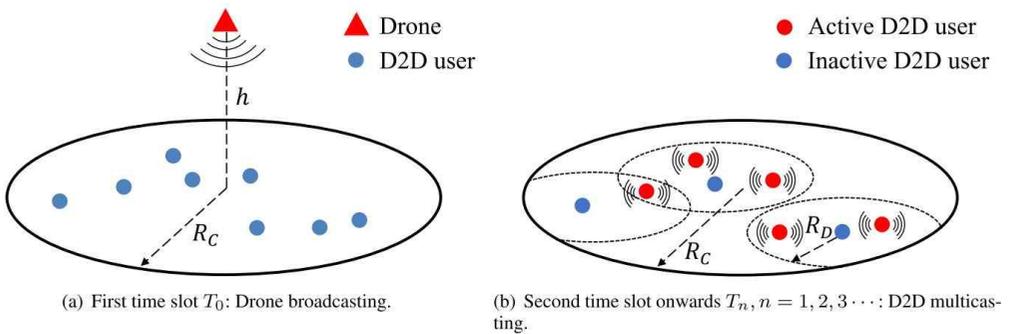
[그림 2-21] 스몰셀 배치에 대한 외부 전력선 구성 연구[91]

또한 그림 2-22과 같이 스몰셀 구성에 대한 용이성에 따라 재난시 드론을 이용한 공공 안전 통신시스템을 구축을 하는 방안 또한 연구되었다.[92]



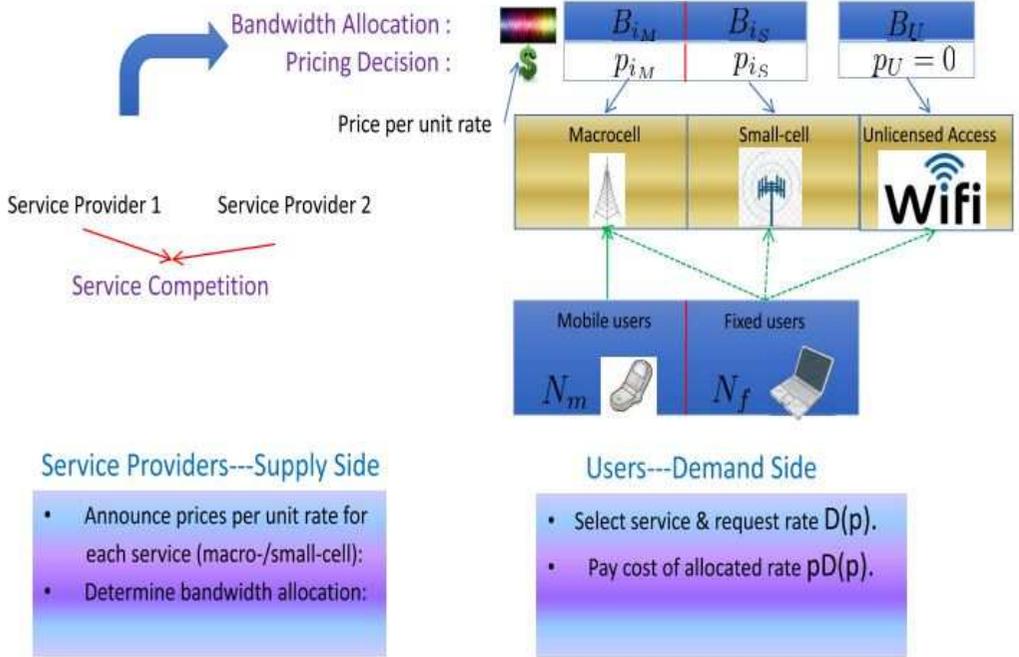
[그림 2-22] 재난 시나리오에 따른 드론을 이용한 스몰셀 네트워크 시스템 구성[92]

재난시 드론을 이용한 스몰셀 네트워크 구성과 더불어 재난상황에서 D2D 통신을 통한 재난통신 구축또한 연구중이며 최근 연구로는 그림 2-23에서 보는 바와 같이 드론을 이용한 멀티홉 멀티캐스트 네트워크 구축 사항이 있다.[93]



[그림 2-23] 재난 시나리오에서 드론을 이용한 D2D 네트워크 구축[93]

셀 가장자리에 대한 단말의 통신을 위한 오프로딩에 대한 연구 또한 진행 중이며 [94-95] 그림 2-24와 같이 이기종네트워크 구성에서 비면허대역과 면허대역의 동시 구성에 대한 연구 또한 진행 중이다. [96]



[그림 2-24] 이기종네트워크에서 비면허대역과 면허대역에 대한 연구 [96]

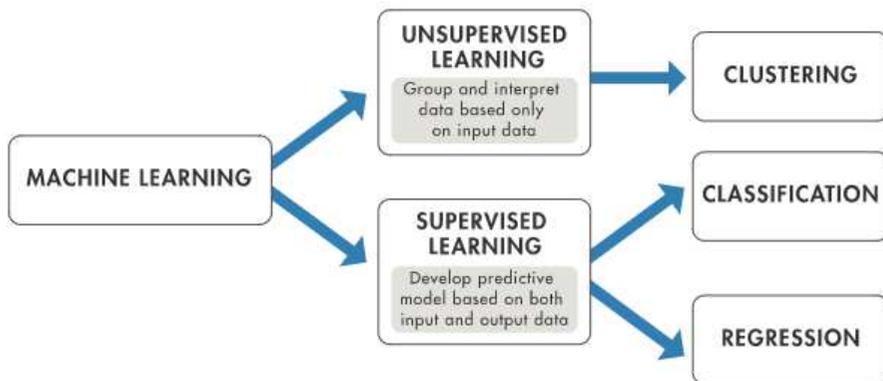
차세대 이동통신에서 밀리미터파이용에 따른 D2D 통신에 대한 연구가 있으며 [97] D2D 멀티홉에 의한 릴레이 통신 [98], D2D 통신 검색 및 선택에 대한 연구 [99], D2D 통신과 셀룰러 통신간의 간섭제어의 성능 분석 [100]에 대하여 최근에 연구된바가 있다.

제8절 인공지능

최근 애플의 SIRI, 구글음성인식, 삼성의 빅스비 등의 음성인식기술과 이미지 인식, 안면인식, 사진분류, 게임, 의료, 개인비서, 기타 프로그램운용 등에 대하여 AI 기술분야가 확장되고 있다. AI는 컴퓨터에 특정 데이터에 대한 특징 등을 학습시켜 추론을 프로그램화 하는 기술로 인간 뇌의 추론 단계를 공학적으로 구현한 기술로 정의한다.[101]

1. 머신러닝

인공지능의 한 분야인 머신러닝은 데이터에 내재된 패턴이나 규칙들을 컴퓨터가 프로그래밍 없이 스스로 학습하여 새롭게 입력되는 데이터에 대한 결과를 예측하는 기술로 정의한다.



[그림 2-25] 머신러닝 종류 [102]

머신러닝은 주요 학습 알고리즘으로 인공신경망을 활용하고 있으며 대표적인 방법론은 학습 데이터에 결과 값이 있는 경우와 없는 경우에 따라 그림 2-25와 같이 지도학습(Supervised Learning)과 비지도학습(Unsupervised Learning)으로 분류한다. 지도학습은 일반적으로 분류(Classification)와 예측(prediction)문제에 사용한다.[102]

지도학습은 목적에 따라 회귀(Regression)와 분류(Classification)으로 나

누어 지며 분류모델에는 알고리즘에 따라 서포트벡터머신(Support vector machine), kNN(k nearest neighbor), 의사결정트리(Decision Tree) 모델이 대표적이고 주어진 입력에 대한 출력을 예측하는 방식으로 회귀모델(regression)이 주요하다.[103]

회귀모델에서 분류와 같이 범주형(categorical) 결과 값을 예측하는 경우에도 적용이 가능한데, 이 경우에는 로지스틱 회귀라고 한다. 비지도학습의 군집 모델은 학습을 위한 데이터가 레이블을 보유하고 있지 않은 경우이다.[104]

최근 AI 분야의 주요한 이슈 중의 하나는 인공지능 기반의 딥러닝 분야이다. 딥러닝은 머신러닝의 접근법 중 하나인 신경망 모형 페러다임에 그 뿌리를 두고 있다. 단일 퍼셉트론에서 해결하지 못하는 문제를 다중신경망 이론으로 해결하면서 주목을 받고 있다.[105]

가. kNN 알고리즘

kNN(k-nearest neighbor)알고리즘은 어떤 데이터에 대한 답을 예측할 때 주위 데이터를 보고 다수를 차지하는 것을 정답으로 사용하는 알고리즘이다. 훈련데이터는 각각 분류되는 다차원 공간에서의 벡터이며 kNN알고리즘 훈련시 훈련 데이터의 특징과 분류 명을 저장한다. 분류단계에서는 k는 사용자 정의 상수이고 분류명이 붙지 않은 벡터는 k개의 훈련 표본 사이에서 가장 빈번한 분류 명을 할당함으로써 분류된다.[106]

나. 로지스틱 회귀 알고리즘

해결해야하는 문제가 분류일 경우 단조 미분 가능 함수를 찾아내어 분류문제의 실제 레이블과 선형회귀 모델의 예측값을 연결을 하면 해결이 가능하다. 분류 가능성에 대해 직접적으로 모델을 만들고 사전 데이터 분포에 대한 가정을 필요로 하지 않는다. 이는 가설 분포가 부정확해서 일으킬수 있는 문제들을 피할 수 있게 해준다. 로지스틱 회귀는 Class를 예측할 뿐 아니라 근사확률에 대한 예측도 할 수 있다. 로지스틱의 식은 종속 변수 또는 결과 값이 항상 0과 1 사이로 지정된다.

$$y = \frac{1}{1 + e^{-f(x)}} \quad (2-2)$$

$$y = \frac{1}{1 + e^{-(\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b)}} \quad (2-3)$$

$$\ln \frac{y}{1-y} = \mathbf{w}^T \mathbf{x} + b \quad (2-4)$$

로지스틱 함수는 식 2-2와 같이 표현하며 식 2-3에서 선형회귀 예측 값을 적용하고 식 2-4과 같이 변경한다. 샘플 x 가 0보다 클 경우 y 는 양수 $1-y$ 는 음수일 가능성이 된다.

$$\frac{y}{1-y} \quad (2-5)$$

성공확률과 실패확률을 비교하여 몇 배나 더 높은지 비교하기 위하여 식 2-5로 표현하며 이를 odds라 부른다.

$$\ln \frac{y}{1-y} \quad (2-6)$$

odds에 로그를 취한 것을 logit이라고 부른다. 선형회귀모델의 예측 결과 값을 사용하여 실제 데이터의 log-odds에 근사한다는 것이다. [106]

다. 결정트리 알고리즘

의사결정 트리는 나무 구조에 기반하여 결정을 진행한다. 인간이 하나의 결정을 내리는 프로세스와 유사하다. 일반적으로 하나의 의사결정 트리는 하나의 루트노드(root nodes)와 여러개의 내부 노드(internal node), 그리고 여러 개의 리프노드(leaf node)를 포함한다. 각 노드에 포함된 샘플 집합은 속성 테스트 결과에 따라 하위 노드로 분류된다. 루트 노드는 모든 샘플의 집합을 포함한다. 루트 노드에서 시작해 각 옆으로 뻗어나가는 과정은 일련의 판단과 테스트 과정이다. 의사결정 트리 학습의 목표는 일반화 성능이 뛰어난 트리를 얻는 것이다. [106]

라. 서포트 벡터 머신 알고리즘

서포트 벡터 머신(SVM; Support Vector Machine)은 결정 경계(Decision Boundary)를 정하는 모델로서 분류되지 않은 새로운 데이터가 나올 경우 경계의 어느 쪽에 속하는지 확인해서 분류문제를 수행할 수 있게 한다. 서포트 벡터머신에서는 서포트 벡터를 통하여 결정경계를 정의하여 비활용 데이터

포인트들을 효율적으로 관리 할 수 있게 해준다.

샘플공간에서 경계는 식 2-7의 선형 방정식을 통해 정의한다.

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b = 0 \quad (2-7)$$

샘플 공간에서의 임의의 데이터에서 경계(w,b)까지의 거리는 식 2-8로 계산한다.

$$r = \frac{|\mathbf{w}^T \mathbf{x} + b|}{\|\mathbf{w}\|} \quad (2-8)$$

경계(w,b)가 훈련 샘플을 정확히 분류할 수 있다고 가정한다면 y_i 가 +1이면 $\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b > 0$ 이고 y_i 가 -1이면 $\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b < 0$ 이다.

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b \geq +1, y_i = +1 \quad (2-9)$$

$$\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b \leq -1, y_i = -1 \quad (2-10)$$

식 2-9와 2-10은 경계에 가장 가까운 몇 개의 샘플 포인트를 나타내며 이들을 support vector라 부른다. 두 개의 서로 다른 서포트벡터에서 경계에 달하는 거리의 합은 식 2-11에 따르며 이를 margin이라고 한다.

$$\gamma = \frac{2}{\|\mathbf{w}\|} \quad (2-11)$$

maximum margin을 가지는 경계를 가지고 싶다면 식 2-9와 2-10의 조건을 만족하는 파라미터를 찾아 거리 값을 극대화 해야한다. [106]

$$\max_{\mathbf{w}, b} \frac{2}{\|\mathbf{w}\|} \quad y_i(\mathbf{w}^T \mathbf{x}_i + b) \geq 1 \quad (2-12)$$

2. 딥러닝

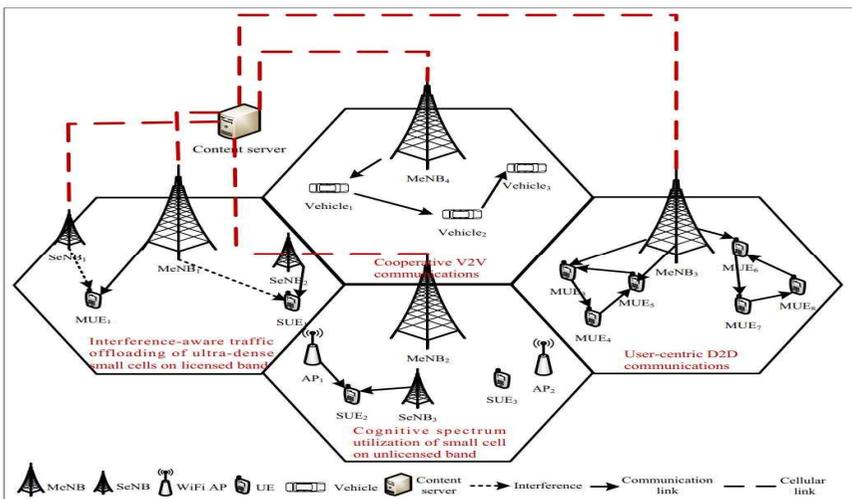
클라우드 컴퓨터 시대와 빅데이터 시대가 오면서 전반적인 컴퓨터 하드웨어의 성능이 높아짐에 따라 복잡한 모델의 훈련이 가능해졌다. 전형적인 딥러닝 모델은 신경망을 대폭 늘리는 방식으로 신경망 모델의 능력을 향상시킬수 있는 방법은 은닉층의 개수를 늘리는 것이다. 은닉층이 많으면 상응하는 뉴런 연결 가중치, 임계값 등 파라미터 수가 늘어난다. 모델의 복잡성도 단순히 은닉층 뉴런의 수를 증가시키는 것만으로 늘어 날수가 있다.[106]

비지도 레이어-와이즈 훈련(unsupervised layer-wise training)은 다수의 은닉층을 가진 네트워크를 훈련하는데 유용한 수단이다. 기본적인 아이디어는 한번에 한층의 은닉 노드를 훈련하고 훈련 시 앞 층 은닉 노드의 출력을

입력으로 받는 것이다. 해당 층의 은닉노드의 출력은 다음 층 은닉노드의 입력이 된다. 이러한 과정을 사전학습(pre-training)이라고 한다. 사전학습이 모두 완료된후 다시 모든 네트워크에 대해 파인튜닝(fine-tuning)훈련을 진행한다. 예를들어 DBN(Deep Belief Network)신경망에서 각 층은 모드 하나의 볼츠만 머신이다. 즉 모든 네트워크는 여러개의 RBM이 겹겹이 쌓여 얻어진 것으로 간주한다. 비지도 레이어-와이즈 훈련 시 먼저 첫 번째 층을 훈련하고 이는 훈련 샘플의 RBM 모델에 대한 것이고 일반적인 RBM을 따라 훈련시킨다. 첫 번째 사전 훈련이 완료된 은닉 노드를 두 번째 층의 입력 노드로 보고 두 번째 층에 대한 사전 훈련을 진행한다. 이렇게 각 층에 대한 사전훈련이 완료된 후 오차 역전파 알고리즘을 활용하여 모든 네트워크에 대해 파인튜닝을 진행한다.[107]

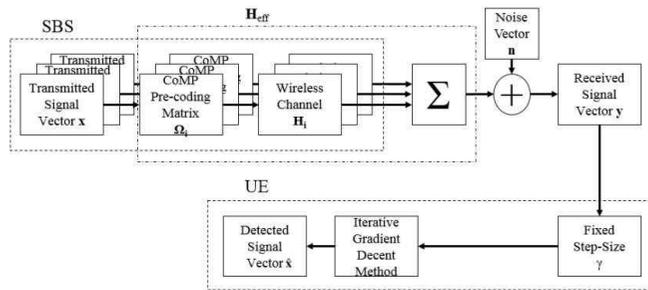
3. 이동통신 시스템에서 인공지능 알고리즘 적용 국내외 연구 동향

이동통신분야에서의 이기종네트워크의 연구로 UDN환경에서 이기종네트워크에 대한 트래픽 오프로딩을 머신러닝을 사용법에 대하여 해결법을 제안하는 연구가 있으며 해당 연구에는 그림 2-26과 같이 스몰셀과 D2D, V2V(Vehicle-to-Vehicle)등의 구성에 대한 방법에 대하여 소개하고 있다.[108]

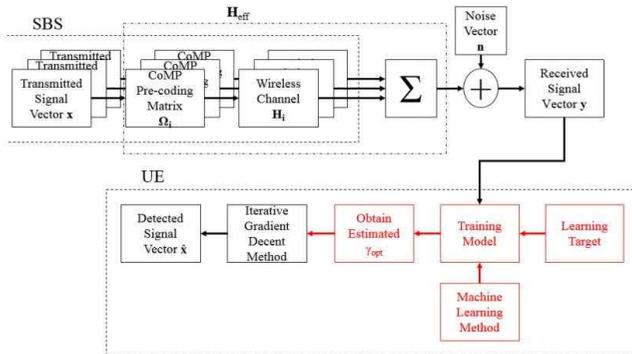


[그림 2-26] 이기종 네트워크 오프로딩에 대한 머신러닝 기술 적용 [108]

앞서 언급한 인공지능 기술인 머신러닝 기법의 지도학습 알고리즘을 이용한 이동통신기술에 대하여 많은 연구가 진행 중에 있다. 국외 연구로는 머신러닝 방법으로 스케줄 정책에 따라 에너지 가용량을 예측하여 최적화 하는 방법[109]과 UDN환경에서 동적주파수와 대역폭할당에 대한 SON(Self Organizing Network) 로지스틱 회귀 방법에 대한 사용[110] 도시환경에서 경로손실 예측모델과 MIMO 안테나 선택에 대하여 SVM알고리즘의 적용[111-112] 등이 있다.



(a) The traditional method.



(b) The proposed method.

[그림 2-27] 스몰셀 협력전송(CoMP)에 대한 머신러닝 훈련모델 적용 예[113]

인공지능 기법중 인공신경망 이용한 연구들이 있으며 최근 연구중에는 초고밀도 스몰셀 네트워크에서 협력전송을 위한 신호탐색에 대하여 그림 2-27과 같이 기존방법에 인공신경망을 추가하는 방법으로 시스템 성능향상을 하는 방법이 있다.[113]

제3장. HetNet 기술 적용을 통한 시스템 성능향상 기 법 연구

제1절 시스템 모델

1. 시스템 파라미터

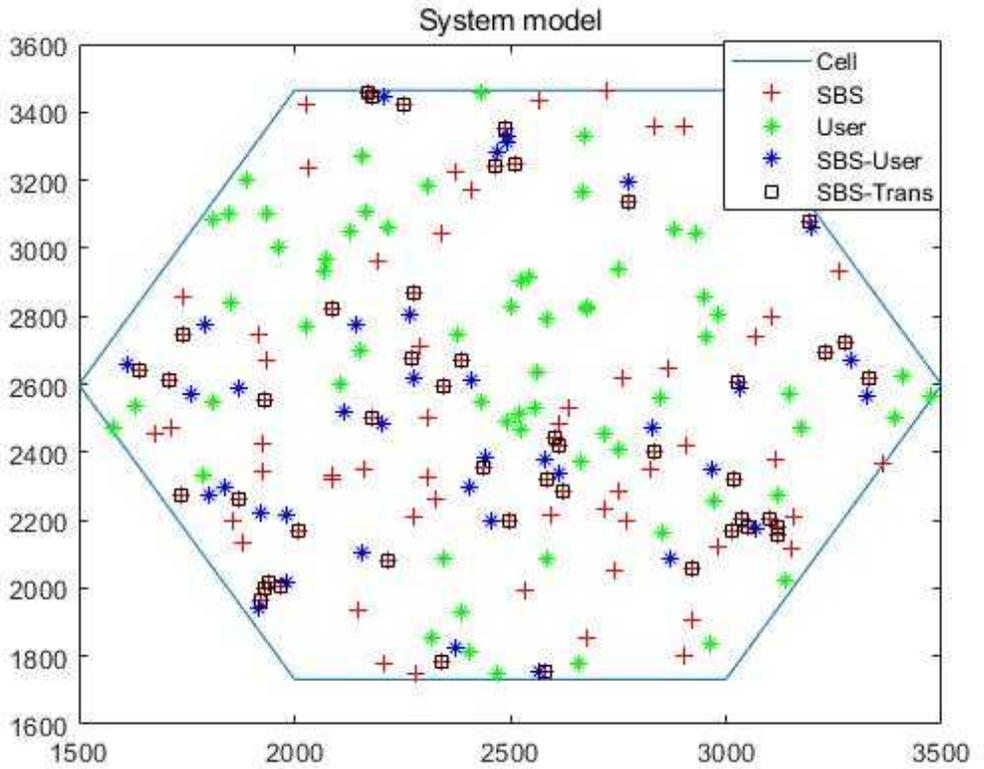
[표 3-1]. 시스템 파라미터

Parameter	Value
Cell radius	1km
eNB Power	20W [114]
Device Power	200mW [114-115]
Small Cell Power	10W [116]
UE Device	10~100
Distance between SBS-SBSUE	10m
Distance between D2D	20m
Distribution Device	Uniform Distribution
Simulation count	500
Pathloss	eNB : $15.3+37.6\log D$ [117] SBS : $38.46+20\log D$ [117] D2D : $148+40\log D$ [118]
Noise density	-174dBm/Hz
eNB	25m
Simulation Program	Matlab 2018a

표 3-1은 시뮬레이션 환경에 대한 파라미터를 나타낸 사항이다. 기지국의 반경은 1km 로 설정하고 기지국, 스몰셀, 단말의 파워는 20W, 10W, 200mW로 단말의 숫자는 10개에서 100개로 증가시키며 스몰셀의 개수는 100개로 지정한다. 시뮬레이션을 진행하며 단말간 통신 거리는 그림 3-3과 3-4, 그리고 3-5의 그래프 결과에서와 같이 스몰셀과 D2D 통신의 오작동 확률을 고려하여

스몰셀은 10m 연결 D2D는 20m연결로 결정하였다. 단말의 배치는 랜덤으로 하며 시뮬레이션은 500회로 진행하였으며 프로그램은 매트랩을 활용하여 진행하였다.

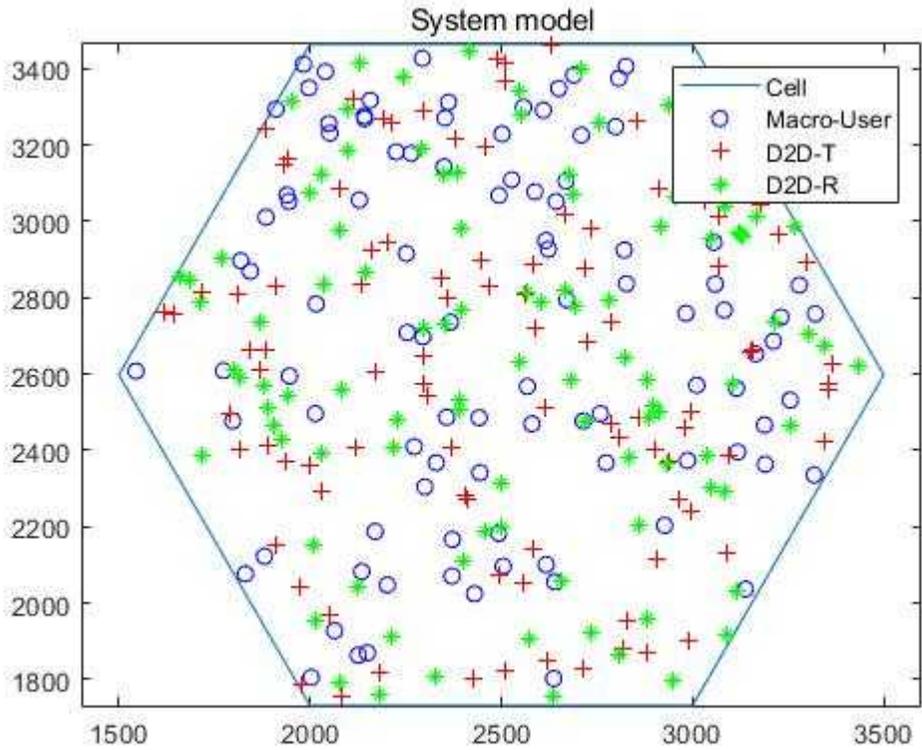
2. 스몰셀 네트워크



[그림 3-1] 스몰셀 네트워크 시스템

그림 3-1은 매크로 통신 시스템에 스몰셀을 적용한 사항으로 스몰셀과 단말의 위치 그리고 스몰셀 통신을 하는 스몰셀 유저와 활성화된 스몰셀을 볼 수가 있다. 셀 경계 구역에서 매크로 통신의 성능이 낮아져 주위 스몰셀과 연결을 예상 할 수 있으나 주위 간섭이 적을 경우 매크로통신을 수행하는 경우도 있음을 볼 수 있다.

3. D2D 네트워크



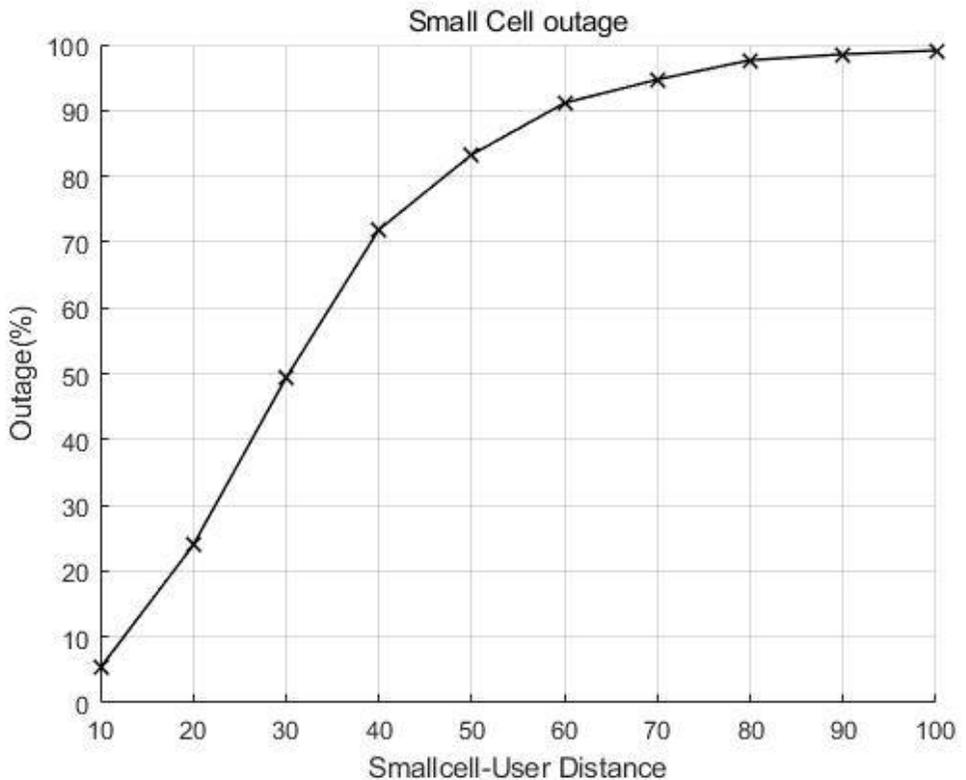
[그림 3-2] D2D 네트워크 시스템

그림 3-2는 매크로 통신 시스템에 D2D를 적용한 사항으로 D2D 모드 셀렉션과 제안하는 알고리즘에 따라 매크로 통신을 하는 단말과 D2D 통신을 하는 단말을 그림에서 볼 수 가 있다.

4. 스몰셀 네트워크와 D2D 네트워크의 Outage

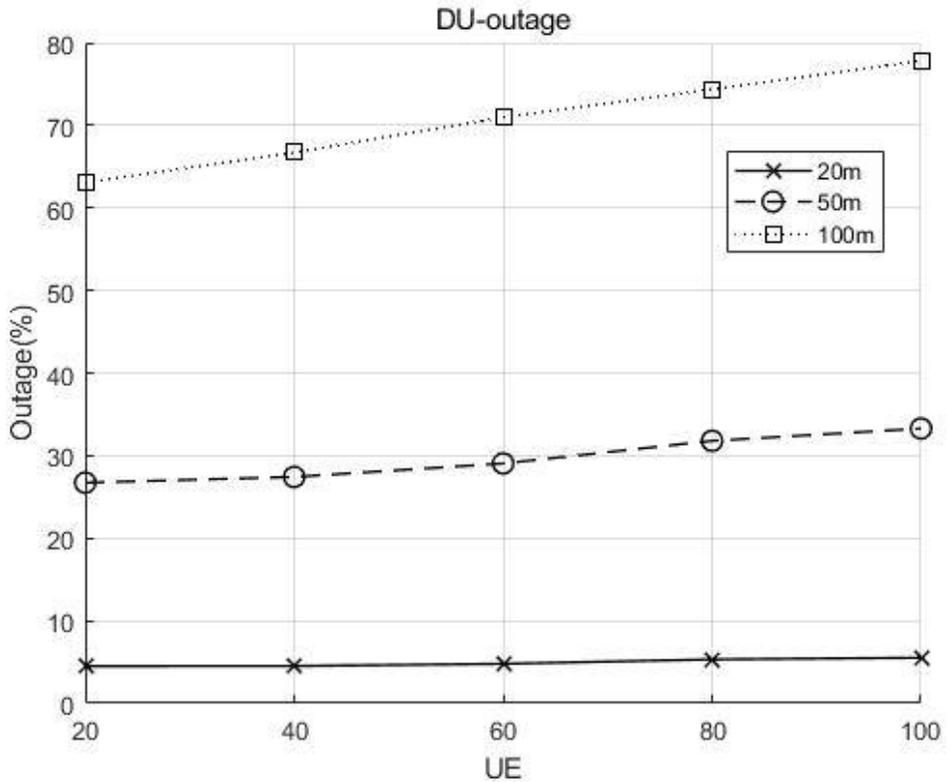
이동통신에 있어 경로손실은 거리에 따라 비례한다. 매크로기지국과는 달리 스몰셀과 D2D-송신단말의 경우 전송전력이 낮아 거리에 따라 Outage가 높아진다.

그림3-3, 그림3-4과 그림3-5는 각 통신방식에 따른 Outage를 시뮬레이션에 의하여 나타낸 방식으로



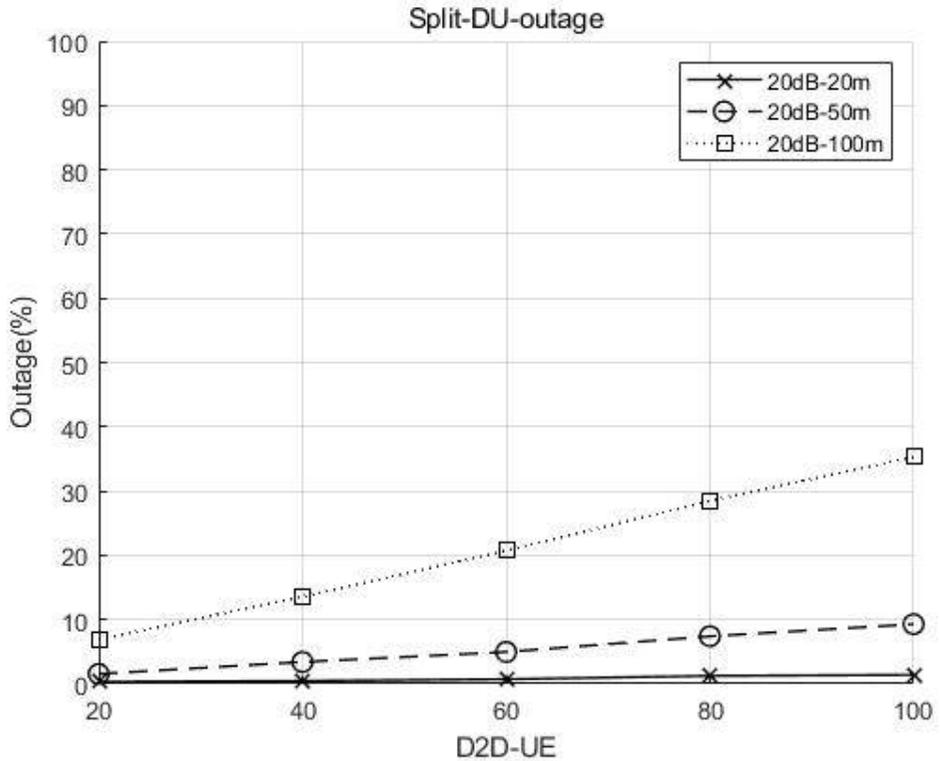
[그림 3-3] 스몰셀 네트워크 Outage

스몰셀의 경우 송신부와 단말간의 거리가 10m를 초과할 경우 Outage가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있으며 단말간직접통신의 경우 송신-D2D단말과 수신-D2D단말간의 거리가 20m 기준 오작동확률이 5%미만이며 스몰셀과 같이 거리가 증가할 경우 Outage가 급격하게 증가하게 된다.



[그림 3-4] 단말간직접통신 Outage(Shared)

D2D 통신의 Shared 방식의 경우 그림 3-4에서 보는 바와 같이 주파수 공유로 인한 간섭으로 인하여 20m의 경우 Outage가 10%이하를 유지하나 20m이상일 경우 급격하게 성능이 낮아지는 것을 볼 수가 있다.



[그림 3-5] 단말간 직접통신 Outage(Split)

D2D 통신의 Split 방식의 경우 그림 3-5에서 보는 바와 같이 주파수 비공유로 인하여 간섭량이 줄어들어 20m거리에서 통신을 할 경우 단말의 수가 늘어남에 따라 성능 저하가 미미한 수준이며 50m에서 또한 좋은 성능을 나타낸다. 100m거리에서는 단말의 수가 적을 경우 통신을 수행하여도 오작동 확률은 10% 이하의 성능을 나타낸다. split으로 환경을 구축할 경우 높은 성능을 예상 할 수 있으나 주파수의 할당문제로 인하여 전체적인 시스템 성능을 고려하여 환경을 구축하여야 한다.

제2절 각 시스템별 성능 분석 방법

단말의 송수신 성능에 대한 척도로 신호 대 잡음비인 SINR을 측정한다. SINR은 매크로셀과 인접한 매크로셀 및 스몰셀의 송신전력과 사용자간 채널 이득을 고려하여 계산한다.

1. 매크로 통신의 SINR과 시스템 용량

$$SINR_m = \frac{P_M G_{m,M}}{N_0 \Delta_f + \sum_{M'} P_{M'} G_{m,M'} + \sum_S P_S G_{m,S}} \quad (3-1)$$

P_M : 매크로셀 송신전력

$P_{M'}$: 인접 매크로셀 송신전력

$G_{m,M}$: 매크로셀과 사용자 간 채널 이득

$G_{m,M'}$: 인접 매크로셀과 사용자 간 채널 이득

$G_{m,S}$: 스몰셀과 사용자간 채널이득

P_S : 인접 스몰셀 F의 송신전력

N_0 : 백색잡음전력

f : 서브채널 간격

매크로 통신 SINR의 값은 주변 매크로셀의 간섭량과 셀내의 스몰셀 기지국의 간섭량을 고려하여 계산 한다. SINR값과 총 자원의 양을 계산하여 시스템 용량을 다음과 같이 샤넌의 채널용량식으로 계산 할 수 있다.

$$C_m = BW \cdot \log_2(1 + SINR_m) \quad (3-2)$$

2. 스몰셀통신의 SINR과 시스템 용량

$$SINR_s = \frac{P_S G_{s,S}}{N + \sum_{S'} P_{S'} G_{s,S'} + \sum_{M'} P_{M'} G_{s,M'}} \quad (3-3)$$

스몰셀 통신 SINR은 스몰셀들과 매크로셀의 간섭량을 고려하여 계산하며 샤넌의 채널용량 식으로 시스템 용량을 계산한다.

$$C_s = BW \cdot \log_2(1 + SINR_s) \quad (3-4)$$

2. D2D 통신의 SINR과 시스템 용량

D2D의 SINR은 매크로셀과 인접한 매크로셀 및 송신 D2D단말의 송신전력과 사용자간 채널이득을 고려하여 계산한다.

$$SINR_j = \frac{P_M G_{m,M}}{N_0 \Delta_f + \sum_M P_M G_{m,M} + \sum_j P_j G_{m,j}} \quad (3-5)$$

P_M : 매크로셀 송신전력

P_M : 인접 매크로셀 송신전력

$G_{m,M}$: 매크로셀과 사용자 간 채널 이득

$G_{m,M}$: 인접 매크로셀과 사용자 간 채널 이득

$G_{m,j}$: D2D통신 사용자간 채널이득

P_j : D2D 송신 단말의 송신전력

P_j : 인접 D2D 송신 단말의 송신전력

N_0 : 백색잡음전력

f : 서브채널 간격

매크로 통신 SINR의 값은 주변 매크로셀의 간섭량과 셀내의 송신단말의 간섭량을 고려하여 계산 한다. SINR값과 총 자원의 양을 계산하여 시스템 용량을 다음과 같이 샤넬의 채널용량식으로 계산 할 수 있다.

$$C_m = BW \cdot \log_2(1 + SINR_j) \quad (3-6)$$

2. D2D 통신의 SINR과 시스템 용량

$$SINR_j = \frac{P_j G_{j,j}}{N + \sum_j P_j G_{j,j} + \sum_M P_M G_{s,M}} \quad (3-7)$$

스몰셀 통신 SINR은 송신단말들과 매크로셀의 간섭량을 고려하여 계산하며 샤넬의 채널용량 식으로 시스템 용량을 계산한다.

$$C_j = BW \cdot \log_2(1 + SINR_j) \quad (3-8)$$

3. 단말의 비트크기, 지연, 처리량 관계

이동통신에서 사용자 i 의 비트 크기와 지연 및 처리량의 관계는 다음과 같다.

$$d_i = \frac{Q_i}{T_i} \quad (3-9)$$

d_i : 사용자의 요구 지연, Q_i : 사용자 요구 패킷 크기

T_i : 사용자의 처리량, B_i : 변조방식에 따른 송신 비트 수

O : 오버헤드 수 W : 대역폭

$$T_i = 10^{-6} \times B_i \times \frac{W_i \times 12}{\tau_i} (1 - O) \quad (3-10)$$

제3절 이기종 네트워크 통신 알고리즘

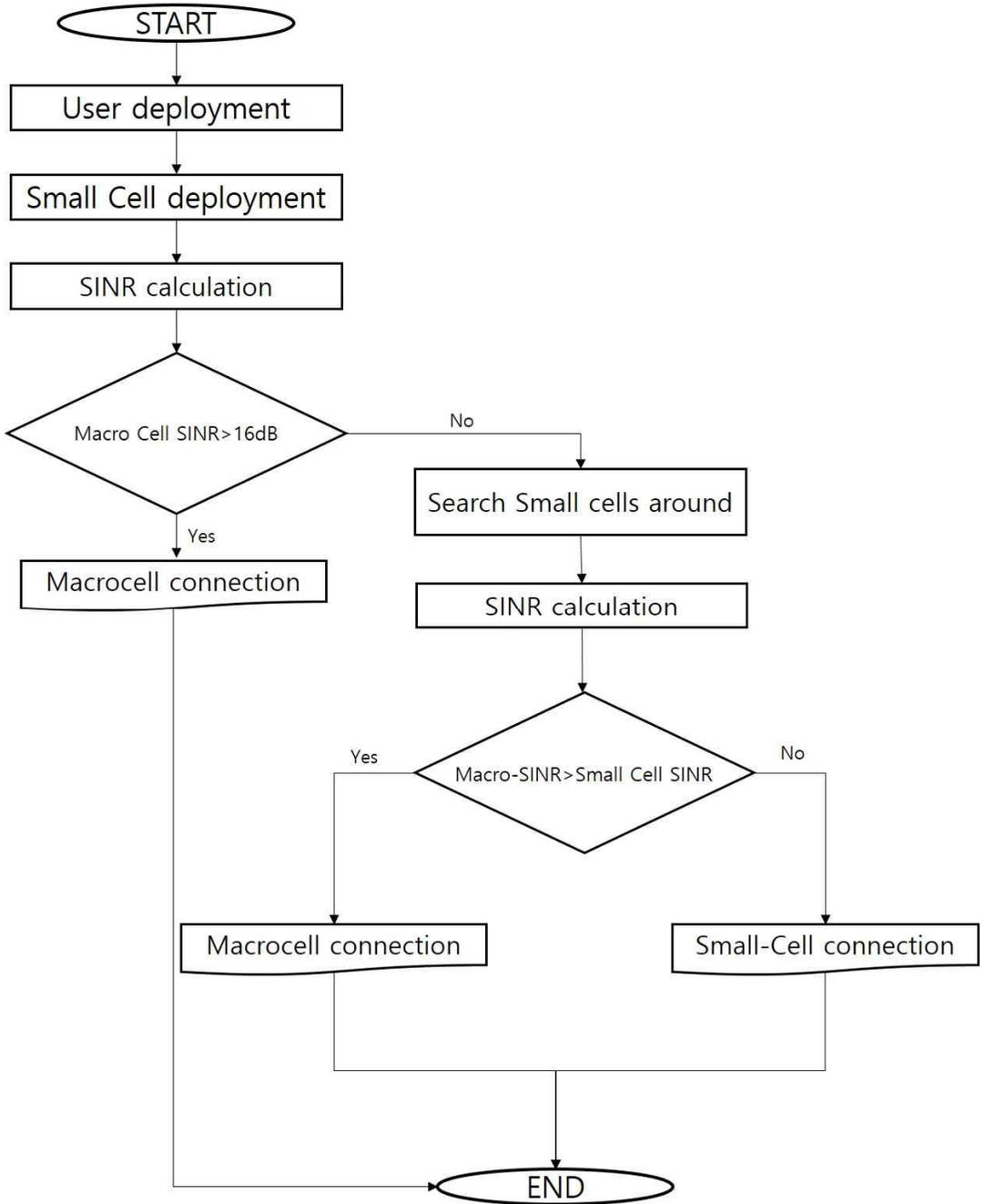
1. 스몰셀 알고리즘

통신수행에 있어 매크로셀-유저(MBS통신), 스몰셀-유저(SBS통신)의 연결은 각 기지국에서 오는 신호와 간섭량을 고려하여 적절한 통신을 수행하여야 한다. 스몰셀은 Licensed band를 사용하는 시스템으로 스몰셀이 무수히 배치하는 UDN환경에서는 간섭량이 매우 커져 성능 저하가 있을 수 있다. 반대로 UDN환경을 구축함에 따라 음영지역이나 통신거리 확장 등 기지국 통신이 약한 곳에서의 성능이 비약적으로 향상하는 경우도 있다. 차세대 네트워크에서 스몰셀을 무수히 배치하는 관점에서는 이러한 문제점들을 해결하여야 한다.

본 논문에서는 매크로시스템에 일반적인 스몰셀 도입과 제안하는 알고리즘의 적용을 통하여 매크로 시스템에서의 스몰셀 도입 시 보다 나은 성능향상을 위하여 다음과 같이 알고리즘을 제안한다.

그림 3-6 은 일반적으로 이동통신시스템에서 스몰셀 기술적용에 대한 사항이며 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 단말 및 스몰셀 배치
- 2) 매크로셀 SINR 목표값 초과 확인
- 3) SINR값이 목표값을 초과할 경우 기지국으로 연결하고 그렇지 않으면 주위 스몰셀의 위치를 파악한다.
- 4) SINR 측정 후 기지국 SINR이 스몰셀 SINR보다 큰 값일 경우 매크로 셀 통신을 하며 그렇지 않으면 스몰셀 통신을 한다.



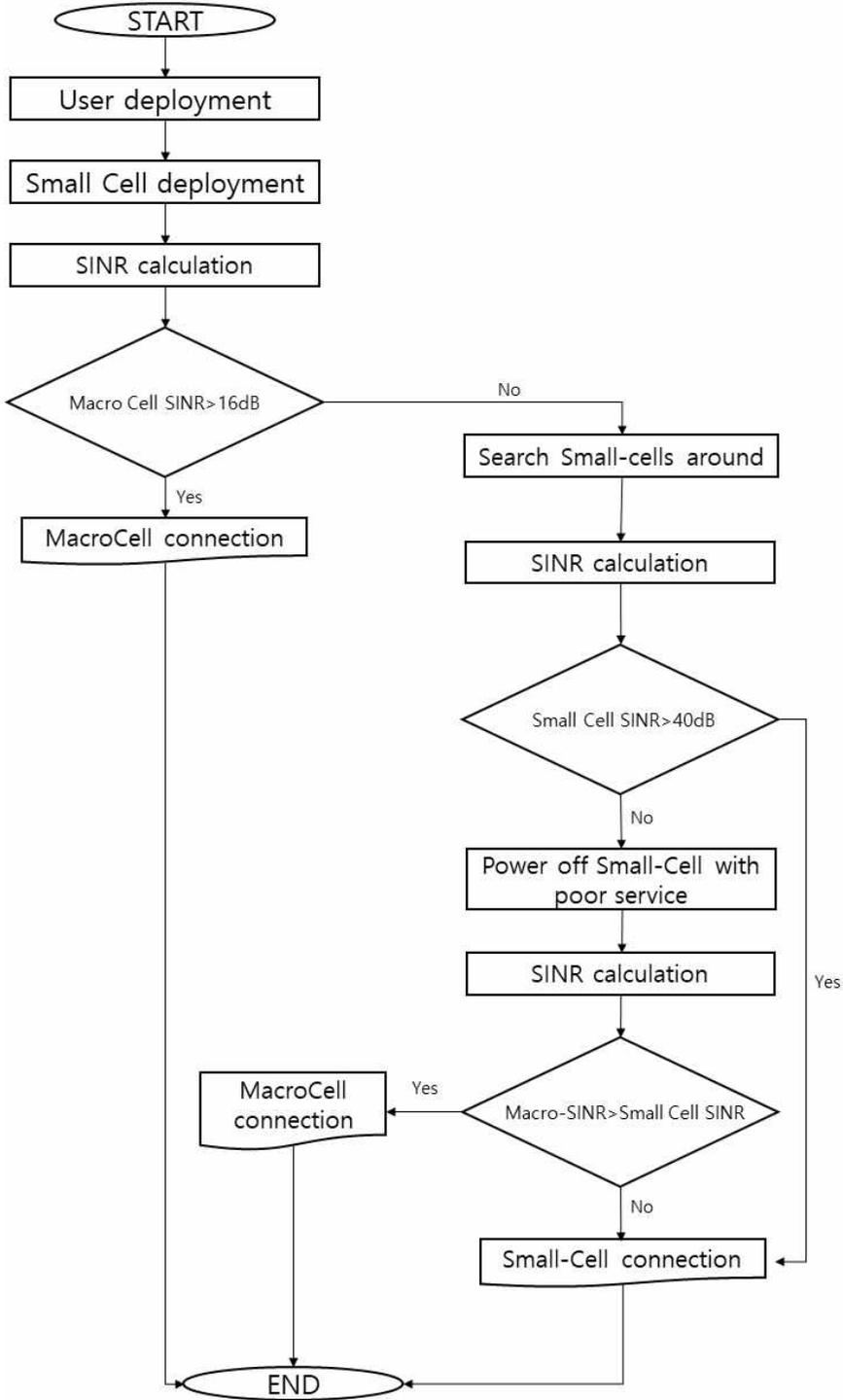
[그림 3-6] 스몰셀 시스템 배치 알고리즘

2. 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘

그림 3-7 에서 제안하는 이동통신 시스템에서의 스몰셀 기술 적용 알고리즘은 다음과 같다.

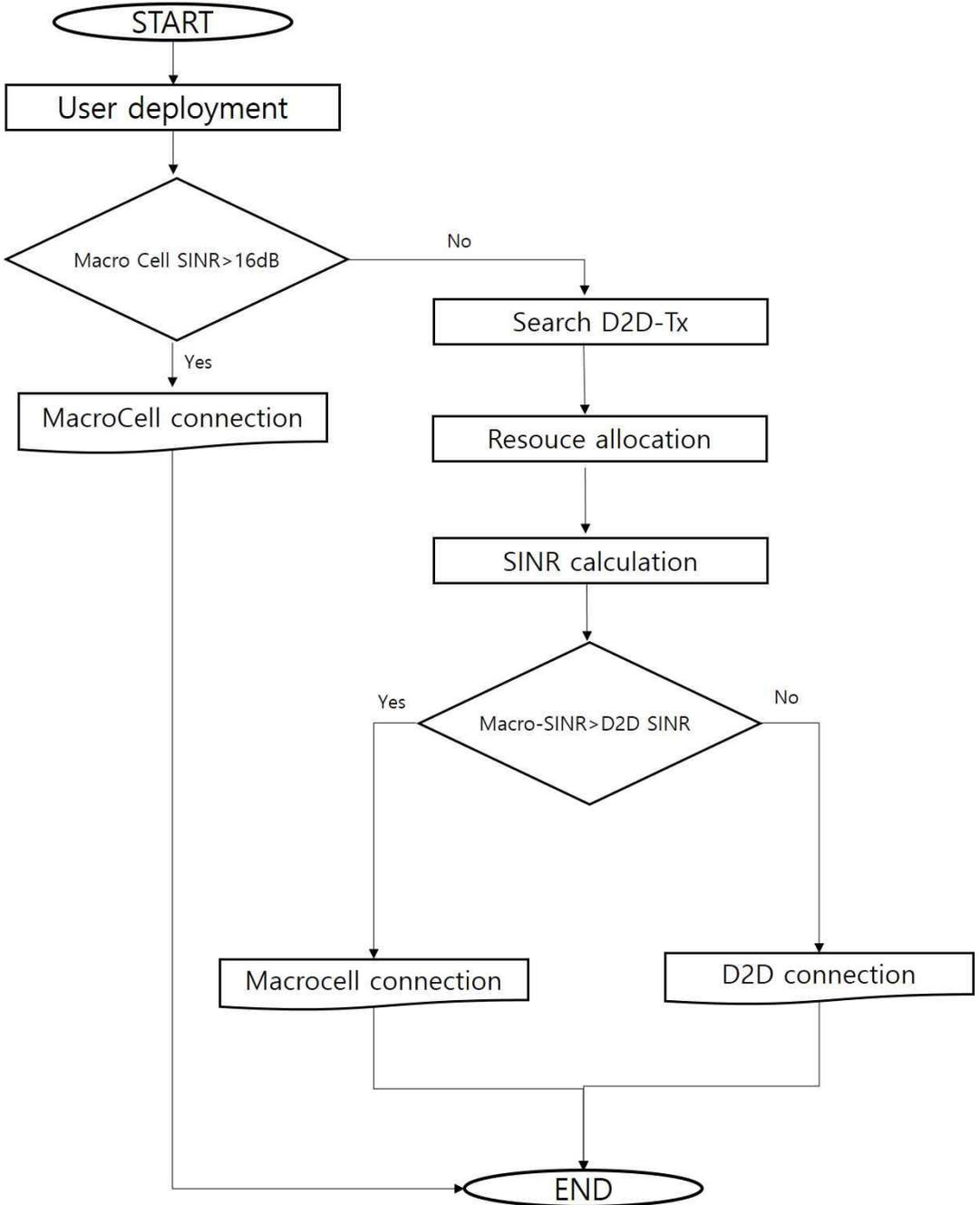
- 1) 단말 및 스몰셀 기지국을 배치한다.
- 2) 매크로셀 SINRI 목표 값을 초과 확인
- 3) SINRI 목표 값을 초과시 기지국으로 연결하고 목표 값을 초과하지 않으면 주변의 스몰셀 위치를 파악한다.
- 4) SINRI 목표 값을 초과하지 않는 경우 40dB 미만인 스몰셀을 꺾을 경우의 SINR을 측정한다.
- 5) 매크로 SINRI 스몰셀 SINR보다 큰 값이면 기지국 통신을 수행하며 그렇지 않으면 스몰셀로 연결한다.

SINR 목표 값에 대한 사항은 그림3-4에 대한 SINR의 측정결과에 따라 설정하였으며 모든 통신 연결에 대한 사항은 중앙집중형 방식을 원칙으로 하며 스몰셀의 개수는 10개에서 100개까지 상황에 따라 on/off를 통하여 통제한다. 시뮬레이션은 Matlab을 이용하여 수행하였다.



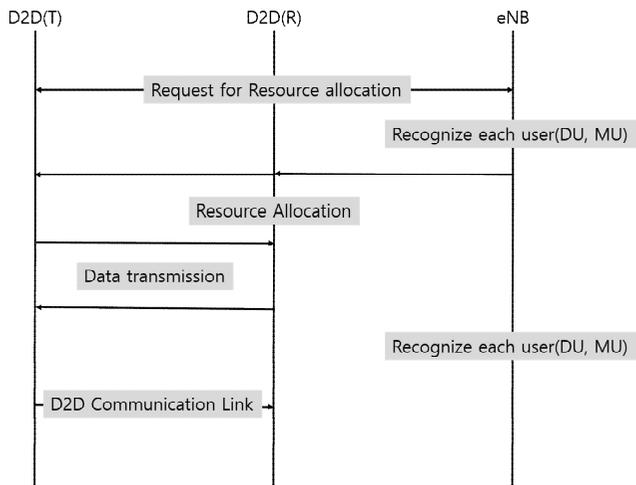
[그림 3-7] 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘

3. 단말간직접통신 알고리즘



[그림 3-8] 단말간직접통신 알고리즘

단말간직접통신(D2D; Device-to-Device) 연결은 주위 기지국의 간섭과 MUE의 간섭 등을 고려하여 적절한 통신을 수행하여야 한다. 스몰셀 시스템과는 다르게 D2D 송신 단말들은 시스템 on/off를 할 수 없으므로 면허대역의 자원 할당비율을 조절하여 간섭을 제어하는 형식으로 진행한다. 본 논문에서는 그림 3-8과 같이 매크로 시스템에서의 D2D 연결에 대한 성능향상을 위한 알고리즘을 제안한다. 해당하는 자원할당 알고리즘은 그림 3-9의 자원할당 단계를 따르며 D2D 통신 자원 할당시의 SINR와 시스템 총량을 계산하여 수행한다.



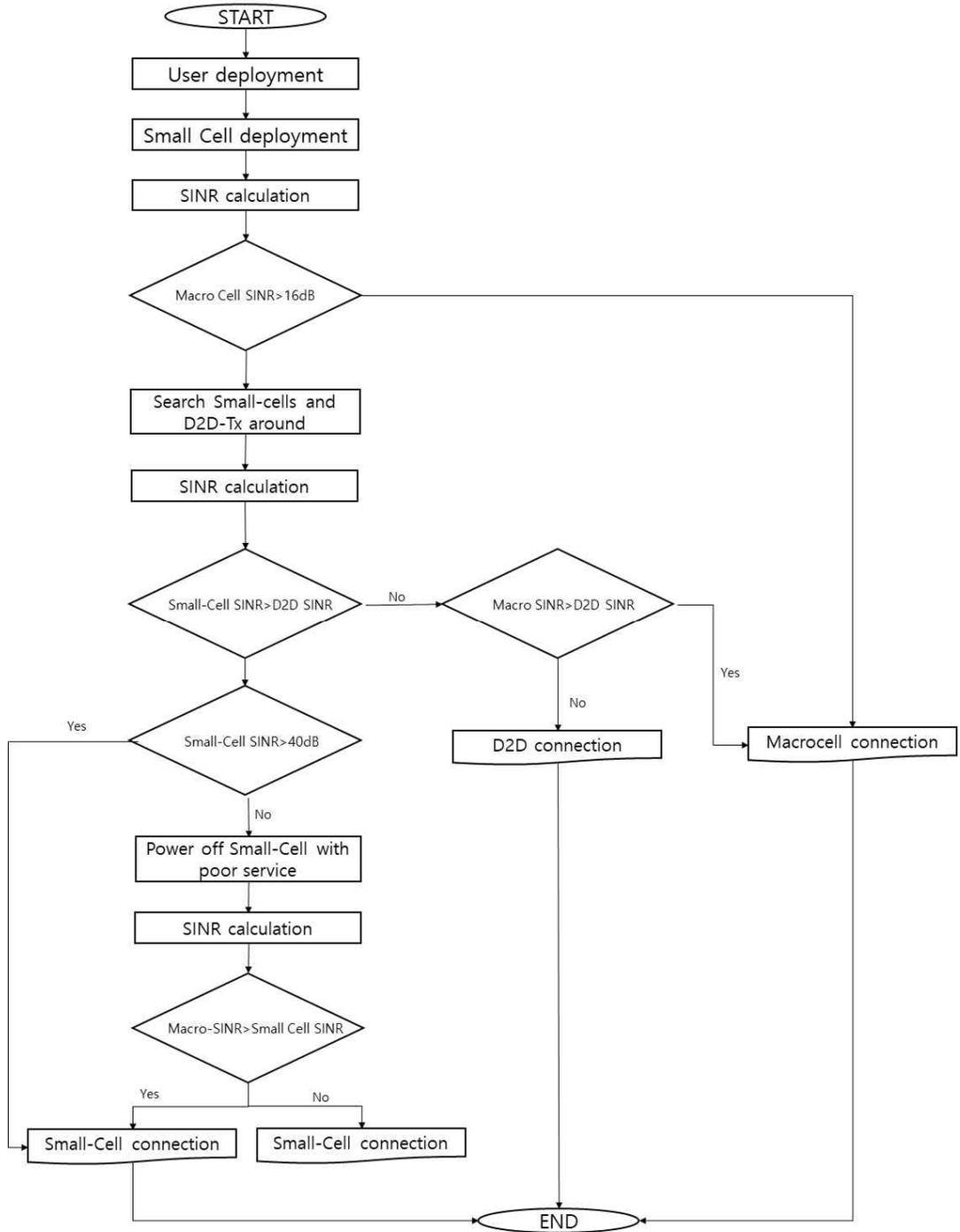
[그림 3-9] D2D 통신의 자원할당 단계

3. 스몰셀-D2D 하이브리드 알고리즘

셀룰러 시스템에서 스몰셀의 적용과 D2D만의 적용은 각각 한계가 있을 수 있다. 스몰셀을 다수 배치한다 하여도 필연적으로 음영지역이나 서비스가 낮은 지역이 발생하기 마련이다. 스몰셀 시스템에 D2D 시스템을 도입할 경우 커버리지 확장과 주파수 이용 효율이 증대 될 것으로 예상 된다.

그림 3-10는 스몰셀 시스템에 D2D기술을 적용한 경우이며 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 유저 디바이스 및 스몰셀 기지국을 배치.
- 2) SINR계산 후 매크로셀 SINR이 목표값을 초과하는지 확인.
- 3) SINR이 목표값을 초과하면 매크로셀로 연결하고 목표값을 초과하지 않으면 주위 스몰셀과 D2D-Tx를 찾은 후 SINR을 측정한다.
- 4) 스몰셀과 D2D의 SINR을 비교 후 스몰셀이 클 경우 스몰셀의 목표값 초과 시 스몰셀로 연결 만약 크지 않으면 사용하지 않는 주위 스몰셀의 전원을 조절하여 간섭제어 후 SINR을 측정한다.
- 5) 측정된 SINR이 매크로셀보다 큰 경우 스몰셀 연결, 작은 경우 매크로 연결을 수행한다.
- 6) 3번 단계에서 D2D-Tx의 SINR이 클 경우 매크로연결의 SINR과 비교하여 D2D연결과 매크로 연결을 결정한다.

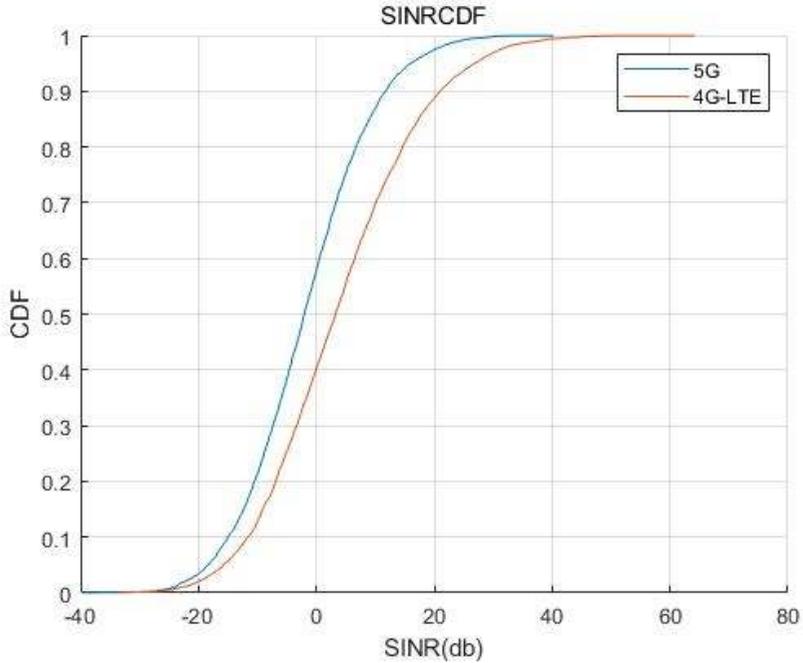


[그림 3-10] 스몰셀-단말간직접통신 하이브리드 알고리즘

제4절 시뮬레이션 결과

1. 이동통신 성능 비교

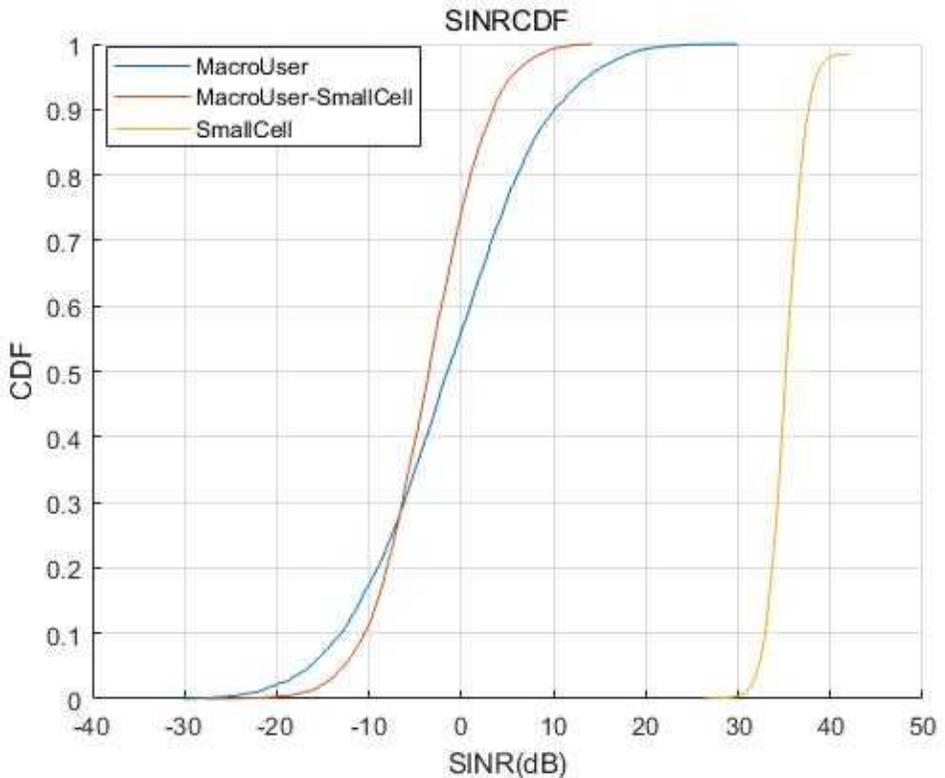
가. 5G 통신과 4G 통신의 비교



[그림 3-11] 5G통신과 4G통신의 SINR CDF

그림 3-11는 5G(3.2GHz) 및 4G-LTE 시스템에 대한 SINR의 CDF를 보여주는 그래프이다. 통신 서비스가 제공이 가능한 가장 낮은 값(-10dB)를 기준으로 5G Outage는 20%, 4G-LTE Outage는 10%로 5G Outage는 4G-LTE 대비 2배가 더 높으며 높은 주파수 이용에 따른 결과로 보여진다.

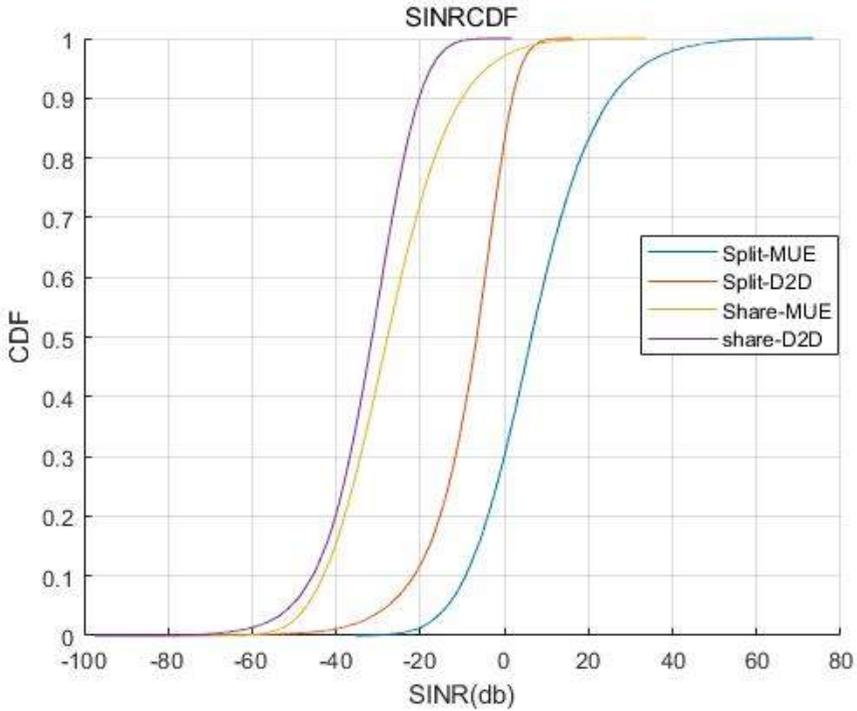
나. 매크로셀과 스몰셀의 SINR성능비교



[그림 3-12] 매크로통신 SINR과 스몰셀기술 적용시의 SINR

그림 3-12은 매크로통신만을 하는 경우와 매크로통신에 스몰셀 기술이 적용 되었을 경우의 SINR-CDF 그래프이다. 매크로 통신만을 수행할 경우 스몰셀이 없기 때문에 SINR의 성능이 스몰셀이 적용된 매크로 통신보다 우세하며 스몰셀이 적용된 경우 스몰셀에 연결된 유저의 성능이 매우 뛰어남을 알 수가 있다.

다. D2D 네트워크의 SINR 성능 비교



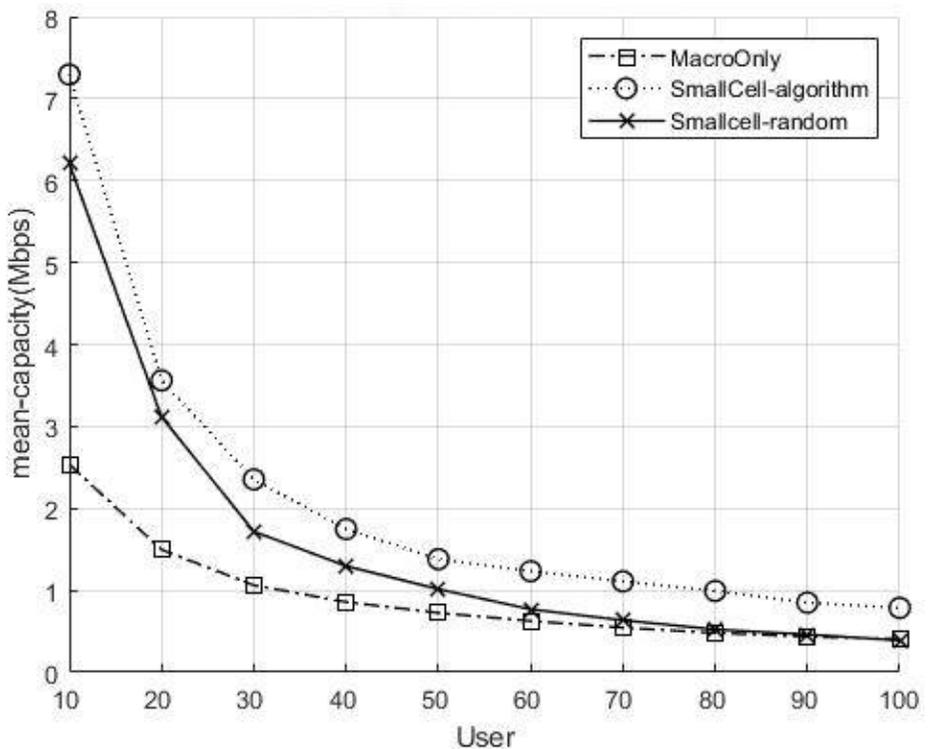
[그림 3-13] 셀룰러 시스템에서 D2D 통신과 매크로통신 SINR

그림 3-13는 5G 통신에서 D2D 기술을 적용하였을 경우 주파수 공유방식과 비공유 방식에 따른 매크로통신과 D2D 통신 각각의 SINR의 CDF를 나타낸 그래프이다. 매크로통신 SINR의 경우 주파수 분리 방식을 사용할 경우 간섭완화 때문에 SINR이 증가하게 되며 D2D 통신 또한 주파수 분리 방식에서 SINR 값의 우위를 가지게 된다. 주파수 공유방식의 경우 각 방식에 비하여 간섭원들의 존재에 의하여 전체적인 SINR이 낮게 나오게 된다.

2. 스몰셀 통신 시뮬레이션 결과

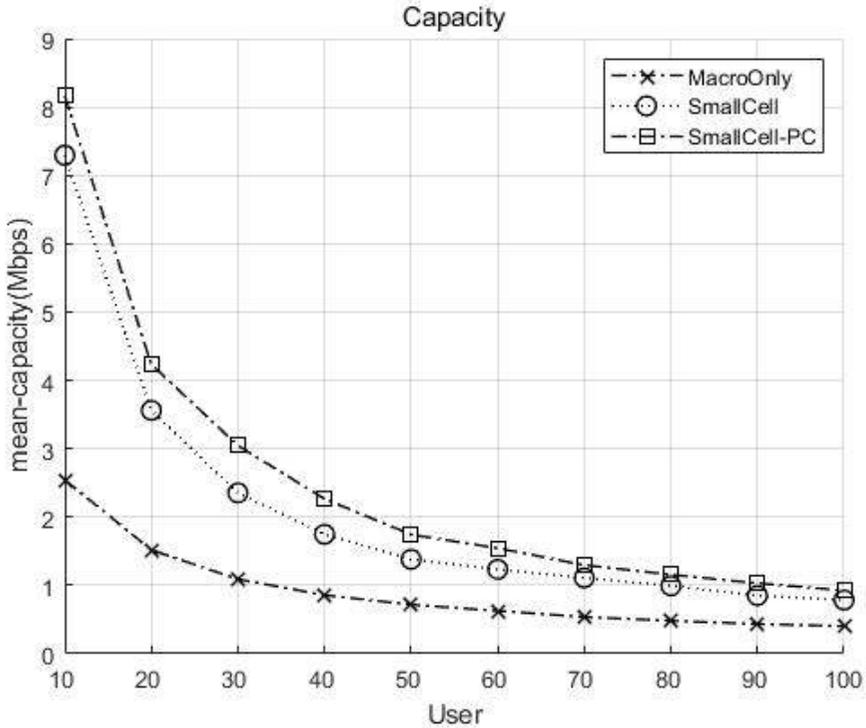
가. 스몰셀 통신 성능 비교

본 절에서는 시스템 모델에서 제시된 알고리즘에 대하여 전체 유저 수의 증가에 따른 mean capacity를 비교한다. 표 3-1의 파라미터에 따라 시스템 세팅 및 성능분석을 수행하며 유저수의 변화에 따라 각 시스템 부하가 다르기 때문에 User를 10명에서 100명까지 변화시키며 시뮬레이션을 진행한다.



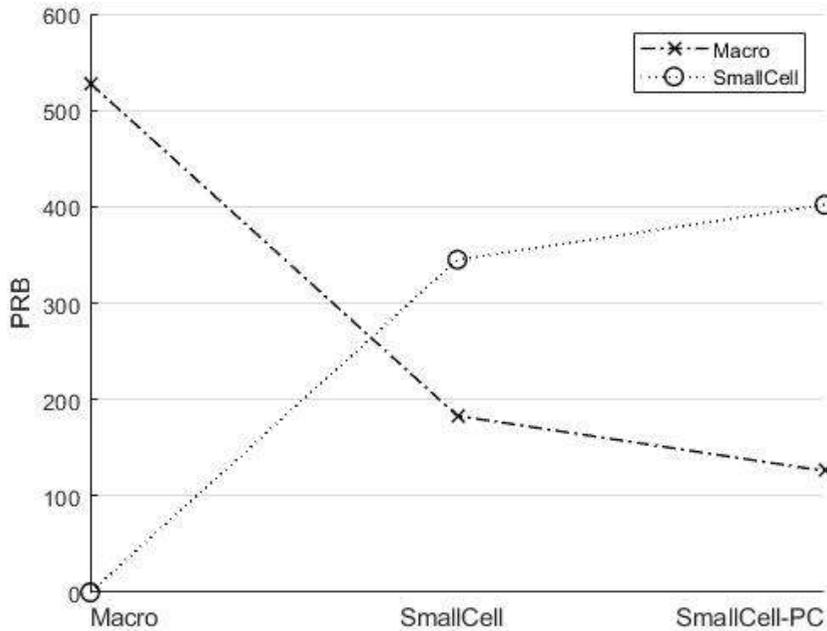
[그림 3-14] 스몰셀 통신 방법 비교

그림 3-14은 셀룰러 통신에서 스몰셀 기술 랜덤하게 서비스 하는 방법과 제안한 스몰셀 알고리즘에 대한 비교이다. 스몰셀을 랜덤하게 배포하여 서비스 하였을 경우 기존 매크로 통신 시스템보다 더 나은 성능을 보이는 것을 관찰 할 수 있으며 제안한 알고리즘에 의하여 전체 시스템 성능이 향상됨을 관찰 할 수 있다.



[그림 3-15] 스몰셀 통신 평균 시스템 총량

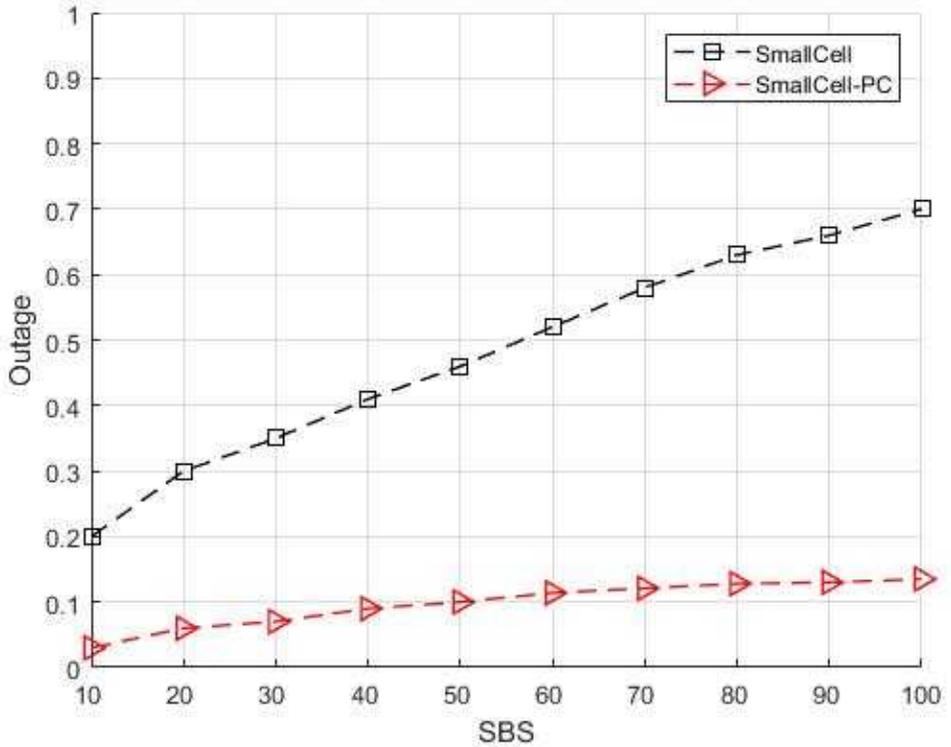
스몰셀 기술의 적용 없이 매크로 기지국에만 연결하여 서비스를 하였을 경우 셀의 경계 영역에 닿는 신호의 세기가 큰 경로손실을 겪고 주변 셀의 영향을 더 받기 때문에 전체 성능이 저하됨을 그림 3-15와 같이 시뮬레이션 결과로 볼 수가 있다. 이러한 매크로 시스템에 스몰셀 기술을 적용할 경우 1.92배에서 2.87배의 성능 향상이 있으며 평균 스몰셀 기술이 적용되면서 셀 경계구역이나 기타 통신 성능이 낮은 곳에 대한 대처가 되었음을 확인할 수 있다. 스몰셀 간섭제어 방식을 적용하였을 경우 스몰셀만을 적용하였을 때와 비교하여 1.12배에서 1.3배의 성능 향상을 보였다. 이는 활성 스몰셀 기지국의 숫자를 유동적으로 조절하여 간섭조절이 된 결과인 것으로 분석된다.



[그림 3-16] 스몰셀 알고리즘 적용에 대한 PRB 사용의 수

그림 3-16은 OFDMA 시스템에서의 Physical Resource Block의 사용수를 나타낸 그래프이다. 스몰셀 알고리즘 적용시 PRB사용수가 늘어나고 매크로셀 PRB는 하락하였으며 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘 적용 시 스몰셀의 성능이 올라가면서 PRB처리수가 증가함을 볼 수가 있다.

나. 스몰셀 증가에 따른 매크로 통신 Outage

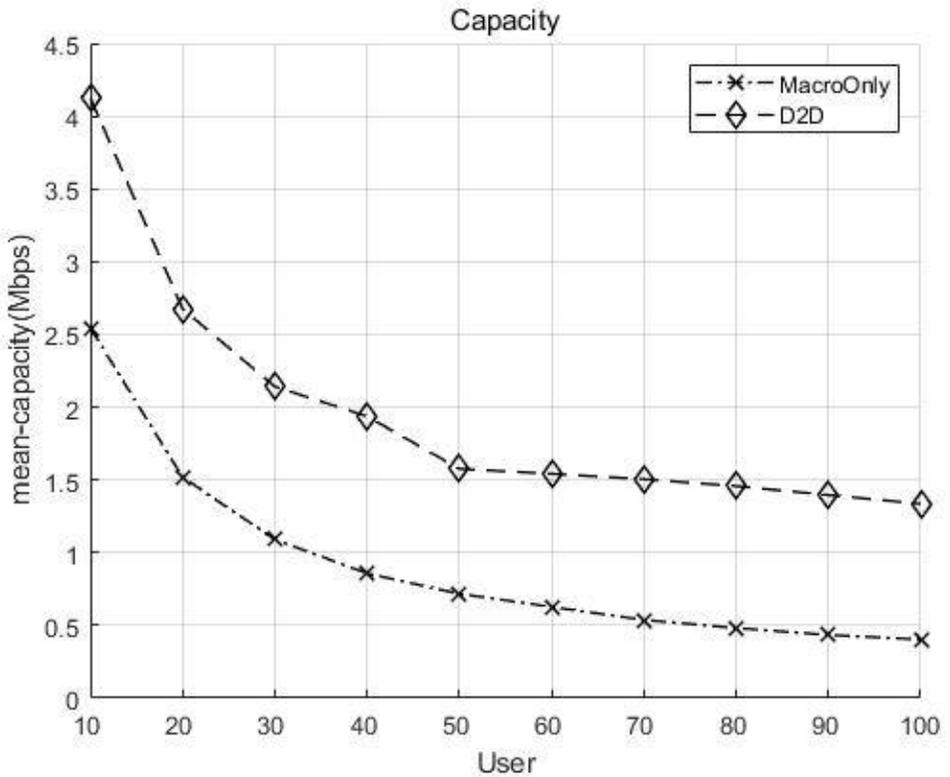


[그림 3-17] 스몰셀 증가에 따른 매크로통신 Outage

그림 3-17은 스몰셀 시스템에서 스몰셀기지국 증가에 따른 Outage 확률을 나타낸 그래프이다. 기존의 스몰셀 기술 적용시 스몰셀 기지국 증가에 따른 간섭량 증가로 인하여 MUE Outage가 증가하게 된다. 반면에 제안한 스몰셀 알고리즘을 적용할 경우 100개의 스몰셀 기지국을 배치하였을 경우에 13.5%의 MUE 유저 Outage가 있으며 70%인 기존 스몰셀 기술에 비하여 높은 성능 향상이 있음을 알 수가 있다.

3. D2D 통신 시뮬레이션 결과

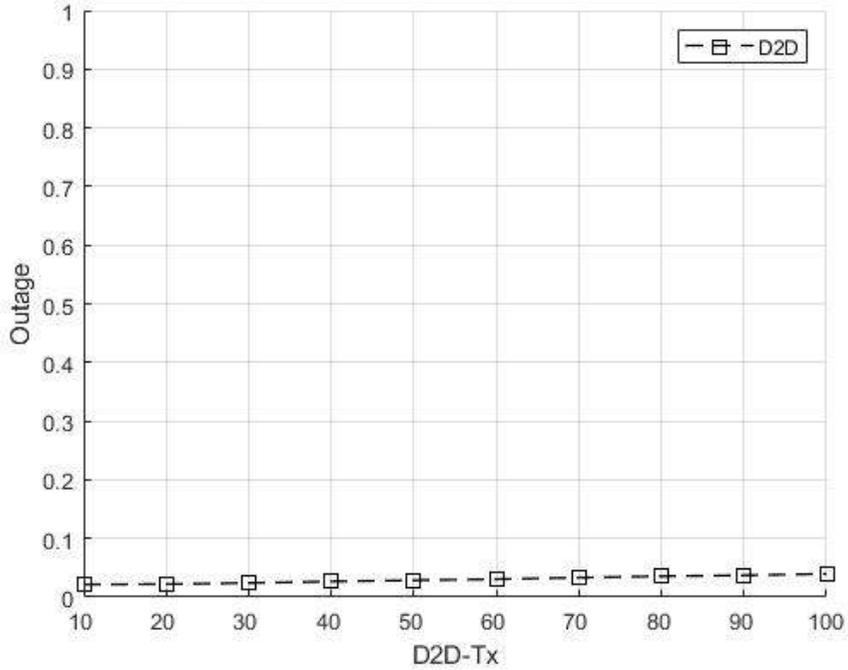
가. D2D 통신 성능비교



[그림 3-18] 단말간직접통신 평균 시스템 총량

그림 3-18은 매크로 시스템에 D2D 기술을 적용할 경우 시스템 성능 향상을 나타낸 그래프로 시스템 성능이 1.6배에서 3.3배 상승하였으며 사용자수가 늘어남에 따라 성능차이가 커짐을 알 수가 있다. 이것은 셀 경계 영역의 유저들에게 D2D 전송 단말이 커버리지 확장과 주파수 재이용의 이점을 제공하고 있어 전체적인 시스템 성능향상이 됨을 알 수가 있다.

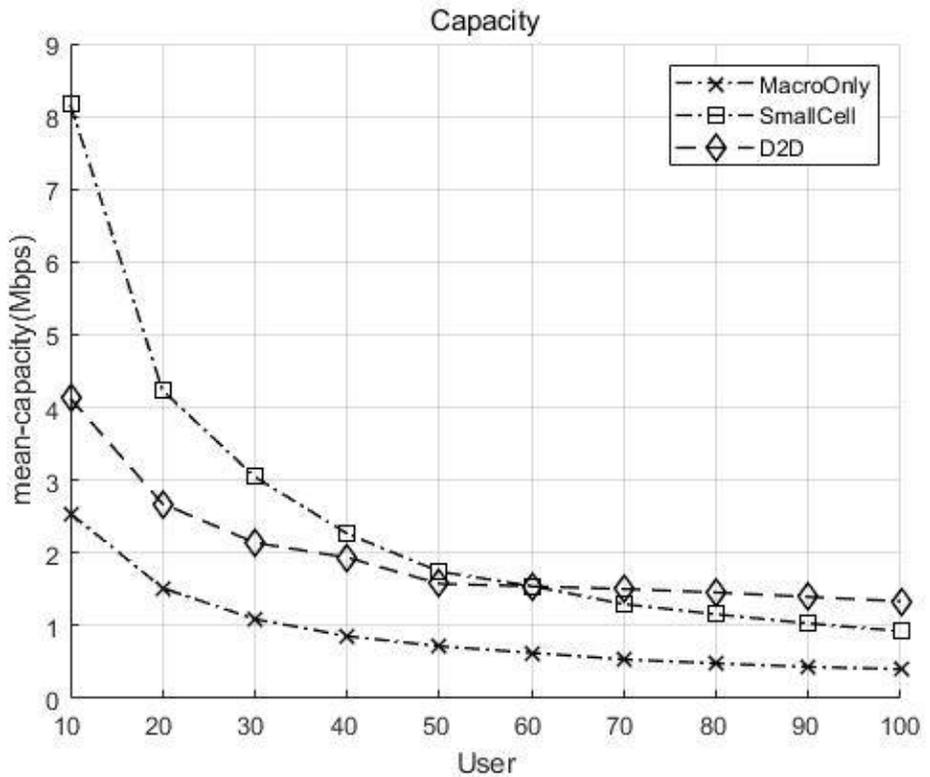
나. D2D 증가에 따른 매크로통신 Outage



[그림 3-19] 송신 D2D 유저수 증가에 따른 매크로통신 Outage

그림 3-19는 셀룰러 시스템에서 D2D 유저 증가에 따른 Outage를 나타낸 그래프이다. 셀룰러 네트워크 내에서 D2D 송신 유저가 증가함에 따라 Outage가 증가하나 셀룰러 통신에는 큰 영향을 미치지 못함을 확인 할 수 있다.

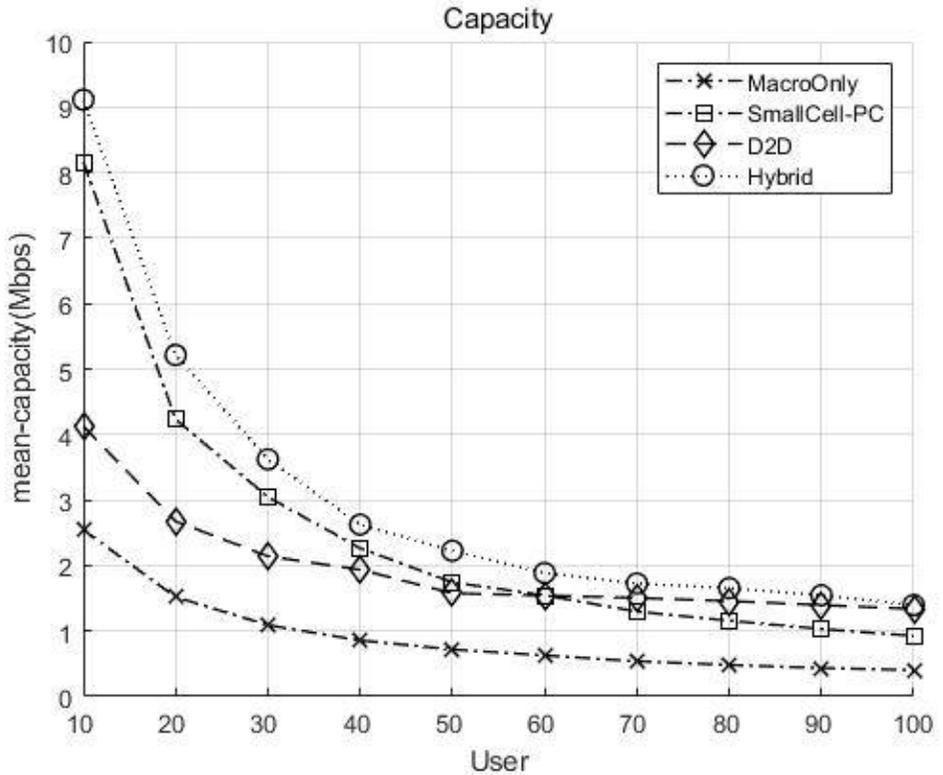
4. 스몰셀, D2D 통신 성능 비교



[그림 3-20] 스몰셀, D2D 기술 적용 시스템 총량 비교

그림 3-20은 셀룰러 네트워크에서 스몰셀의 적용과 D2D 기술적용의 성능을 비교한 그래프이다. 비교 사항으로 60유저 이전까지는 스몰셀의 성능이 우세하나 그 이후로는 D2D 통신의 성능이 더 높게 나온다. 이는 활성화된 스몰셀의 개수가 늘어남에 따른 간섭량의 증가로 분석된다.

5. 스몰셀-D2D 하이브리드 알고리즘 시뮬레이션 결과



[그림 3-21] 스몰셀-단말간직접통신 하이브리드 알고리즘 평균 시스템 총량

그림 3-21은 스몰셀과 D2D 기술을 하이브리드 형식의 알고리즘을 적용한 것과 스몰셀 간섭제어 및 D2D와의 시스템 성능을 비교한 그래프이다. 전체 성능은 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘과 비교하여 1.1배에서 1.5배의 성능향상 부분이 있으며 50User 이전의 경우 전반적으로 하이브리드 형식이 우세하나 60이상부터는 성능차이가 스몰셀 간섭제어와 많이 차이 나지 않음을 볼 수 있다. 이는 유저 단말의 수가 증가함에 따라 간섭의 증가에 대한 사항임을 알 수가 있다.

제5절 요약

차세대 이동통신 시스템에서의 성능향상을 위하여 이기종네트워크 기술인 스몰셀 네트워크 기술과 D2D 네트워크 기술을 소개하였다. 시스템 구성에 대하여 각 기술의 거리에 따른 Outage를 측정하여 시스템 파라미터에 의거하여 구축하였으며 랜덤 스몰셀 알고리즘과 매크로셀과 스몰셀의 SINR을 비교하여 연결을 수행하는 스몰셀 알고리즘, 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘을 제안하였으며 스몰셀 알고리즘 적용시 기존 매크로 시스템과 비교하여 1.92배에서 2.87배의 성능향상이 있으며 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘을 적용시 활성 스몰셀 기지국의 숫자를 유동적으로 조정하여 간섭량이 완화된 결과 스몰셀 알고리즘 대비 1.12배에서 1.3배의 성능향상 부분을 볼 수 있었다. 스몰셀증가에 따른 매크로 통신 Outage 측정에서는 활성 스몰셀 연결에 대한 조정으로 인하여 간섭량이 줄어들어 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘 적용 시 Outage 부분에 있어 높은 성능 향상 부분을 확인 할 수 있었다. 더 나아가 매크로 시스템에 D2D 통신기법을 적용한 사항을 분석하였으며 1.6배에서 3.3배의 성능향상 부분을 확인 할 수 있었으며 제안하는 스몰셀-D2D 하이브리드 알고리즘 적용시 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘과 비교하여 1.1배에서 1.5배의 성능향상 부분을 확인 할 수 있었으며 50User 이전의 경우 전반적으로 하이브리드 방식이 우세하나 60유저 이상부터는 성능차이가 줄어드는 현상이 있는 사항을 확인 할 수 있었으며 이는 유저의 D2D 통신수가 늘어남에 따른 사항으로 분석 할 수 있다.

제4장 AI 기술 적용 시스템 성능 향상 기법

제1절 시스템 모델

1. 시스템 파라미터

[표 4-1]. 시스템 파라미터

Parameter	Value
Cell radius	1km
eNB Power	20W [114]
Small Cell Power	10W[116]
UE Device	10~100
Small-Cell	100
Distribution Device	Random
Simulation count	500
Machine Learning algorithm	Support Vector Machine Decision Tree Logistic regression
Train Data	40,000
Test Data	10,000
Pathloss	eNB : $15.3+37.6\log D$ SBS : $38.46+20\log D$

표 4-1은 AI 적용에 대한 시스템 모델에 대한 파라미터이다. 셀 반경은 1km 이내이며 이동통신 단말의 수는 10개에서 100개까지 배치하며 스몰셀은 100개를 무작위로 배치하는 구조를 설정한다. 매크로셀 통신과 스몰셀의 통신 결정에 AI 기술인 머신러닝 알고리즘 중 지도학습 분류알고리즘인 서포트벡터머신, 결정트리 및 로지스틱회귀 방법을 적용하여 시뮬레이션을 진행한다.

제2절 스몰셀 머신러닝 알고리즘

Algorithm : Small Cell Machine Learning Algorithm	
1	User Number : N
2	Input Data : SBS _i , MBS _i , User _i , SINR, capacity
3	Data generate, Labeling
4	begin(Data, Label, Data Set)
5	Model = Creating Model
6	Train(Model, Data, Label)
7	Result = Predict
8	Small Cell Connection(Result)
10	end while
11	end

실제의 다변적인 환경에서는 여러 가지 변수로 인하여 고정적인 알고리즘에 대한 적용은 오히려 시스템 성능을 하락시킬 수 있는 요인이 될 수도 있다. 예를 들면 SINR이나 capacity로 매크로셀과 스몰셀 이용에 대한 결정을 할 경우 알고리즘에 의하여 최적의 값이 산출되는 쪽으로 연결을 할 것이나 이렇게 할 경우 몇몇 스몰셀 기지국에 다수의 단말이 연결되어 QoS가 하락하는 문제가 발생 할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 스몰셀 연결 결정에 머신러닝을 적용하여 수동적이 아닌 능동적으로 통신연결을 수행 할 수 있다.

알고리즘5는 머신러닝을 활용한 스몰셀 알고리즘으로서 첫단계로 데이터전처리를 수행해야한다. 스몰셀 통신 시뮬레이션 진행으로 수집된 데이터는 50,000개의 데이터를 사용하였으며 이 데이터를 머신러닝을 위하여 데이터형태로 가공해야한다. 그 다음 데이터를 학습용과 테스트용 데이터로 나누는 작업을 진행하는 instance selection과 partitioning을 진행한다.

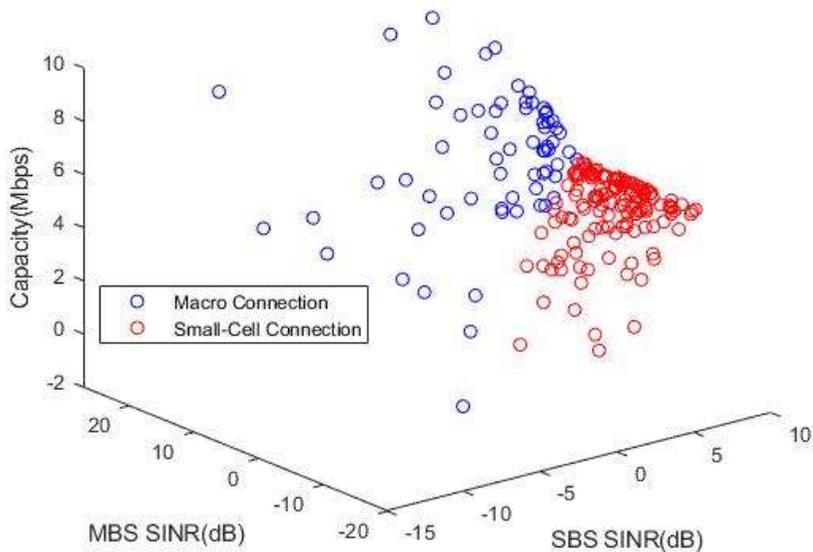
기본 데이터 셋은 매크로기지국의 위치, 스몰셀기지국의 위치, 유저의 위치, SINR, capacity 값으로 이루어져 있다. 라벨링 작업은 SINR과 capacity를 계산하여 유저의 위치에서 높은 처리량을 갖는 기지국을 선택하게 하는 방식으로 이진수로 진행한다. 본 논문에서는 지도학습 방식으로 해당위치에서의 통신방식을 레이블링하여 그 정답에 대한 것을 학습시켜 자율적으로 선

택 할 수 있게 하는 모델을 만들었다.

머신러닝 알고리즘은 스몰셀 연결방법의 결정을 하고자 지도학습의 분류방법으로 SVM, Logistic, Decisiontree 알고리즘을 사용하였다. 분류 알고리즘의 결과 SVM 알고리즘의 결과가 우수하게 나오게 되어 SVM에 대하여 이중학습방법을 적용하여 수행하였으며 이중학습 데이터는 스몰셀 파워컨트롤 값을 추가하여 시뮬레이션을 진행하였다.

1. 서포트 벡터 머신 알고리즘 분류 예측

유저들의 통신 연결 방법을 분류하기 위하여 SVM 알고리즘 적용은 SMO(Sequential Minimal Optimization) 방법을 사용하였으며 알고리즘 구동 시에는 실제적으로는 훈련데이터들에 대하여 완전 분리가 가능한 초평면이 존재하기는 어려우므로 이러한 문제를 완화하기 위하여 Soft Margin SVM을 이용하여 misclassification을 일부 허용하는 decision boundary를 결정 하였다. 그림 4-1은 실제 SVM을 사용한 분류 결과를 나타낸 그래프이다.



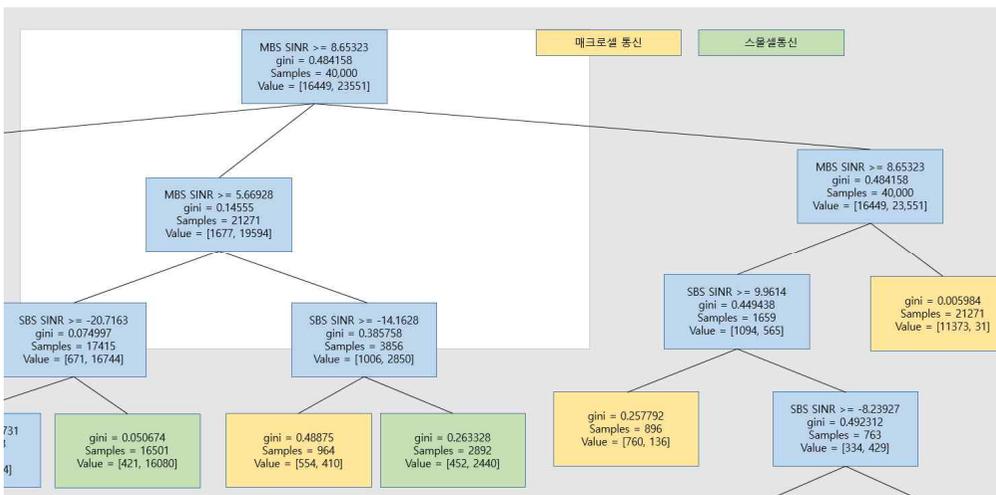
[그림 4-1] 스몰셀 SVM 알고리즘 훈련모델을 이용한 분류결과

2. 로지스틱 회귀 알고리즘 분류 예측

스몰셀 머신러닝 알고리즘 작동 시 로지스틱 알고리즘에 대한 적용은 경사 하강법(Gradient descent method)를 이용하여 비용함수의 값을 최소화 하는 매개변수 값을 적용하였다. 로지스틱 알고리즘 구동시 데이터 준비 단계에서 레이블링을 통하여 스몰셀과 매크로셀에 대한 값을 이진수로 변환하여 이를 True, False값으로 전달한다.

3. 결정 트리 알고리즘 분류 예측

통신 연결 방법에 대한 방법을 추정하기 위한 결정트리 알고리즘 구축은 Train data 와 test data를 각각 40,000개와 10,000개를 준비하여 세팅하였으며 최대 분할 개수에 대하여 조정하였으며 100분할시 92.8%로 가장 높았으며 20분할시 91.8% 50분할시 92.1%, 200분할시 92.6%, 최대 1000분할시 90.1%로 일정부분 상승하다가 정확도 하락을 보였다. 분할기준은 지니 불순도와 엔트로피 불순도가 있으나 두 방법은 결과 값 차이가 크지 않아 지니 불순도를 선택하여 사용하였다. 그림 4-2는 결정트리 훈련 결과 작성된 트리 모양을 도식화 한 것이다. 노란색은 매크로통신을 수행하며 녹색은 스몰셀통신을 수행하는 것을 나타낸다. 결정트리에서 지니값이 0에 근접하여 통신 연결방법이 잘 선택되고 있는 것을 볼 수가 있다.



[그림 4-2] 결정트리 훈련 모델

제3절 스몰셀 머신러닝 알고리즘 성능 분석 방법

머신러닝의 성능측정 방법으로 정확도, Recall, F1-score의 세가지 방법으로 성능분석을 수행한다. 각 성능 분석 방식의 수식은 표 3-1을 참조하여 다음과 같이 정리한다.

TP(True Positive) : 실제 Positive인 값을 Positive라고 예측하는 값

TN(True Negative) : 실제 Negative인 값을 Negative로 예측하는 값

FP(False Positive) : 실제 Negative인 값을 Positive라고 예측하는 값

FN(False Negative) : 실제 Positive인 값을 Negative라고 예측하는 값

정확도는 식(1) 과 같이 정의가 되며 전체 예측 건수에서 정답을 맞춘 건수의 비율이다. 만약 모델의 실제 데이터에 Negative 비율이 높을 경우 정확도의 값이 정확하게 나오지가 않으므로 이때 식(3)의 재현율(Recall)을 사용한다. 재현율은 실제로 정답이 True 인 것들 중에서 True로 예측한 비율이다.[119]

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (4-1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4-2)$$

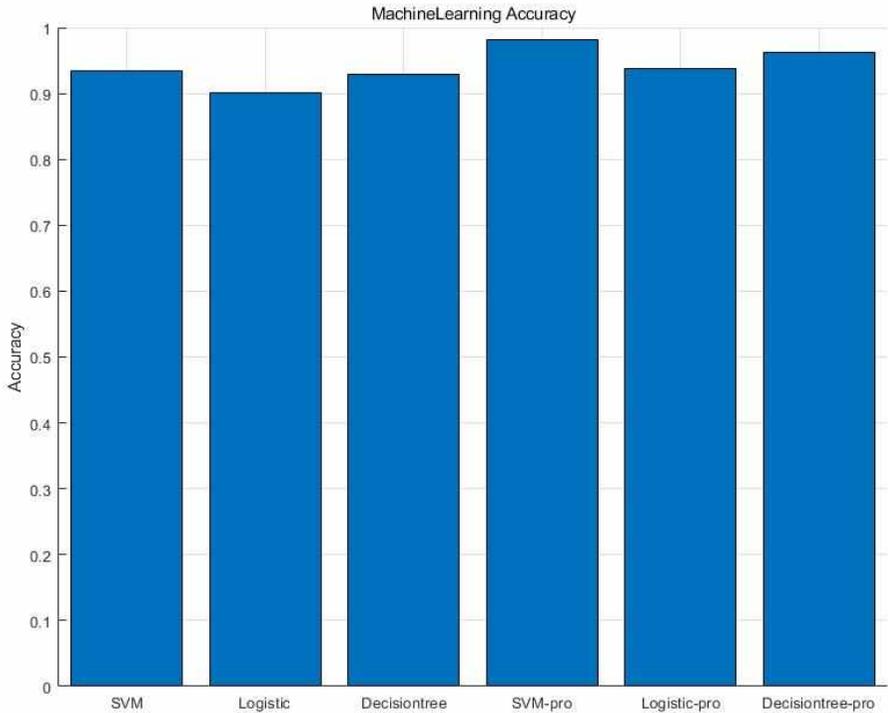
$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4-3)$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times recall}{Precision + recall} \quad (4-4)$$

[표 4-2] Confusion matrix

		Predicted	
		Positive	Negative
Actual	Positive	TP(True positive)	FN(False negative)
	Negative	FP(False positive)	TN(True negative)

1. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 정확도 분석

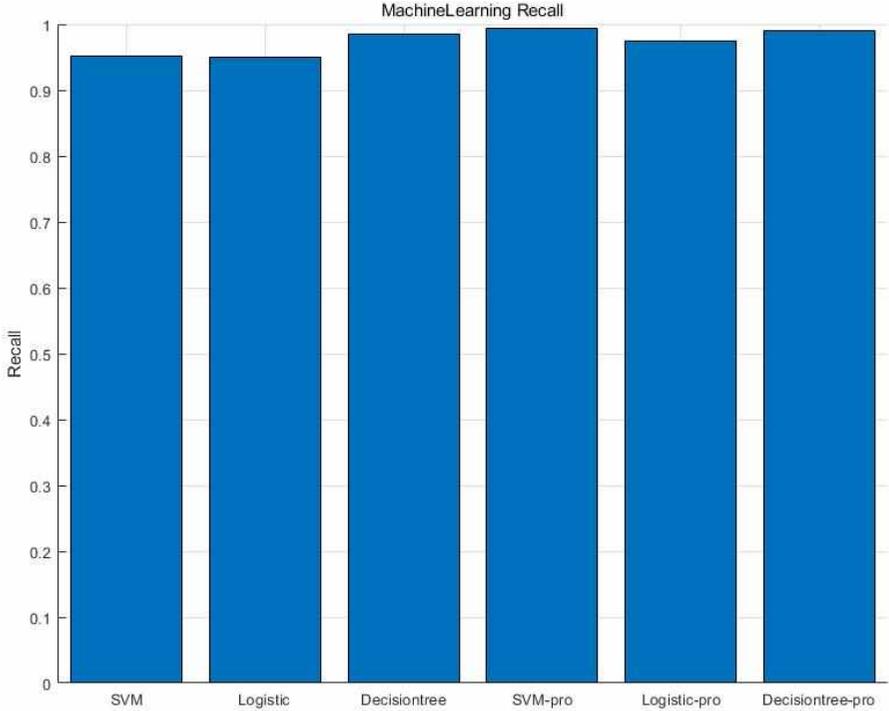


[그림 4-3] 머신러닝 알고리즘 정확도

그림 4-3은 본 논문의 이동통신시스템에서 스몰셀 적용 시스템에 대한 각 머신러닝 알고리즘에 대한 정확도를 그래프로 나타낸 사항으로 데이터에 레이블링된 사항과 훈련결과 생성된 모델의 예측이 일치하는 값의 수와 비교하여 산출된 값이다. 본 논문에서는 매크로셀 통신과 스몰셀 통신을 결정하는 머신러닝 알고리즘에 대하여 모델이 예측한 값과 레이블을 비교하여 데이터를 산출하였으며 제안하는 SVM모델에서 0.9347로 가장 높은 예측 값을 나타내었으며 로지스틱 모델이 0.9003으로 낮으며 결정트리 모델은 0.9282를 나타내었다. 앞서 스몰셀 머신러닝 알고리즘 적용에서 설명한 것과 같이 이중 훈련 방법을 적용하여 정확도를 분석한 결과 SVM 0.9820, 로지스틱 0.9384,

결정트리 0.9632로 각 알고리즘에서 높은 성능 향상이 있었으며 SVM이 가장 높았다.

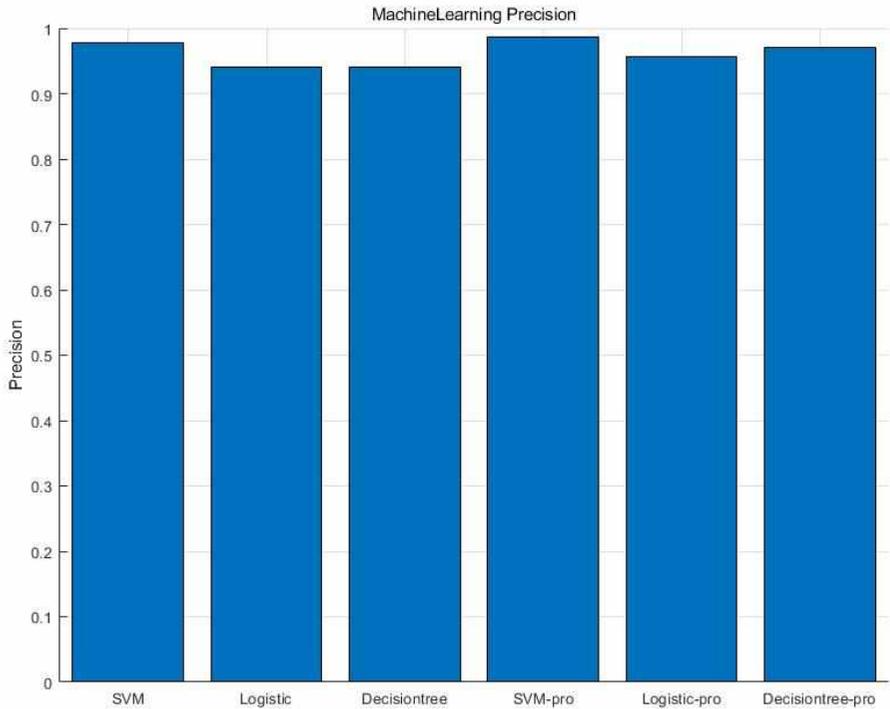
2. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 재현율 분석



[그림 4-4] 머신러닝 재현율

그림 4-4는 스몰셀 머신러닝 알고리즘 적용에 따른 재현율을 나타낸 그래프이다. 재현율 분석사항은 스몰셀 연결에 대하여 예측값과 실제값을 비교한 값을 나타내었으며 로지스틱 알고리즘에서 재현율이 0.9499로 가장 낮았으며 결정트리 알고리즘이 9.845로 가장 높았다. SVM 알고리즘은 9.518을 나타내었다. 이중훈련 결과 그래프에서 보는바와 같이 SVM 0.9940, 로지스틱 0.9747, 결정트리 0.9901로 재현율에서 전체적인 성능 향상 부분이 있었다.

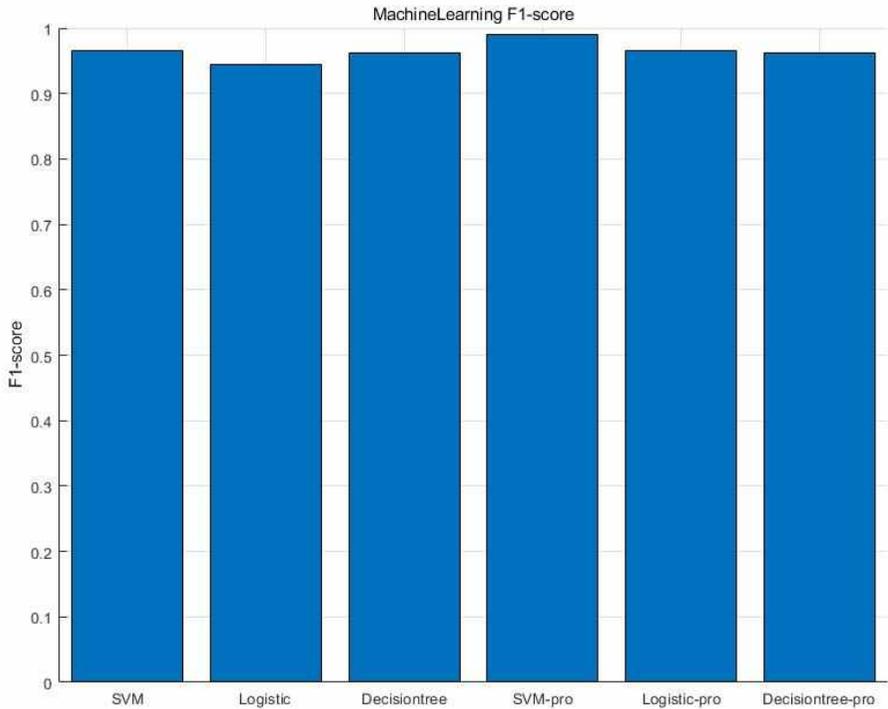
3. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 정밀도 분석



[그림 4-5] 머신러닝 알고리즘 정밀도

그림 4-5은 스몰셀 머신러닝 알고리즘의 Precision 결과를 나타낸다. 서포트벡터머신 알고리즘이 9.786으로 가장 높으며 Logistic알고리즘과 결정트리 알고리즘은 각각 9.404와 9.405로 비슷한 값을 나타낸다. 이중훈련 결과는 서포트벡터머신 알고리즘에서 0.9866, 로지스틱 알고리즘에서 0.9404, 결정 트리 알고리즘에서 0.9709로 서포트벡터머신에서 가장 높은 값과 결정트리 알고리즘이 이중훈련 전에는 비슷한 성능을 나타내었으나 이중훈련에서 더 높은 성능을 나타내었다.

4. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 F1-score 분석



[그림 4-6] 머신러닝 알고리즘 F1-score

그림 4-6은 스몰셀 머신러닝 알고리즘의 F1-score로 성능 평가를 한 사항이다. SVM 알고리즘이 9.650으로 가장 높으며 Logistic알고리즘이 9.450으로 가장 낮으며 Decisiontree 알고리즘은 9.619로 SVM알고리즘과 비슷한 성능을 나타내었다. 이중훈련 적용 결과는 SVM에서 0.9903, 로지스틱 0.9450, 결정 트리 0.9804로 각 성능의 향상 부분을 확인 할 수 있다.

5. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 학습 속도 및 성능 종합 분석

[표 4-3]. 스몰셀 머신러닝 알고리즘 학습속도

머신러닝 알고리즘	학습속도(초)
SVM	45.576
Logistic	23.678
Decisioontree	6.472
SVM(2nd training)	74.982
Logistic(2nd training)	38.930
Decisioontree(2nd training)	11.487

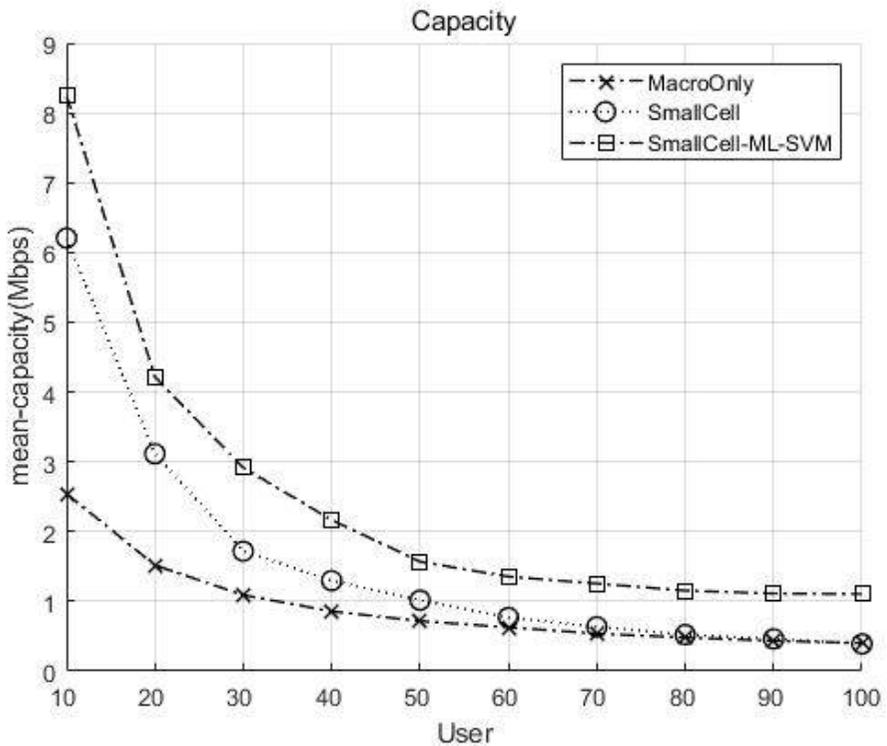
앞서 스몰셀 머신러닝 알고리즘에 대하여 네가지 성능분석 방법(정확도, 재현율, 정밀도, F1-score)에 대하여 기술하였으며 본 절에서는 스몰셀 머신러닝 학습속도와 종합분석을 하고자 한다. 각 성능에 대하여 스몰셀 머신러닝 알고리즘의 성능은 재현율을 제외한 나머지 세 항목에서 SVM알고리즘이 가장 좋은 성능을 보였고 그 다음으로 Decisioontree알고리즘의 성능이 높았으며 Decisioontree는 재현율에서 높은 성능을 나타내었다. 로지스틱 알고리즘의 경우 가장 성능이 낮게 나오는 현상이 있었다. 이중훈련 적용 시 전체적인 성능 향상 부분을 앞의 내용에서 확인 할 수 있으며 정밀도 분석에서 이중훈련 적용 시 결정트리에서 로지스틱 알고리즘과 비교하여 더 높은 성능 향상 부분을 확인하였다. 머신러닝 알고리즘의 구현에 있어서 다변적으로 변하는 환경에서 머신러닝의 학습속도는 매우 중요하게 작용 할 수 있다. 표 5-2는 스몰셀 머신러닝 알고리즘 학습속도를 나타낸 표이다. SVM 알고리즘은

각 성능 분석 방법에서 우위를 차지하나 학습속도에서 다소 느린 현상이 있으며 Decisiontree 알고리즘이 가장 빠른 속도를 나타내는 것과 동시에 재현율에서는 Decisiontree가 SVM 알고리즘 성능을 상회하며 정밀도를 제외한 정확도와 F1-score에서 SVM과 비슷한 성능을 나타내어 학습속도를 고려한 종합적인 성능은 결정트리가 우위를 차지한다. 이중훈련 적용 시 전체적인 학습속도가 늘어나게 됨을 볼 수가 있으며 본 스몰셀 알고리즘의 적용은 각 구성 환경에 따라 결정된 지표에 따라서 구성을 하는 것이 요구가 된다.

제4절 스몰셀 머신러닝 알고리즘 성능 분석

앞서 각각의 스몰셀 알고리즘에 대한 네가지 성능분석 및 학습속도를 고려하여 분석을 진행하였다. 본 절에서는 스몰셀에 각 머신러닝 알고리즘을 적용한 결과를 시뮬레이션을 통하여 제안하는 스몰셀 머신러닝 알고리즘에 의하여 다음 결과들에서 각 알고리즘에 대한 결과를 평가하고자 한다.

1. SVM 알고리즘 시뮬레이션 결과

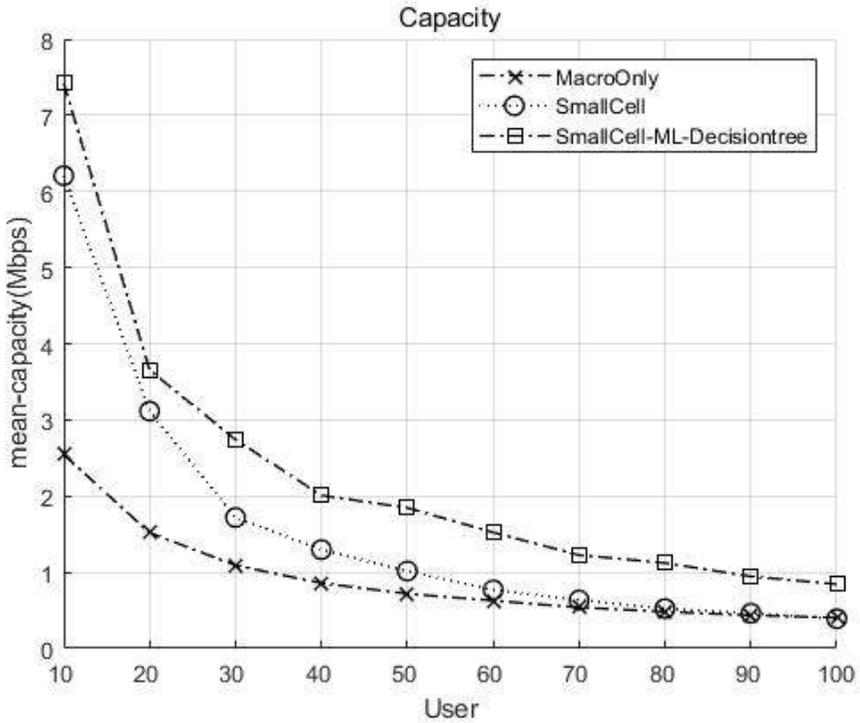


[그림 4-7] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(SVM)

그림 4-7은 스몰셀 머신러닝 알고리즘 중 서포트벡터머신(SVM)을 적용하였을 경우의 capacity를 나타낸 그래프로 일반적인 SmallCell 시스템의

capacity와 비교를 진행하였으며 1.33배에서 2.84배의 성능향상 부분을 확인할 수 있다.

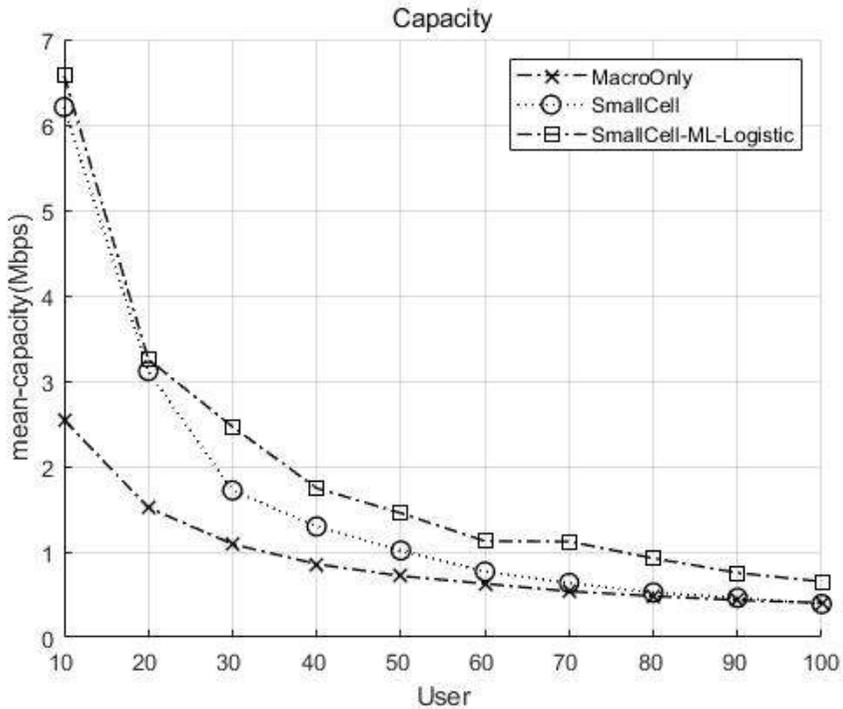
2. 결정트리 알고리즘 시뮬레이션 결과



[그림 4-8] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(결정트리)

그림 4-8은 스몰셀에 결정트리알고리즘을 적용하였을 경우의 capacity이며 앞의 알고리즘들과 동일하게 일반적인 스몰셀 시스템과 비교를 진행하였으며 1.20배에서 2.17배의 성능향상 부분을 볼 수 있다.

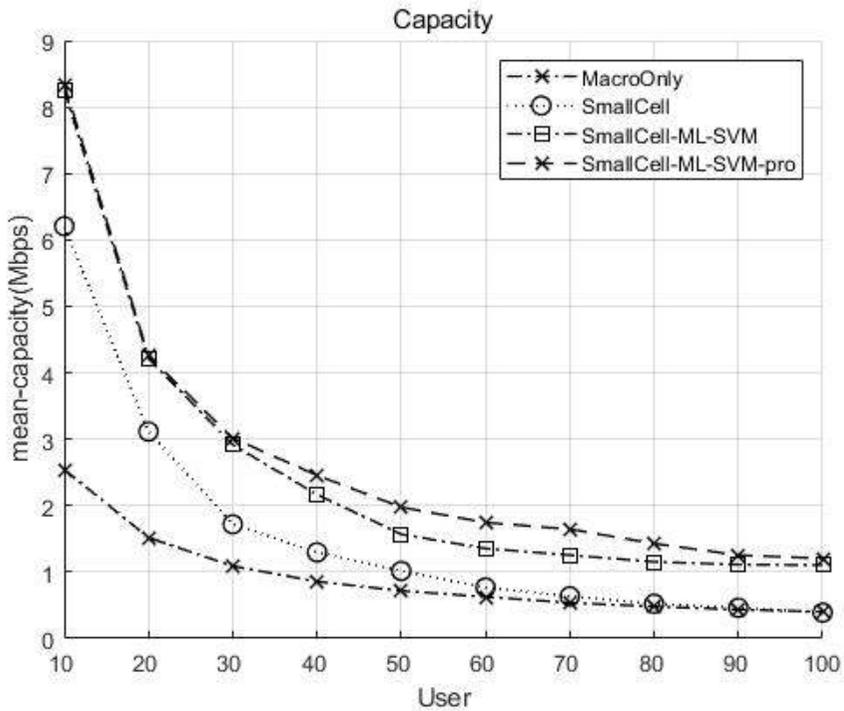
3. 로지스틱회귀 알고리즘 시뮬레이션 결과



[그림 4-9] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(로지스틱)

그림 4-9는 스몰셀 머신러닝 알고리즘 중 로지스틱 회귀를 적용한 결과로 앞의 알고리즘들과 동일하게 일반적인 스몰셀 시스템과 비교를 하였으며 일반적인 스몰셀 시스템 대비 1.06배에서 1.68배의 성능향상을 볼 수 있으며 10~20유저의 경우 성능이 비슷하다가 30유저부터 차이가 나게 됨을 볼 수 있다.

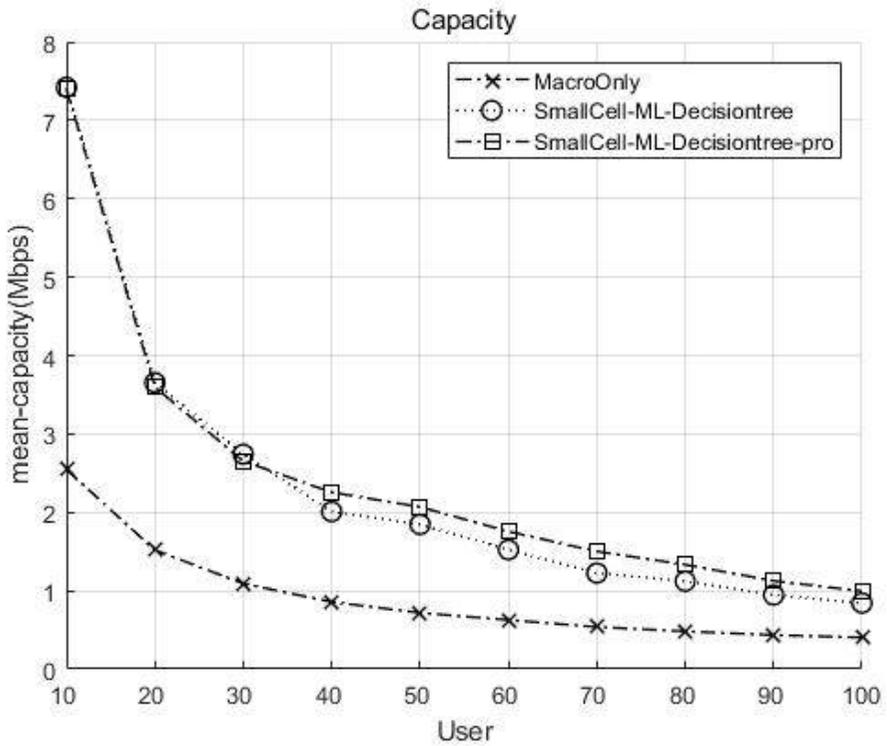
4. SVM 알고리즘 이중훈련 시뮬레이션 결과



[그림 4-10] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(SVM 이중훈련)

그림 4-10은 스몰셀 머신러닝 알고리즘 중 앞에서 다룬 SVM과 제안하는 SVM 알고리즘 그리고 일반적인 스몰셀 시스템의 capacity를 비교한 그래프이다. 제안하는 SVM을 이용할 경우 1.34배에서 3.10배의 성능향상이 있으며 SVM 알고리즘 대비 1.01배에서 1.31배의 성능향상이 있음을 관찰 할 수 있다.

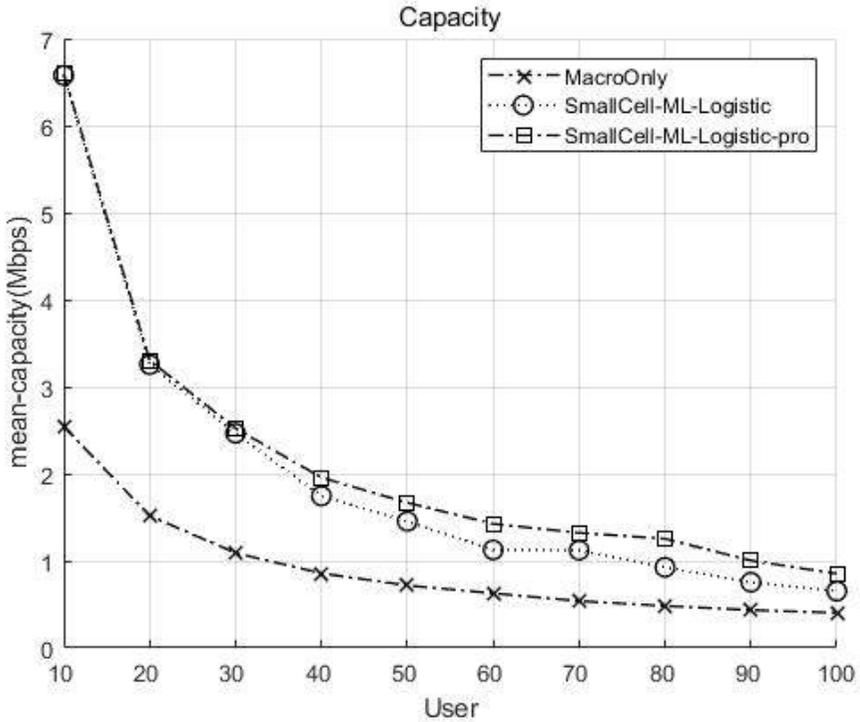
5. 결정트리 알고리즘 이중훈련 시뮬레이션 결과



[그림 4-11] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(결정트리 이중훈련)

그림 4-11는 이중훈련 방법으로 진행한 결정트리 알고리즘이 적용된 결과이다. 앞서 결과와 같이 유저수가 적을 경우 차이가 없으나 유저수가 늘어남에 따라 효율적인 간섭제어가 수행되어 전체적인 성능향상을 보이고 있으며 결정트리 알고리즘 대비 0.97배에서 1.23배의 성능 향상을 보인다.

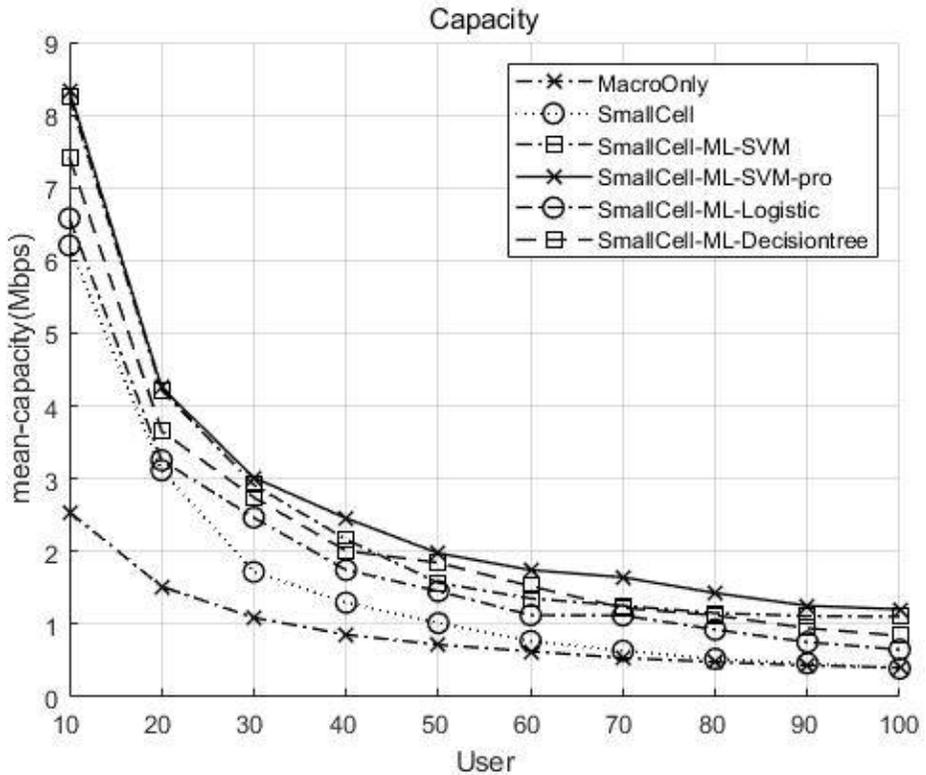
6. 로지스틱 회귀 알고리즘 이중훈련 시뮬레이션 결과



[그림 4-12] 스몰셀 머신러닝 알고리즘 평균 시스템 총량(로지스틱회귀-이중훈련)

그림 4-12은 로지스틱회귀의 이중훈련 결과이다. 앞의 결과와 마찬가지로 유저수가 적을 경우 성능에는 큰 차이는 없으나 유저수가 늘어남에 따라 파워 컨트롤이 수행되어 그래프와 같이 성능향상 부분을 확인 할 수 있으며 1.02배에서 1.36배의 성능 향상 부분을 확인 할 수 있다.

제5절 요약



[그림 4-13] 스몰셀 머신러닝 전체 알고리즘 평균 시스템 총량

그림 4-13는 스몰셀 시스템의 머신러닝 알고리즘 전체를 나타낸 그림이다. 일반적인 스몰셀 시스템 성능에 비하여 전체 성능이 머신러닝 알고리즘이 적용된 경우 우수한 결과를 얻었으며 제안하는 파워컨트롤 기반 이중훈련 방법을 적용한 결과 각 성능에 대하여 SVM 알고리즘 1.01~1.31배, 결정트리 0.97~1.23배, 로지스틱회귀에서 1.02~1.36배의 성능향상이 있었으며 전체 성능은 이중훈련 SVM알고리즘이 가장 성능이 높게 나오는 결과를 보인다.

제5장 결론

본 논문에서는 먼저 최근에 상용화되어 서비스 중인 5세대 이동통신 시스템에 대하여 소개하였다. 최근 무선통신의 서비스가 스트리밍서비스 및 원격의료나 원격 드론 조종 등의 저지연 지향서비스가 도래함에 따라 매년 트래픽은 기하급수적으로 상승하고 있다. 이러한 산업의 변화에 대응하기 위하여 등장한 5세대 이동통신 시스템은 주요한 목적으로 많은 디바이스의 수용, 초저지연 및 초고속 속도를 지향하며 이를 위해서는 밀리미터파의 이용이 필수적이다. 하지만 고주파수를 사용하는 밀리미터파는 경로손실 발생과 공기중의 수분이나 창문에 의해서도 신호감쇄가 크게 발생하여 서비스를 원활하게 하지 못하는 경우가 발생하게 되며 따라서 매크로셀에 스몰셀과 D2D통신을 적용하고 더 나은 성능을 위하여 SI기술을 적용하는 연구를 하게 되었다.

관련된 연구에서는 4G LTE에서 4G LTE-A 그리고 4G LTE-A pro를 거쳐 5G(IMT-2020)로 발전하는 기술의 변화를 알아보았고 5G 통신에 대한 전반적인 동향에 대하여 알아보았다. 또한 셀룰러 네트워크 성능향상을 위한 스몰셀과 D2D 기술적용에 대하여 소개하였으며 이 기술들은 5G시스템에서 중요한 기술들이다.

스몰셀과 D2D통신 시스템은 셀룰러 시스템의 커버리지 확장 및 시스템 성능향상에 큰 영향을 준다. 특히 스몰셀을 많이 배치하는 UDN환경에서는 스몰셀의 간섭관리가 가장 중요한 문제이다. 본 연구에서는 스몰셀과 D2D 기술을 셀룰러 시스템에 적용 시뮬레이션을 통하여 시스템 성능분석을 수행하였으며 매크로통신만을 하는 방식 대비 성능향상을 관찰 할 수 있었다.

제안하는 알고리즘 적용에 대한 시스템 성능개선에 대하여 분석한 결과 매크로 시스템에 스몰셀과 D2D통신을 적용할 경우 성능향상 부분을 확인 할 수 있었으며 제안하는 스몰셀 파워컨트롤 알고리즘 적용 시 랜덤배치 스몰셀과 비교하여 1.12~1.3배의 성능향상 부분을 나타내었으며 스몰셀과 D2D통신기술을 하이브리드형식으로 네트워크를 구성하여 시뮬레이션을 수행한 결과 시스

템 성능이 1.1~1.5배로 성능이 향상되었음을 알 수가 있었다. 더 나아가 스몰셀 시스템에 AI기술을 적용하여 각 알고리즘에 대하여 정확도, 재현율, 정밀도, F1-score의 머신러닝 성능평가결과와 훈련시간을 분석하였으며 SVM 알고리즘이 재현율을 제외한 세가지 영역에서 성능우위를 보였으나 훈련시간에서 로지스틱알고리즘이 23.7초 결정트리알고리즘은 6.5초가 걸리는데 비하여 45.6초의 다소 시간이 오래 소요되어 다변적인 환경에서의 실시간 훈련 모델링 적용 시에는 페널티가 존재할 것이며 종합적으로 보았을 때 결정트리 알고리즘이 정밀도를 제외한 나머지 영역에서 SVM알고리즘과 비슷한 성능을 나타내는 것과 매우 짧은 훈련시간으로 종합적인 알고리즘 작동 성능에서 우위를 나타내었다. 각 알고리즘에 대하여 스몰셀 네트워크에 적용 시 기존 스몰셀 기술과 비교하여 SVM알고리즘 적용시 1.33~2.84배, 결정트리 알고리즘 적용 시 1.20~2.17배, 로지스틱회귀 알고리즘 적용시 1.06~1.68배의 성능향상 부분을 확인 할 수 있었으며 스몰셀 머신러닝 알고리즘 시스템의 성능향상을 위하여 제안한 파워컨트롤을 고려한 이중훈련 방법 적용 시 SVM 알고리즘의 경우 1.01~1.31배, 결정트리알고리즘 0.97~1.23배, 로지스틱회귀알고리즘에서 1.02~1.36배의 증가 값을 나타내었다.

이기종 네트워크에서 발생하는 간섭은 시스템 성능을 감소시키며 5G 이후 차세대 네트워크에서는 고주파수의 적극적인 적용이 예상되므로 높은 경로손실 문제를 해결하기 위하여 더욱더 많은 스몰셀을 배치 할 것이고 이는 간섭으로 이어져 이러한 문제의 해결에 대한 연구가 앞으로도 지속 될 것이다. 본 논문은 제안하는 통신알고리즘은 스몰셀과 더불어 D2D 통신을 구성한 하이브리드 방식과 AI기반 머신러닝 알고리즘은 차세대 이동통신 구축에 있어 많은 공헌을 할 수 있을 것이며 지속적으로 연구되어야 할 분야임을 알 수 있다.

제6장 참고문헌

- [1] Nokia, “5G Use Cases and requirements” , Nokia White Paper 2016, p5
- [2] 한기철, 이문식, “근접 모바일 통신 기술 동향” , Electronics and Telecommunications Trends, pp.118-126, 2013
- [3] 방승찬, 홍승은, 송종태, 김일규, 박애순, 이문식, 장성철, “5G 이동통신 기술 방향” , 한국통신학회지, Vol.30, No. 12, pp.25-36, 2013
- [4] 홍승은, 김일규, 방승찬, “밀리미터파 활용 5세대 이동통신 기술 개발 동향” , Electronics and Telecommunications Trends, pp.107-117, 2013
- [5] 김동기, “5G이동통신 기술 전망 및 동향” , PM Issue Report, Vol.1, No. 2. 2013
- [6] 박희재, 위성률, 박래혁, “Beyond 5G와 6G를 위한 기계학습과 인공지능의 응용 분야” , 한국통신학회 학술대회논문집, pp.994-995, 2021.
- [7] 김창주, “5G New Radio 기술 및 주파수 정책” , 전자파기술, pp.6-17, 2021.
- [8] 신수용, “5G and Beyond를 위한 비직교 다중 접속 기술” ,
- [9] Yun-Jin Lee, Seong-Hee Lee, Seong-Hyung Lee, Seung-Hoon Hwang, “Comparison of Domestic and Foreign Trends on 5G System” , Korea Institute of communication Sciences, pp.272, November 2014.
- [10] 방승찬, 홍승은, 송종태, 김일규, 박애순, 이문식, 장성철, “5G 이동통신 기술 방향” , The Journal of The Korean institute of Communication Science, pp.12, November 2013
- [11] Yaping Lv, Xiangdong Jia, Chunyu Niu, Nini Wan, “D2D Network Coverage Analysis Based on Cluster User Equipment Classification and Spectrum Sharing Allocation” , IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), pp.529-534, 2020
- [12] Kuna Venkateswararao, Pravati Swain, “Traffic aware sleeping strategies for Small-Cell Base Station in the Ultra dense 5G Small Cell Networks” , IEEE REGION 10 CONFERENCE (TENCON), pp.102-107, 2020
- [13] Adnan Shahid, Vasilis Maglogiannis, Irfan Ahmed, Kwang Soon Kim, Eli De Poorter, Ingrid Moerman, “Energy-Efficient Resource Allocation for Ultra-Dense Licensed and Unlicensed Dual-Access Small Cell Networks” , IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.20, No. 3, pp.983-1000, 2019
- [14] L.Dai et al, “Non-orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends” , IEEE Community Mag, vol 53, no. 9, pp. 74-81, September 2015

- [15] 김석규, 김재현, “5G 네트워크에서 D2D 시스템을 위한 액세스 제어”, 한국 컴퓨터정보학회논문지, Vol.26, pp.103-110, 2021.
- [16] Krishna Kumar Bhargava, Suresh Gawande, “Analysis of D2D communication in 5G network”, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 3, No. 6, pp.626-630, 2016
- [17] Bing Jiang, Shao-Bo Wu, Jiu-Ling Wang, “Research on Power Control of D2D Communication System in 5G Network”, Journal of Computers, Vol. 29, No. 6, pp.111-120, 2018
- [18] Junyi Feng, “Device-to-Device Communications in LTE-AdvancedNetwork”, HAL archives-ouvertes, 2013
- [19] 오성민, 이창희, 윤미영, 신재승, 박애순, “다중 셀 환경에서 단말 간 직접 통신을 위한 자원 할당 방식”, The Journal of Korea Information and Communications Society, Vol.39, No.10, pp.601-609, 2014
- [20] 김윤희, 왕진수, 홍인기, “LTE-A 및 그 이후 시스템을 위한 스몰셀 성능향상 기술”, 전자파기술, Vol.24, pp.83-90, 2013
- [21] A. Benjebbour, K. Saito, A. Li, Y. Kishiyama and T. Nakamura, “Non-orthogonal multiple access(NOMA): Concept, performance evaluation and experimental trials,” International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications(WINCOM), pp.1-6, 2015
- [22] Vivek Kumar Shaw, Sanjay Dhar Roy, “Handoff Analysis in 5G Small-Cell Network”, Proceedings of the International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems, pp.655-659, 2020.
- [23] MurtazaCicioglu, “Performance analysis of handover management in 5G small cells”, Computer Standards & Interfaces, Vol. 75, 2021
- [24] Rony Kumar Saha, “Realization of Licensed/Unlicensed Spectrum Sharing Using eICIC in Indoor Small Cells for High Spectral and Energy Efficiencies of 5G Networks”, Energies, Vol. 12, pp.2-28, 2019
- [25] Rojeena Barjracharya, Rakesh Shrestha, Haejoon Jung, “Future Is Unlicensed: Private 5G Unlicensed Network for Connecting Industries of Future”, Sensors, Vol. 20, 2020.
- [26] Syed Waqas Haider Shah, Adnan Noor Mian, Jon Crowcroft, “Statistical Qos Guarantees for Licensed-Unlicensed Spectrum Interoperable D2D Communication”, IEEE Access, Vol. 8, pp.27277-27290, 2020
- [27] Adnan Shahid;Vasilis Maglogiannis, Irfan Ahmed, Kwang Soon Kim, Eli De

- Poorter, Ingrid Moerman, “Energy-Efficient Resource Allocation for Ultra-Dense Licensed and Unlicensed Dual-Access Small Cell Networks” , IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.20, No. 3, pp.983-1000, 2021
- [28] Mengying Sun, Xiaodong Xu, Xiaofeng Tao, Ping Zhang, Victor C. M. Leung, “NOMA-Based D2D-Enabled Traffic Offloading for 5G and Beyond Networks Employing Licensed and Unlicensed Access” , IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 19, No. 6, pp.4109-4124, 2020
- [29] Yifan Jiang, Jing Guo, Zesong Fei, “Performance Analysis of the Coexistence of 5G NR-Unlicensed and Wi-Fi with Mode Selection” , IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), 2020
- [30] Zhening Zhang, Jingyi Chen, Mingyang Dong, Yuehong Gao, Jingjing Wang, “Hybrid channel access mechanism based on coexistence scenario of NR-unlicensed” , China Communications, Vol. 17, No. 1, pp.49-62, 2020
- [31] Eman Serag El Din, Mahammad A. Safwat, “A Novel Algorithm for Optimization of Mobile Network Performance with Self-Organized Network” , Journal of Communications Vol. 15, No. 6, pp.503-510, 2020.
- [32] Xin Wang, Long Zhao, Shujuan Zhang, Yu Wang, Dandan Qin, Wei Sun, “Self-Organizing-Map-based Knowledge Fusion Method for Heterogeneous Ontologies in Power Grid Networks” , 2020 5th International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE), 2020
- [33] Yuejia Dou, Huilin Liu, Liangkang Wei, Shiyu Chen, “Design and simulation of self-organizing network routing algorithm based on Q-learning, 2020 21st Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), 2020
- [34] Wael Dghais, Malek Souilem, Hao Ran Chi, Ayman Radwan, Abd-Elhamid M. Taha, “Dynamic Clustering for Power Effective Small Cell Deployment in HetNet 5G Networks” , IEEE International Conference on Communications, 2020
- [35] Hao Ran Chi, M. Fátima Domingues, Ahmed Refaey, Ayman Radwan, “Energy-Efficient and QoS-Improved D2D Small Cell Deployment for Smart Grid” , GLOBECOM 2020 - 2020 IEEE Global Communications Conference, 2020
- [36] 5G Americas & Small Cell Forum Whitepaper, “Precision Planning For 5G

- Era Networks with SMALLCELLS” , 5G Americas, Release. 10, 2019
- [37] Tanmoy Bag, Sharva Garg, Diego Fernando Preciado Rojas, Andreas Mitschele-Thiel, “Machine Learning-Based Recommender Systems to Achieve Self-Coordination Between SON Functions” , IEEE Transactions on Network and Service Management, Vol. 17, pp. 2131-2144, 2020
- [38] Chetna Singhal, B N Chandana, “Aerial-SON: UAV-based Self-Organizing Network for Video Streaming in Dense Urban Scenario” , International Conference on Communication Systems & Networks, pp.5-9, 2021
- [39] 유시영, 노승환, “셀룰러 망에 D2D 통신에서의 스펙트럼 에너지 최적화에 관한 연구 시스템” , 한국정보기술학회논문지, Vol. 18, pp.39-49, 2020
- [40] Jeonghun Park, “Static Power Control for D2D Communication Underlaid Cellular Downlink Networks” , 한국통신학회논문지, Vol. 45, pp.794-797, 2020
- [41] 오동한, 한덕수, 이준석, “미래 대대급 전술 네트워크 구축을 위한 5G 기반 네트워크 활용방안” , Journal of Digital Contents Society, Vol. 22, No. 3, pp.537-545, 2021
- [42] 5G 포럼, “5G 스몰셀 기술시장 로드맵” , 5G Small Cell Ecosystem White Paper, 2019
- [43] 박동욱, 임동민, 이종관, “인터넷 기술발전이 통신서비스 산업에 미치는 영향과 대응방향” , 정보통신정책연구, 2001
- [44] 변민주, “한국의 이동통신 3G 핵심기술을 적용한 산업기술계통사 연구방법론에 관한 연구” , 한국과학예술융합학회, Vol. 30, pp.163-176, 2017
- [45] 박지성, “5G 글로벌 상용화 2주년, 현주소와 과제는” , 전자파기술, Vol. 32, No. 3, pp. 72-74, 2021
- [46] 윤영우, “LTE-Advanced 주요 표준화 동향” , 한국통신학회지, Vol. 26, No. 12, pp.3-18, 2009
- [47] 오돈성, 김일규, 정현규, “LTE 관점의 차세대 이동통신기술 동향” , 주간기술동향, vol.1393, 2008
- [48] 조용수, “The Trend of OFDM Technology” , Telecommunications Review, Vol.12, pp.466-478, 2002
- [49] 김대현, 김형명, “안테나 다이버시티와 공간 다중화의 조합에 기초한 적응적 MIMO 전송 기법” , 한국통신학회논문지. Vol. 32, No. 5, pp.394-401, 2007
- [49] 권병철, 김기만, “수조에서 MIMO 수중음향통신의 실험적 성능 고찰” , 한국

- 정보통신학회논문지, Vol. 17, No. 7, pp.1577-1582, 2013
- [50] 김경호, “LTE 단말 모뎀 기술 및 동향”, The Magazine of the IEIE “, vol.36, pp.105-120, 2009
- [51] SK Telecom, “LTE Evolution” ,May 2017
<https://netmanias.com/ko/post/blog/12090/5g-lte-sk-telecom/sk-telecom-s-lte-evolution-1-4-5g-evolution-roadmap-5-ca-and-4x4-mimo-launched-soon>
- [52] Jeanette Wannstrom, “Carrier Aggregation explained” ,3GPP,June 2013
<https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>
- [53] Qorvo, “Solving Network Congestion with Carrier Aggregation” , 2016,
https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/RFMD%20PDFs/Carrier_Aggregation_Br_Qorvo.pdf
- [55] 이문호, 평부스, “세 명의 사용자의 간섭 채널을 위한 협력 다중점 송수신 (CoMP)에서의 격자(Lattice) 부호 간섭 정렬” , 전자공학회논문지, Vol. 49, No. 6, pp.27-38, 2012
- [56] Kim YoonHwan, Kim TaeYeun, Lee DaeYoung, Bae SangHyun, “Analysis of Small Cell Technology Application for Performance Improvement in Simulation-based 5G Communication Environment” ,Smart Media Journal, Vol.9, 2020
- [57] Ericsson, “Estimated growth of Mobile Data Traffic and its distribution” , 2019
- [58] 3GPP, “Release 15” , 2020, <http://www.3gpp.org/release-15>,
- [59] Amitabha Ghosh, Andreas Maeder, Matthew Baker, Devaki Chandramouli, “5G Evolution: A View on 5G Cellular Technology Beyond 3GPP Release 15”
- [60] Samsung, “5G 국제표준의 이해” ,2018
- [61] 문정모, 박용직, 황현용, 나지현, “5G NR 기반 개방형 스몰셀 기술 동향” , 전자통신동향분석, Vol. 33, No. 5, 2018
- [62] Jehn-Ruey Jiang, “Short Survey on Physical Layer Authentication by Machine-Learning for 5G-based Internet of Things” , IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention, 2020
- [63] 김태훈, 방인규, “5G URLLC를 위한 다중 프리앰블 기반의 임의 접속 기법에 관한 연구: 계층 교차적 접근법” , 한국통신학회논문지, Vol.46, No. 2, pp.238-245, 2021

- [64] Brice Murara(ITU), “IMT-2020 Network High level Requirements, How african countries can cope” , 2020
- [65] 박옥선, 김석기, 박기윤, 신우람, 신재승, “Technical of Ultra-Reliable Low-Latency Communication for 5G” , Electronics and Telecommunication Trends, Vol.35, pp.42-50, 2019
- [66] 변일무, 조희정, 이은종, 한진백, “5G 저지연 서비스 요구조건과 기술개발 동향” , 한국통신학회지, pp.3-9, 2015
- [67] Mark Cudak, “Towards Making 5G a Reality” , IEEE 5G Summit, November 2016.
- [68] Ahmed Iyanda Sulyman, AlMuthanna T.Nassar, Mathew K. Samimi, George R. MacCartney Jr., Theodore S. Rappaport, and Abdulhameed Alsanie, “Radio Propagation Path Loss Model for 5G Cellular Networks in the 28GHz and 38GHz Millimeter-Wave Bands”, Communications Magazine IEEE. Vol.52 No.9, pp.78-86, 2014.
- [69] Woo-Ghee Chung, “Study on Effective 5G Network Deployment Method for 5G Mobile Communication Service” , The Journal of Korean institute of Electromagnetic Engineering and Science, pp.353-358, may 2018.
- [70] Dong Hyeok An, "Text Line Segmentation of Handwritten Documents by Area Mapping," Smart Media Journal, Vol. 4, No. 3, pp.38-43, 2015
- [71] Mohammad Patwary, Shree Krishna Sharma, Symeon Chatzinotas, Yunfei Chen, Mohamed Abdel-Maguid, Raed Abd-Alhameed, Jams Noras, Bjorn Ottersten, “Universal Intelligent Small Cell(UnISCell) for next generation cellular networks” , ELSEVIER Digital Communications and Networks, pp167-174, 2016.
- [72] Informa Telecoms&Media, “Small Cell Market Status” , no. 1, 2013.
- [73] Se-Jin Kim, Sang-Hyun Bae, “Performance Analysis of Mobile Data Offload using LIPA in Femtocell Networks” , The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, 2017, p.16-22
- [74] 5G Forum, “2018 Small Cell Ecosystem White Paper” ,2018.
- [75] Hugo Tullberg, “Metis Concepts for 5G” , 2014.
- [76] Primmy Gandotra, Rakesh Kumar Jha, “Device-to-Device Communication in Cellular Networks” , Journal of Network and Computer Applications, 2016.

- [77] Yulong Qi, Jingjing Luo, Lin Gao, Fu-Chun Zheng, Li Yu, “User Preference and Activity Aware Content Sharing in Wireless D2D Caching Networks” , 2020 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), 2020
- [78] N. Golrezaei, P. Mansourifard, A. F. Molisch and A. G. Dimakis, “Base-Station Assisted Device-to-Device Communications for HighThroughput Wireless Video Networks,” IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 13, No. 7, pp. 3665–3676, 2014
- [79] Ishan Budhiraja; Neeraj Kumar; Sudhanshu Tyagi, “ISHU: Interference Reduction Scheme for D2D Mobile Groups Using Uplink NOMA” , IEEE Transactions on Mobile Computing, 2021
- [80] Yujie Chen, Caihong Ma, “Overview of D2D Communication Technology under 5G Cellular Network Coverage” , 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), 2020
- [81] Marko Hoyhtya, Olli Apilo, Mika Lasanen, “Review of Latest Advances in 3GPP Standardization D2D Communication in 5G System and Its Energy Consumption Models” , Future Internet, Vol. 10, No. 3, 2018
- [82] J.Huang,X.Lu,"5G key technology: D2D communication technology application,"Electronic Technology and Software Engineering, Vol.16, pp.35–36, 2019
- [83] X.Zeng,J.Ren,Y.Feng,"Research on Optimization of D2D, Communication Based on OFDMA", Automation application, Vol.7, pp.132–133, 2018
- [84] Dong-Woo Lim, Joonhyuk Kang, “Outage-Optimal and Suboptimal Power Control for D2D Communications in SWIPT Cellular Networks With Local CSI” , IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 9, No. 10, pp.1795–1798, 2020
- [85] Mohammad Hadi Ziyae Amiri, Amir Mohammad Nazemi, Maryam Namazi, Khadegeh Jalilian Amri, Faezeh Ziyae Amiri, “Energy Saving in D2D Cellular 6G Networks” , 2020
- [86] Mahendra Singh, Chiranjeev Kumar, Prem Nath, “P2P Applications in 4G/5G Networks Using D2D Communication Based on Social Attributes of

- Users” , 2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability, 2020
- [87] Rafay Iqbal Ansari, Chrysostomos Chrysostomou, Syed Ali Hassan, Mohsen Guizani, Shahid Mumtaz, Jonathan Rodriguez, Joel J. P. C. Rodrigues, “5G D2D Networks: Techniques, Challenges, and Future Prospects” , IEEE Systems Journal, Vol. 12, No.4, pp.3970–3984, 2018
- [88] 성선익, 홍종우, 김경수, 박승일, 박천우, 이광복, “셀룰러 네트워크 기반의 D2D 통신 기술 현황” , 정보와 통신, 2012
- [89] Junyi Feng, “Device-to-Device Communications in LTE-Advanced Network” , 2014
- [90] Chen Chen, Yixin Zhang, Jiliang Zhang , Xiaoli Chu, Jie Zhang, “On the Performance of Indoor Multi-Story Small-Cell Networks” , IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, 2021
- [91] Jose antonio cortes, Francisco Javier Canete, Matias Toril, Eduardo Martos-Naya, Javier Poncela, Luis Diez, Alicia Garcia, “Feasibility Study of Power Line Communications for Backhauling Outdoor Small Cells “, IEEE Access, Vol. 9, 2021
- [92] Kamran Ali, Huan X. Nguyen, Quoc-Tuan Vien, Purav Shah, Mohsin Raza, “Deployment of Drone-Based Small Cells for Public Safety Communication System” , IEEE SYSTEMS JOURNAL, Vol. 14, No. 2, 2020
- [93] Xiaohui Zhou, Salman Durrani, Ing Guo, “Drone-Initiated D2D-Aided Multihop Multicast Networks for Emergency Information Dissemination” , IEEE Access, 2020
- [94] Yulun Cheng, Jun Zhang, Longxiang Yang, Chenming Zhu, Hongbo Zhu, “Distributed Green Offloading and Power Optimization in Virtualized Small Cell Networks With Mobile Edge Computing” , IEEE TRANSACTIONS ON GREEN COMMUNICATIONS AND NETWORKING, Vol. 4, No. 1, 2020
- [95] Zhihao Qu, Baoliu Ye, Bin Tang, Song Guo, “Cooperative Caching for Multiple Bitrate Videos in Small Cell Edges” , IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, Vol. 19, No. 2, 2020
- [96] Cheng Chen, Randall A. Berry, Michael L. Honig, Vijay G. Subramanian,

- “The Impact of Unlicensed Access on Small-Cell Resource Allocation” ,
IEEE Journal on selected areas in communications, Vol. 38, No. 4, 2020
- [97] Jair Sebastian-Villa, Domingo Lara-Rodriguez, “D2D Communication Underlying Microwave and Millimeter-Wave Cellular Networks Using CIPC” , IEEE Access, Vol. 9, 2021
- [98] Ehab Mahmoud Mohamed, Basem M. Elhalawany, Haitham S. Khallaf, Mahdi Zareei, Asim Zeb, Mahmoud Ahmed Abdelghany, “Relay Probing for Millimeter Wave Multi-Hop D2D Networks” , IEEE Access, Vol. 8, 2020
- [99] Sherief Hashima, Kohei Hatano, Eiji Takimoto, Ehab Mahmoud Mohamed, “Neighbor Discovery and Selection in Millimeter Wave D2D Networks Using Stochastic MAB” , IEEE Communications Letters, Vol. 24, 2020
- [100] Libo Chen, Na Deng, Haichao Wei, “Performance Analysis of D2D and Cellular Coexisting Networks With Interference Management” , IEEE Access, Vol. 8, 2020
- [101] 김근영, 명정호, 서지훈, “딥러닝을 활용한 무선전송 및 접속기술 동향” ,2018 Electronics and Telecommunications Trends, 2018
- [102] Matworks, <https://kr.mathworks.com/discovery/machine-learning.html>
- [103] Cho Sunwoo, Jung Daeun, Lee Soohwan, Shin Myungki, “Survey on Machine Learning Algorithms for SDN/NFV Automation” , The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol.44, 2018.
- [104] 하노경,인지혜,신원재, “머신러닝 기반 무선 간섭관리 기술 동향” , 방송과미디어, vol.25 January 2020.
- [105] Kim Changsik, Kim Namgyu, Kwahk Keeyoung, “Research Trends Analysis of Machine Learning and Deep Learning: Focused on the Topic Modeling” , Journal of Korea Society of Digital Industry and Information Management, vol.15, pp.19-28, 2019.
- [106] AstonZhang, Zachary C.Lipton,MuLi,Alexander J. Smola, “Dive into Deep Learning” , 2020.
- [107] Yoshua Bengio, Pascal Lamblin, Dan Popovici, Hugo Larochelle, “Greedy Layer-Wise Training of Deep Networks “ NIPS, 2007
- [108] Lingxia Wang, Chungang Yang, Rose Qingyang Hu, “Autonomous Traffic

- Offloading in Heterogeneous Ultra-Dense Networks Using Machine Learning” , IEEE Wireless Communications “ , Vol. 26, 2019
- [109] F.Azmat, Y.Chen, and N. Stocks, “Predictive modelling of RF energy for wireless powered communications, “ IEEE Commun. Lett, Vol. 20, no. 1, pp. 173-176, 2016.
- [110] B.Bojovic, E.Meshkova, N.Baldo, J.Riihijarvi, M.Petrova, “Machine Learning-based dynamic frequency and bandwidth allocation in self-organized LTE dense small cell deployments” , EURASIP J. Wireless Communication, Vol. 2016, No. 1, 2016
- [111] A.Martin, J.Egana, J.Florez, J.Montalban, I.G.Olaizola, M.Quartulli, R.Viola, M.Zorrilla, “Network resource allocation system for qoeaware delivery of media services in 5G networks” , IEEE Transactions on Broadcasting, Vol.64, No.2, pp.561-574, 2018
- [112] M.Sanchez-Fernandez, M.de-Prado-Cumplido, J.Arenas-Garcia, F.Perez-Cruz, “SVM multiregression for nonlinear channel estimation in multiple-input multiple-output systems” , IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.52, No.8, pp.2298-2307,2004
- [113] Wei-Shun Liao, Ou Zhao, Mirza Golam Kibria, Gabriel Porto Villardi, Kentaro Ishizu, Fumihide Kojima, “Machine Learning-Based Signal Detection for CoMP Downlink in Ultra-Dense Small Cell Networks” , IEEE Access, Vol. 8, 2020
- [114] Bleron Klaiqi, Xiaoli Chu. Jie Zhang, “Energy-Efficient Multi-Hop Device-to-Device Communications with Adaptive Forwarding Strategy” , Globecom 2017, 2017
- [115] Donghan Kim, Yongjun Kwak, Jinyoung Oh, Younsun Kim, Juho Lee, “Discovery resource grouping for D2D discovery for mitigation of in-band emission in LTE-Advanced” , Globecom 2014, 2014
- [116] 5G americas, Small-cell forum, “Small cell siting: regulatory and deployment considerations” , 2017
- [117] XIAOYI ZHANG, XIAORONG ZHU, AND HONGBO ZHU, “Joint User Clustering and Multi-Dimensional Resource Allocation in Downlink MIMO-NOMA

Networks” , IEEE Access, Vol. 7, 2019

[118] Hui Hui Su1, Wen Bo Qu , Yi Peng, “Uplink and Downlink Throughput Optimization Scheme for Millimeter Wave D2D Communication” , 3rd International Conference on Mechatronics and Intelligent Robotics, 2019

[119] 김영빈, 최동호, 판 반 트령, 마이 령, 박민호, “Software Defined Networking을 위한 다중 기계학습 결합 기반의 DDoS 탐지 시스템” , 한국통신학회논문지, Vol.42, No. 8, pp.1581-1590, 2017