

밀리미터파 기반 5G 시스템에서의 인접 대역 전파 간섭 분석 및 공존 연구

성현준*, 신오순*, 박철수**, 정영준***, 손일수^o

A Study on Adjacent Channel Interference and Coexistence in mmWAVE-Based 5G Systems

Hyeon-Jun Sung*, Oh-Soon Shin*, Cheolsoo Park**, Chong Young Jun***, Illsoo Sohn^o

요약

본 논문에서는 mmWAVE 대역 기반의 5G New Radio(NR) 시스템 환경에서의 인접주파수대역에 구축된 시스템간의 전파간섭을 분석하고 시스템 간 공존조건을 연구한다. 먼저, 3rd Generation Partnership Project(3GPP)의 인접주파수대역 전파간섭 분석 방법론에 기반하여, mmWAVE 대역기반 시스템에서의 인접 시스템 간 간섭 시나리오와 적용 기술들을 설명한다. 특히, mmWAVE 대역의 간섭분석에 처음으로 도입되는 개념인 송수신 beam-forming의 효과와 mmWAVE의 전파전파 특성을 고려한 다양한 형태의 신규 network layout의 효과를 설명한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 시스템 간 공존시나리오에 따른 성능분석을 수행하였고, 5%-throughput loss를 만족하는 최소 이격을 adjacent-channel-interference-ratio(ACIR) 측면으로 도출하였다. 본 분석을 통해 mmWAVE 대역에서 인접주파수대역에 구축된 5G NR 시스템은 다양한 구축시나리오에서 공존이 가능함을 확인하였다.

Key Words : mmWAVE, Co-existence, 5G, adjacent channel interference

ABSTRACT

This paper studies adjacent channel interference (ACI) between wireless systems that are allocated in adjacent frequency bands and investigates their coexistence in mmWAVE-based 5G New Radio(NR) systems. By using ACI analysis methodology proposed for the 3rd Generation Partnership Project (3GPP), we describe the inter-system interference scenarios and apply advanced techniques for mmWAVE-based systems. In particular, we focus on the impact of transmit/receive beam-forming, which is one of the major extension of the ACI analysis methodology targeting mmWAVE band. Various types of new network layouts, including indoor layout and uncoordinated hot-spot layout, have been investigated considering the propagation models of mmWAVE. We perform computer simulation to verify the coexistence performance of mmWAVE-based 5G systems from 5%-tile

※ 본 연구는 2017년도 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구(선도연구센터)사업(NRF-2017R1A5A1015596)의 지원 및 2018년도 정보통신기술진흥센터(No.2017-0-00066, 선제적 주파수 이용을 위한 시·공간적 스펙트럼 엔지니어링 기술 개발)의 지원을 받아 수행됨

• First Author : (ORCID:0000-0003-4503-0273)Seoul National University of Science and Technology, Department of Computer Science and Engineering, haryu5020@seoultech.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : (ORCID:0000-0003-3943-4781)Seoul National University of Science and Technology, Department of Computer Science and Engineering, isohn@seoultech.ac.kr, 종신회원

* (ORCID:0000-0002-6984-8240)Soongsil University, School of Electronic Engineering and Department of ICMC Convergence Technology, osshin@ssu.ac.kr, 종신회원

** Kwangwoon University, Department of Computer Engineering, parkcheolsoo@kw.ac.kr

*** 한국전자통신연구원 전파기술연구부 스펙트럼공학연구실, yjchong@etri.re.kr, 정회원

논문번호 : 201806-A-147-RN, Received April 12, 2018; Revised July 5, 2018; Accepted July 27, 2018

throughput loss of the ACIR aspect, where we derive the minimum required ACIR for solid coexistence. Based on the analysis and simulation results, we verify that mmWAVE-based 5G NR systems satisfy coexistence requirements in various practical deployment scenarios.

I. 서 론

국제표준화기구인 International Telecommunication Union(ITU)는 2015년에 5G 이동통신을 ‘IMT-2020’으로 정의하였다. 이에 따라 3rd Generation Partnership Project(3GPP)는 IMT-2020을 목표로 Release 14에서 차세대 이동통신표준을 위한 선행 연구를 시작하여, Release 15와 Release 16에서 시스템 규격 작업을 완료할 예정이다.^[1] 차세대 무선통신시스템인 5G New Radio(NR)을 구축하기 위해서는 신규 주파수 대역에 대한 필요성이 대두되었는데 3GPP에서는 2016년 상반기에 6GHz 이상 초고주파용 ‘5G 채널 모델’과 RAN 요구사항을 정립했다. 현재 IMT-2020 구현을 위한 최상위 use-case를 (1) Enhanced Mobile Broadband, (2) Massive Machine Type Communication, (3) Ultra-reliable and Low Latency Communication과 같이 세 가지로 정리했으며, 신규 서비스로서 Automobile, Health, Energy, Manufacturing 등을 추진하는 등 연계산업 분야로 시장 확산을 목표로 하고 있다.^[2] 이를 통해 5G 무선통신시스템이 구축되면 1km² 면적 내 약 100만개 단말 수용, 1ms 이하의 전송지연, 사물 간 통신 서비스 등 기존 4세대를 포함한 무선통신시스템 대비 대폭적인 성능향상을 보여줄 것으로 기대된다.

5G는 기존 무선통신시스템에서 활용되지 못했던 mmWAVE 초고주파 대역을 이용하여 다양한 서비스 가능하게 할 예정이다. mmWAVE 기반의 5G 구현은 다양한 이점을 가지고 있다. 장점으로는 고정 시 최대 20Gbps의 전송 속도, 단말기 당 100Mbps 이상의 체감 전송속도, 4G LTE 대비 에너지 효율성이 100배 높고 새로운 주파수의 효율성이 3배가 되는 등 5G의 강점인 높은 전송속도 달성을 위해 높은 활용 가치가 있다. 한편, 단점은 mmWAVE 초고주파의 물리적 특성상 전파감쇠로 인하여 원거리에 전파도달이 힘들고, 벽과 같은 장애물에 전파소실을 감수해야하기 때문에 망구축비 측면에서 불리하다.^[3] 신규 주파수 대역을 원활히 활용하기 위해 3GPP, ITU 등 국제표준화 단체들은 새로운 주파수특성에 맞는 기술규격들을 개발하고 있다. 일례로 미국의 최대 이동통신사인 버라이즌(Verizon)은 그림 1과 같이 원거리에 위치한 기지국

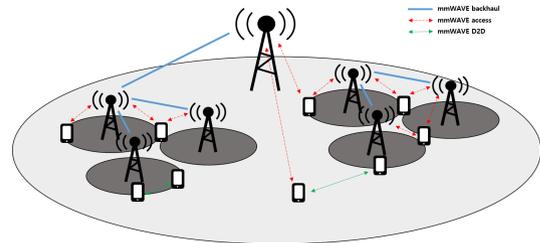


그림 1. 5G 시스템에서의 mmWAVE 개념도
Fig. 1. mmWAVE concept illustration in 5G system

까지의 유선구간을 mmWAVE 기반의 무선통신으로 대체하는 wireless backhaul 망으로서 활용하고자 한다.^[4] 한편, 새로운 전파 환경에 대한 인접 셀 간의 간섭 또한 활발히 연구되고 있다. Below-5G에서보다 많은 기지국 구축으로 인한 인접 셀 간의 간섭이 증가할 수 있기 때문에 이를 감소시킬 수 있는 beam-forming 정렬 방향성 중요하게 고려되고 있다.^[5] 국내에서는 pre-5G로서 mmWAVE 대역을 이용하여 기지국과 사용자 단말기 간의 무선이동통신 서비스를 세계 최초로 구현하였고 2018 평창동계올림픽을 통해 공개하였다.

mmWAVE기반의 5G 시스템을 구현하기 위해서는 다수의 이동통신시스템이 구축되었을 때 공존 가능성에 대한 연구가 선행되어야 한다. 초고주파인 mmWAVE는 기존 무선통신시스템에서 사용하던 주파수와 물리특성이 많이 다르기 때문에 기존 below-5G 대역의 분석방법론을 5G NR에 바로 적용시킬 수 없는 문제가 생긴다. 무선 커버리지가 짧은 mmWAVE 대역의 주파수의 특성, Internet of Things(IoT)로 인한 단말기 밀집도 증가로 Heterogeneous Network(HetNet)과 같은 복잡한 네트워크 구조도 새로운 방법론의 필요성을 강조하게 된다.^[6,7] 또한 기존 방법론에서는 안테나 빔 패턴이 개별구현상의 이슈였다면, mmWAVE기반의 5G에서는 다중안테나의 적극적인 활용으로 중요한 성능요소가 되었다. 일례로, 기존 below-5G 대역에서의 분석방법론은 beam-forming 기술로 수평 방향에 대한 빔 패턴만 고려했지만, mmWAVE 기반 5G NR에서의 beam-forming 기술의 경우 수평과 수직을 모두 고려한 3D beam-forming 기술을 정의한다. 기존 2D

beam-forming 기술보다 더 강화된 beam-forming 이득을 통해 무선통신시스템의 성능을 향상시키는 연구가 다양하게 진행되고 있다.^[8] 또한 기존에는 기지국 안테나에서만 beam-forming 기술이 고려되고 사용자 단말에서는 omni-directional antenna를 가정하였다면, mmWAVE기반 5G NR 시스템에서는 사용자단말 또한 beam-forming 기술을 도입하여 기지국과 사용자 단말기가 서로 정렬하는 beam-forming의 방향성이 매우 중요한 요소가 되었다. 이때 서로 beam-forming의 방향이 어긋날 시에 발생하는 간섭량 변화 효과와 시스템의 성능하락 문제점을 고려해야 한다.^[9,10] 따라서, mmWAVE 기반의 5G 시스템의 성공적인 상용화를 위해 이러한 기술적 사항들을 고려하여 확장된 간섭분석 및 공존성 연구가 필요하다.

본 논문에서는 below-5G 대역의 간섭분석 방법론을 기반으로 mmWAVE 대역의 물리적 특성 및 기술적 사항들을 고려하여 확장한다. 이를 통해 인접대역 시스템 간 간섭을 분석하고 공존 가능성을 확인한다. 특히 기존 전통적인 outdoor 중심의 network layout을 포함하여 5G 시스템의 주요한 사용 환경이 될 것으로 예측되는 indoor layout이나 uncoordinated hot-spot을 고려하도록 한다.

II. 본 론

본론에서는 새로운 mmWAVE기반 5G 무선통신시스템의 인접대역시스템 간 간섭을 분석한다. 3GPP에서 정의된 분석 방법론을 설명하고 기존 below-5G에 적용하였던 분석 방법론과의 차이점을 중점적으로 서술한다.

2.1 3GPP의 인접대역시스템 간 간섭 분석 방법론 개요

3GPP TR38.803 문서에서는 인접시스템 간 공존을 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 다음과 같이 6개의 단계로 정의하였다.^[11] 첫 번째로 공격자(aggresor) 시스템과 희생자(victim) 시스템을 네트워크 레이아웃에 위치시키고, 희생자 시스템의 사용자 단말기들은 무작위로 분포되도록 한다. 두 번째로 각각의 단말기들을 결합 손실에 기초하여 적합한 기지국과 연결한다. 이 연결은 기지국과 단말기 모두에서 단일 안테나를 가정하여 이루어진다. 세 번째로 연결이 완료되면 round-robin 스케줄링을 수행하고 beam-forming 가중치를 기지국-단말기 사이의 Line-of-Sight(LOS) 방향으로 조정한다. 네 번째로 Adjacent Channel

Interference(ACI)를 고려하지 않은 희생자 시스템에서의 throughput을 계산한다. 다섯 번째로 ACI를 고려한 상태로 희생자 시스템에서의 전체적인 throughput을 계산한다. 마지막으로 ACI에 대한 throughput 성능의 loss 값을 계산한 후 최대 허용치인 5%를 만족하는 최소 이격을 Adjacent Channel Interference Ratio(ACIR) 측면으로 측정한다. 이를 통해 필요한 최소 이격이 크다면 인접시스템 간 공존 가능성이 낮다고 판단하고 그 값이 작다면 인접시스템 간 공존 가능성이 높다고 판단할 수 있다.

2.2 간섭분석 모델

3GPP에서 정의한 mmWAVE 기반 5G 시스템의 모델링을 설명하고 5G 통신 활용 시나리오를 고려하여 그것을 더 확장하도록 한다.

2.2.1 인접시스템 공존 시나리오

5G NR 시스템을 위한 새로운 주파수 대역은 그림 2와 같이 mmWAVE인 27.5GHz~28.7GHz 밴드 대역을 고려한다. 3개의 이동통신 서비스 제공사 A, B, C가 대역폭을 400MHz씩 (27.5~27.9GHz, 27.9~28.3GHz, 28.3~28.7GHz) 사용하는 것을 가정한다. 간섭 시나리오는 표 1에 표시된 총 8가지로 Downlink 간섭 4가지, Uplink 간섭 4가지로 구성되어

표 1. 5G 시스템에서의 인접시스템 공존 시나리오
Table 1. Coexistence scenario in 5G System

No.	Direction	Aggressor	Victim
(1)	DL to DL	A : 27.5~27.9 GHz	B : 27.9~28.3 GHz
(2)	DL to DL	B : 27.9~28.3 GHz	C : 28.3~28.7 GHz
(3)	DL to DL	C : 28.3~28.7 GHz	B : 27.9~28.3 GHz
(4)	DL to DL	B : 27.9~28.3 GHz	A : 27.5~27.9 GHz
(5)	UL to UL	A : 27.5~27.9 GHz	B : 27.9~28.3 GHz
(6)	UL to UL	B : 27.9~28.3 GHz	C : 28.3~28.7 GHz
(7)	UL to UL	C : 28.3~28.7 GHz	B : 27.9~28.3 GHz
(8)	UL to UL	B : 27.9~28.3 GHz	A : 27.5~27.9 GHz

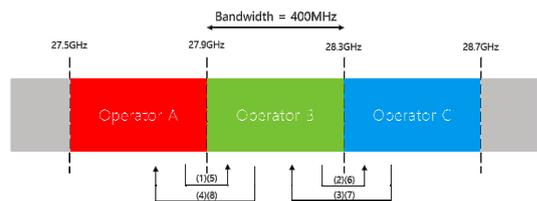


그림 2. 5G 시스템에서의 간섭시나리오
Fig. 2. Interference scenario in 5G system

있다.

2.2.2 네트워크 모델

(1) Network Layout Modeling

3GPP에서 정의한 5G 시스템의 network layout은 총 3가지이다. 기존 전통적인 Outdoor 사용 환경을 고려한 Urban Macro Layout 이외에도 small cell을 고려한 새로이 정의된 layout으로 Dense Urban Layout을 고려하였다. 또한 기존 셀룰라 네트워크에서 관심 사항이 아니었던 실내 환경까지 고려하여 Indoor Layout을 처음으로 고려하고 있다. 본 논문에서는 3GPP에서 정의한 network layout 이외에도 향후 5G 시스템에서 사용자 경험을 고려한 새로운 network layout을 추가적으로 고려한다. mmWAVE 대역 기반의 5G 시스템은 전송거리가 상대적으로 매우 짧은 대신 넓은 대역폭을 가지는 특성으로 인하여 5G 단일망으로 전체 서비스 커버리지를 달성하지 않을 것으로 예측하고 있다. 즉, 기존 LTE 시스템으로 기본적인 서비스 커버리지를 확보하고 mmWAVE 기반의 5G로는 hot-spot의 트래픽을 집중적으로 서비스하는 non-standalone(NSA) 형태가 가장 효율적인 형태가 될 것으로 예상된다. 트래픽 off-loading을 목적으로 hot-spot 위주로 집중 구축되는 셀들은 기존의 cell planning에 의해 구축되는 coordinated layout과 반대되는 uncoordinated layout의 성격을 가지게 되며 매우 비정형적인 셀 분포를 가지는 것이 특징이다. 본 논문에서는 새로운 비정형적인 셀 분포 시나리오도 고려하여 인접시스템 간 공존성에 대한 분석을 수행한다.

Urban Macro Layout은 전형적인 셀룰라 구조로서

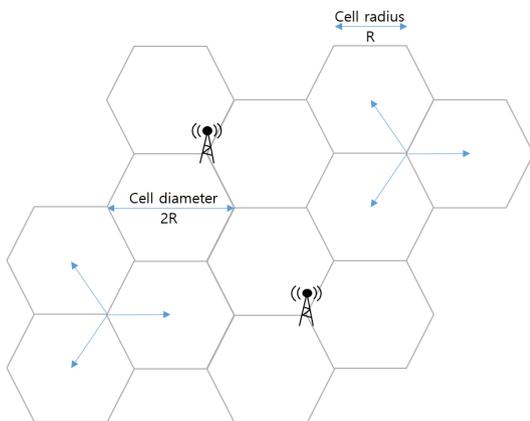


그림 3. 5G 시스템에서의 Urban Macro layout 모델
Fig. 3. Urban Macro layout model in 5G system

그림 3과 같이 1개의 Site를 육각형 모양의 섹터 3개가 감싸는 형태로 구성되어있다. 이때, inter-site distance는 200m, 기지국의 안테나 높이는 25m, 사용자 단말기 안테나 높이는 1.5m로 가정한다.^[12]

Dense Urban Layout의 경우 그림 4와 같이 전형적인 macro-cell 구조 속 small cell을 고려한 구조이다. 이 구조에서는 1개의 sector당 3개씩 클러스터를 가정한다. 1개의 클러스터는 1개의 micro-기지국을 가진다. 여기서 클러스터는 micro-cell이라고도 칭하며 micro-cell 내의 사용자 단말기는 반경 28.9m 셀 안에서 무작위로 분포한다. 기지국의 안테나 높이는 10m, 사용자 단말기 안테나 높이는 1.5m이고 micro-기지국은 클러스터 외곽선 상에서 무작위로 배정되고, Micro-기지국끼리는 간섭을 피하기 위해 최소 10m의 이격 거리를 둔다.

Indoor Layout은 50m * 120m의 직사각형의 실내 공간을 가정한 레이아웃으로, 건물 외벽을 뚫기 힘든 mmWAVE의 물리적인 전파특성을 고려하여 실내에 기지국을 배치하는 구조이다. 그림 5에서와 같이 12개의 기지국이 천장에 고정되어 있다. 기지국간의 거리는 20m로 정의하고 기지국 안테나 높이는 3m, 사용자 단말기 안테나 높이는 1m로 가정한다. 실외에서 정의된 레이아웃들과 차별화된 특징으로 Indoor Layout에서는 천정에 달린 기지국의 안테나 패널의 방향이 직각으로 바닥면을 향하게 설치하게 된다.

본 논문에서는 3GPP에서 정의한 레이아웃 외에

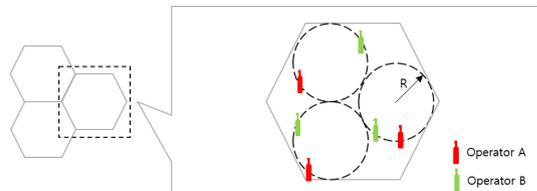


그림 4. 5G 시스템에서의 Dense Urban Layout 모델
Fig. 4. Dense Urban Layout in 5G system

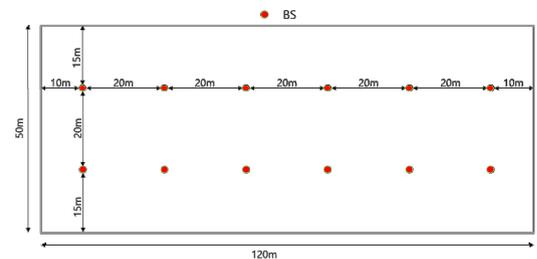


그림 5. 5G 시스템에서의 Indoor layout 모델
Fig. 5. Indoor layout model in 5G system

5G 사용자 경험상 활용도가 높을 것이라고 예측되는 network layout으로 Hot-Spot layout을 고려한다. 이 layout에서는 mmWAVE 기반의 5G 시스템에서 기하학 기반의 정형화된 cell-planning에 의존하지 않고 실제 사용자분포와 발생하는 트래픽의 양을 기준으로 구현되는 것을 가정하여, small-cell은 사용자의 트래픽 수요만을 고려하며 그림 6과 같이 셀들이 비정형적인 분포로 구축된다. 여기서는 1,000m * 1,000m 공간에서 Dense Urban Layout에서 생성되는 클러스터의 개수만큼 Micro-cell들을 생성하며 이때의 위치는 무작위로 결정한다. 이때 기지국 안테나 높이는 10m, 사용자 단말기 안테나 높이는 1.5m로 가정한다.

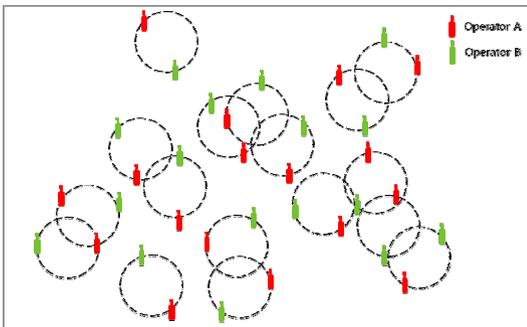


그림 6. 5G 시스템에서의 Hot-Spot layout 모델
Fig. 6. Hot-Spot layout model in 5G system

(2) 전파전파(Propagation) 모델

전파전파 모델링은 크게 각 시나리오별 Path loss 계산과 그 계산을 위한 LOS probability, 새로운 distance 계산 정의에 대해 서술한다. Path loss는 전송하는 신호가 송신기에서 수신기까지 가는 경로에서 나타나는 손실을 말한다. Line-Of-Sight(LOS)와 Non-Line-Of-Sight(NLOS)로 나뉘며 각 시나리오별로 정의되어 있는 path loss 계산 모델을 따른다. LOS probability에 기반을 두고 확률적으로 LOS, NLOS 여부를 결정하여 Path loss에 적용한다.^[12] 3D Distance를 고려한 기지국과 사용자 단말기간의 거리는 기지국 안테나 높이와 사용자 단말기 안테나 높이의 차의 제곱과 기지국과 사용자 단말기 간의 평면거리의 제곱을 제곱근한 값이다.

$$D_{3d} = \sqrt{(H_{BS} - H_{UE})^2 + (D_{2d})^2} \quad (1)$$

(3) 안테나 및 beam-forming 모델

안테나 모델은 사각형 형태의 안테나 패널들이 일

정한 간격으로 배열되어 있는 것을 기본 구조로 하며, 안테나 column M개, row N개로 배열되어 있다. 기지국 안테나의 방사 요소들은 그림 7과 같이 Cartesian coordinate system에서의 z축에 위치하고 x-y 평면은 수평을 구성한다. 사용자 단말기에서 보내는 방사 요소를 가지고 beam-forming의 각도를 결정하는데, 신호에 대한 elevation angle을 θ (0°에서 180°), azimuth angle을 φ (-180°에서 180°)로 정의한다. 수평 성분의 안테나 배열 방식 패턴과 수직 성분의 안테나 배열 방식 패턴을 종합하여 사용자 단말기와 기지국 안테나 간의 beam-forming 상태에서의 안테나 이득을 계산하여 얻어낸다. 계산 시, 기지국 안테나의 수평 기울기, 수직 기울기 모두 고려한다.

안테나 이득은 수평과 수직을 모두 고려한 3D 형태의 안테나 이득을 보이며 각 layout마다 기지국의 안테나 이득 방식이 다르고 사용자 단말기 또한 다른 안테나 이득 공식을 이용한다. 대표적으로 Urban macro layout에서의 기지국의 안테나 이득은 아래의 수식을 따른다.

$$A_{E,V}(\theta'') = -\min \left\{ 12 \left(\frac{\theta'' - 90^\circ}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_V \right\} \quad (2)$$

$\theta_{3dB} = 65^\circ, SLA_V = 30dB$

$$A_{E,H}(\varphi'') = -\min \left\{ 12 \left(\frac{\varphi''}{\varphi_{3dB}} \right)^2, A_m \right\} \quad (3)$$

$\varphi_{3dB} = 65^\circ, A_m = 30dB$

$$A''(\theta'', \varphi'') = -\min \{ - [A_{E,V}(\theta'') + A_{E,H}(\varphi'')], A_m \} \quad (4)$$

여기서 A는 안테나 이득을 뜻하며 밀의 첨자인 E는 Element로 안테나 각각의 요소 중 하나를 뜻하며

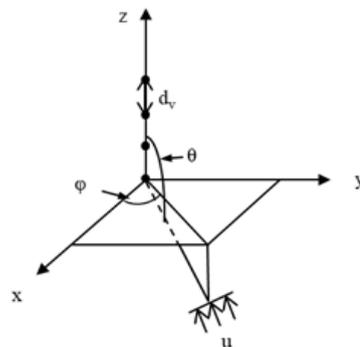


그림 7. 좌표평면 상에서의 안테나 배열^[13]
Fig. 7. Antenna Array Geometry in Cartesian coordinate system

V와 H는 수직(Vertical)과 수평(Horizontal)을 나타낸다. 또한 θ_{3dB} 와 φ_{3dB} 는 하나의 기준으로 3dB에서의 안테나 이득을 계산할 때 수직과 수평의 신호에 대한 각도이다. 마지막으로 SLA_V 은 Shifted Layer Antenna로 수직 성분의 안테나 요소 이득의 최소값이고 A_m 은 수평 성분의 안테나 요소 이득의 최소값을 나타낸다.

이를 통해 계산되는 최대 안테나 이득은 Urban macro layout과 Dense Urban layout, Traffic Only layout은 8dBi이고, Indoor layout과 사용자 단말기에서의 최대 안테나 이득은 5dBi로 나타난다.^[11]

(4) Transmit Power Control/Received power 모델

Transmit power control은 기지국 통화용량의 극대화 and 단말기 배터리 수명시간 연장, cell 내 모든 무선 노드에 균등한 통신품질을 유지하기 위한 목적으로 사용한다. mmWAVE 기반 5G 시스템에서 transmit power control은 Downlink가 아닌 Uplink에서만 이루어지며 다음과 같은 수식으로 제어된다.

$$P_t = P_{max} \times \min \left[1, \max \left[R_{min}, \left(\frac{CL}{CL_{x-ile}} \right)^\gamma \right] \right] \quad (5)$$

$$CL_{x-ile} = 88 + 10 \log_{10} \left(\frac{200}{x} \right)$$

$x = \text{Uplink's Bandwidth of transmit(MHz)}, \gamma = 1$

Received power model은 송수신기의 전력과 안테나 이득, Path loss를 모두 고려한다. Received power는 Transmit power에서 Path loss를 뺀 후 송수신기의 안테나 이득을 더한 값이다.^[12]

$$RX_PWR = TX_PWR - Pathloss + G_{TX} + G_{RX} \quad (6)$$

(5) ACLR & ACS

Adjacent Channel Leakage Ratio(ACLR)은 무선 통신에서 불요방사의 량을 측정하기 위한 것으로 transmit power가 얼마나 다른 주파수 영역에 영향을 주지 않느냐에 대한 능력을 말한다. Adjacent Channel Selectivity(ACS)는 인접 채널에서 원하는 주파수 대역만 정확하게 골라낸다는 의미로 원하는 신호의 received power가 얼마나 받아들일 수 있느냐에 대한 능력을 말한다. 이 두 가지의 측정량을 가지고 최적의 Adjacent Channel interference Ratio(ACIR)를 얻는

것이 중요하다. ACIR은 ACLR와 ACS를 조화평균한 값으로 계산된다.

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}} \quad (7)$$

(6) Link level performance

개별 무선링크의 throughput은 Shannon capacity에 의해 근사될 수 있다. 다음과 같은 방정식은 링크 적응을 이용할 때 주어진 Signal-to-Interference & Noise Ratio(SINR)를 갖는 채널을 통한 throughput을 근사화한 모델이다. 여기서 S는 Shannon capacity를 뜻하고, α 는 감쇠계수를 의미한다.

$$Throughput(SINR), \text{bps/Hz} = \begin{cases} 0 & \text{for } SINR \\ \alpha \cdot S(SINR) & \text{for } SINR_{min} \leq SINR \leq SINR_{MAX} \\ \alpha \cdot S(SINR_{MAX}) & \text{for } SINR \geq SINR_{MAX} \end{cases} \quad (8)$$

매개변수 α , $SINR_{MIN}$ 그리고 $SINR_{MAX}$ 는 다른 모델 환경을 구현할 때 및 연결 조건을 나타내기 위해 선택할 수 있다. 이 제한된 변수들은 표 2에서 기준선을 나타내며 다음 네 가지 상황을 가정한다. 기본적으로 안테나가 1:1로 구성되어야 하고 Additive White Gaussian Noise(AWGN) 채널 모델을 따르며 링크 적응(Link Adaptation)을 가져야한다. 링크 적응의 경우 표 2의 Notes에서 가장 높은 비율과 가장 낮은 비율 코드의 상세를 표현한다. 그리고 Hybrid Automatic Repeat and request(HARQ)가 없어야 한다. 아래 표 2는 이 가정들을 적용한 Downlink와 Uplink에서의 변수 값을 표현한다.

표 2. 5G 시스템에서의 Link level 성능 기준 매개변수 Table 2. Parameters describing baseline Link level performance for 5G System

Parameter	DL	UL	Notes
α , attenuation	0.6	0.4	Represents implementation losses
$SINR_{MIN}$,dB	-10	-10	Based on QPSK, 1/8 rate(DL) & 1/5 rate(UL)
$SINR_{MAX}$,dB	30	22	Based on 256QAM 0.93 rate(DL) & 64QAM 0.93 rate(UL)

III. 컴퓨터 모의실험

본 장에서는 mmWAVE 기반 5G 시스템에서 인접 대역시스템 간 간섭 영향을 컴퓨터 시뮬레이션을 통

해 비교 분석하였다. 본 연구에서는 MATLAB의 R2017a를 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. Network layout은 Urban Macro Layout, Dense Urban Layout, Indoor Layout, Hot-Spot Layout 총 4가지로 구성하였다. 공격자 시스템과 희생자 시스템 모두 동일한 layout을 따른다고 가정한다. 한 기지국은 3개의 사용자 단말기를 서비스한다.

Urban Macro Layout는 그림 8과 같이 기존 below-5G 시스템에서와 유사하게 1-site 3-sector 구조에 19 sites로 구성된다. 1개의 sector의 inter-site distance는 200m로 설정한다. 기지국 안테나 높이는 25m, 사용자 단말기 안테나 높이는 1.5m로 설정한다.

Dense Urban Layout은 그림 9와 같이 Urban Macro Layout의 셀 배치에서 하나의 sector당 3개의

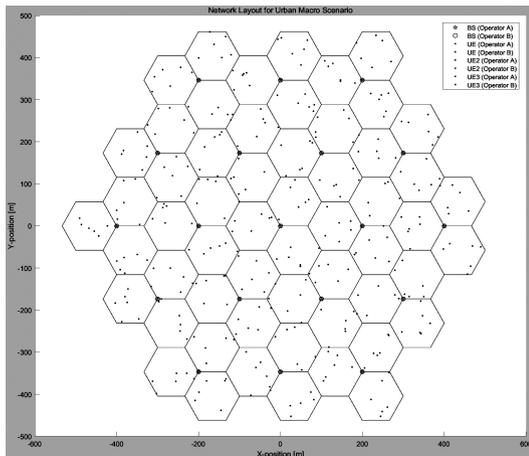


그림 8. Urban Macro Layout
Fig. 8. Urban Macro Layout

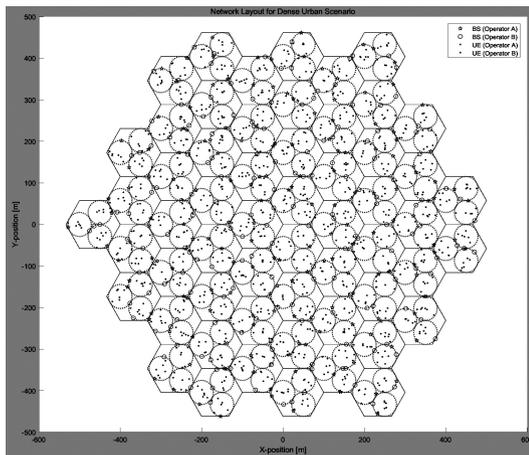


그림 9. Dense Urban Layout
Fig. 9. Dense Urban Layout

cluster를 가지는 구조이다. 1개의 cluster는 반드시 1개의 micro-기지국을 가진다. micro-기지국은 원형 cluster의 테두리 상에 무작위로 선정된 위치에 구축되며 각 기지국끼리는 최소 10m의 이격거리를 둔다. 기지국 안테나의 높이는 10m, 사용자 단말기 안테나의 높이는 1.5m로 설정한다.

Indoor Layout은 그림 10과 같이 [0m, 0m, 120m, 50m]의 직사각형 실내구조 안에 12개의 기지국 안테나가 일정한 간격으로 설치되어 있는 구조이다. 기지국 간의 이격거리는 20m로 설정하였고, 기지국 안테나 높이는 안테나가 설치되는 실내 천정높이를 고려한 3m, 사용자 단말기 안테나 높이는 1m로 설정한다.

Hot-Spot Layout은 그림 11과 같이 1,000m * 1,000m의 구조에 Cluster가 Dense Urban의 개수만큼 무작위로 생성되어 있는 구조이다. 안테나 높이는 Dense Urban Layout와 동일하다.

시뮬레이션에서는 동일대역에 연속되어 할당된 3개의 무선이동통신 시스템을 가정한다. mmWAVE 대역인 28GHz 밴드 대역에서 대역폭을 400MHz씩

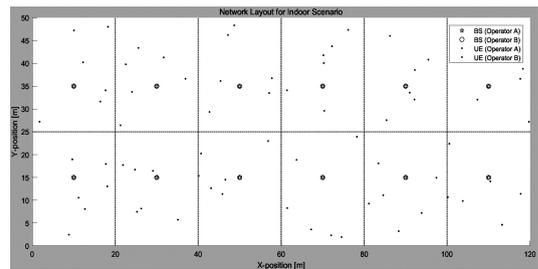


그림 10. Indoor Layout
Fig. 10. Indoor Layout

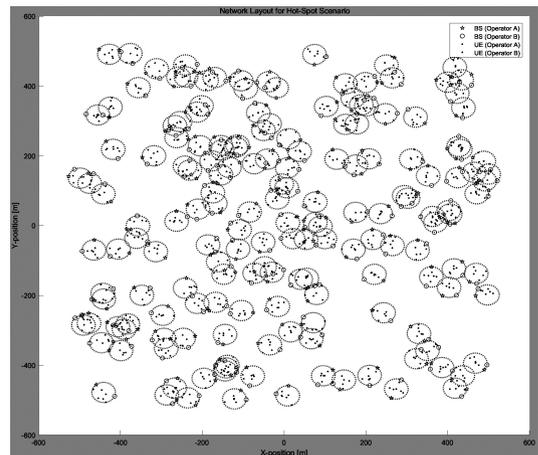


그림 11. Hot-Spot Layout
Fig. 11. Hot-Spot Layout

사용하여 27.5GHz부터 28.7GHz까지 배치한다. 총 8개의 인접시스템 간 간섭 시나리오를 고려한다. 이중 하향링크 4개의 시나리오 상향링크 4개의 시나리오로 구성한다. 사용자 단말기는 하향링크에서는 각 cell당 1개씩, 상향링크에서는 각 cell당 3개씩 생성하고 Indoor Layout의 경우 20m * 25m의 직사각형 공간을 하나의 cell로 고려한다.

그림 12, 14, 16, 18은 각 Downlink 간섭 시나리오에 대한 throughput loss를 계산한 결과를, 그림 13, 15, 17, 19는 Uplink 간섭 시나리오에 대한 결과를 그래프로 보여준다. 최대 허용 throughput loss인 5%를 강조하기 위해 직선인 보조선으로 표시하였다. 이를 통해 성능하락 허용치 5%를 만족하는 시스템 간 이격을 ACIR 측면에서 분석할 수 있다.

그림 12과 그림 13에서는 Urban Macro Layout의 결과를 보여주는데 기존 below-5G에서 분석되었던

요구 ACIR값과 크게 상이하지 않은 결과가 나오는 것을 확인하였다. 그림 14와 그림 15의 경우 mmWAVE기반 5G 시스템에서 강조하는 Dense Urban Layout의 결과이다. Outdoor 환경에서 사용자들의 데이터 수요량이 크게 증가하여 cell population이 높아진 상황이지만 결과적으로는 Urban Macro Layout에 확인하였던 macro-기지국들의 결과와 비슷한 양상을 보인다. 전체적으로 outdoor 환경의 경우에는 새로운 mmWAVE 기반 5G 시스템 방법론을 도입한 경우에도 현 시스템 환경의 결과와 크게 다르지 않음을 확인하였고, 인접시스템 간 공존문제에는 below-5G 시스템 환경에서 기술적 방법론이 유효한 것으로 예측된다.

그림 16과 그림 17은 셀룰라 통신시스템에서 크게 기준에 고려되지 않았던 Indoor Layout의 결과이다. Downlink 간섭 시나리오의 경우 outdoor 환경에서의

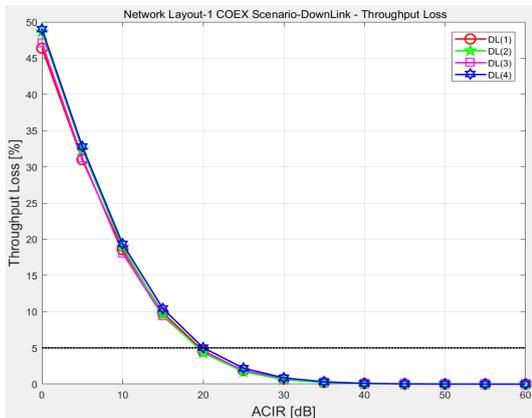


그림 12. Urban Macro Layout의 하향링크 간섭 결과 그래프
Fig. 12. DL ACIR performance in Urban Macro layout

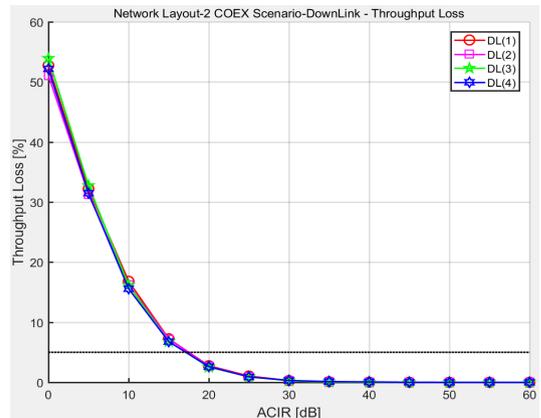


그림 14. Dense Urban Layout의 하향링크 간섭 결과 그래프
Fig. 14. DL ACIR performance in Dense Urban layout

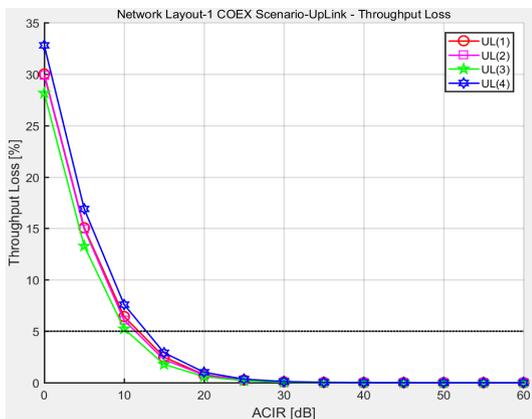


그림 13. Urban Macro Layout의 상향링크 간섭 결과 그래프
Fig. 13. UL ACIR performance in Urban Macro layout

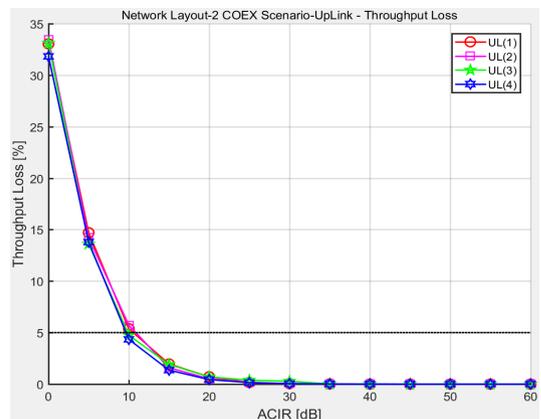


그림 15. Dense Urban Layout의 상향링크 간섭 결과 그래프
Fig. 15. UL ACIR performance in Dense Urban layout

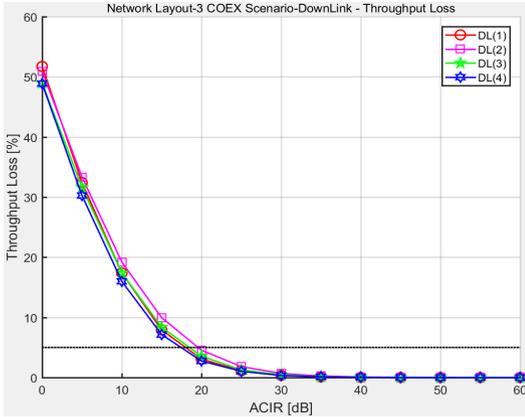


그림 16. Indoor Layout의 하향링크 간섭 결과 그래프
Fig. 16. DL ACIR performance in Indoor Layout

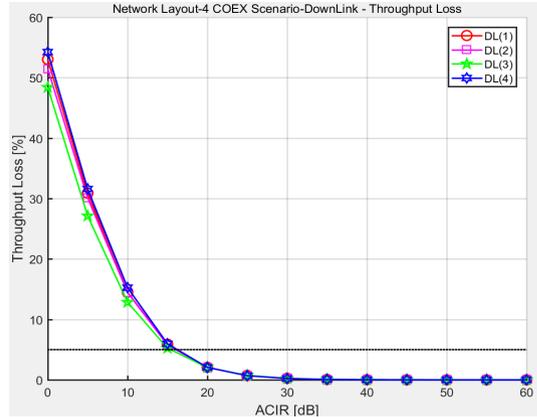


그림 18. Hot-Spot Layout의 하향링크 간섭 결과 그래프
Fig. 18. DL ACIR performance in Hot-Spot Layout

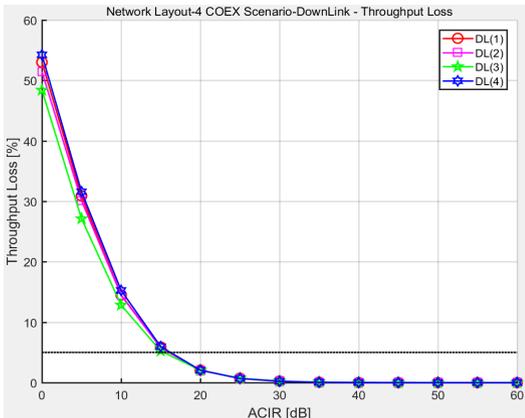


그림 17. Indoor Layout의 상향링크 간섭 결과 그래프
Fig. 17. UL ACIR performance in Indoor Layout

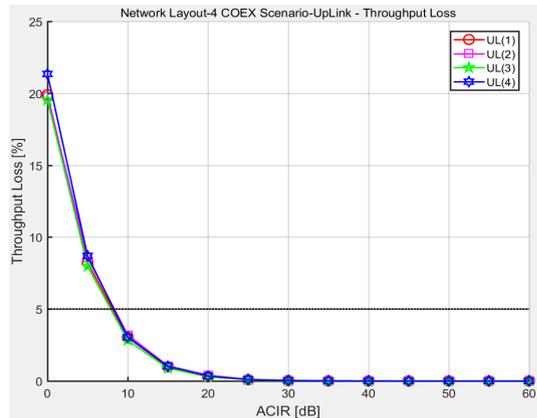


그림 19. Hot-Spot Layout의 상향링크 간섭 결과 그래프
Fig. 19. UL ACIR performance in Hot-Spot Layout

결과와 비슷한 양상을 보였다. Uplink 간섭 시나리오의 경우 outdoor 환경과 비교해서 인접시스템 간 간섭에 의한 성능 감소가 비교적 큰 것으로 나타났다. 이는 실내의 경우 셀 크기가 매우 작아서 beam-forming을 적절히 수행해도 인접 기지국에 누설간섭이 크기 때문에 분석된다. 실내의 환경의 경우 보다 더 효과적인 상향링크 power control을 적용하면 이러한 문제를 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

Hot-Spot Layout은 outdoor 환경을 고려하나 다른 layout과는 다르게 Micro-cell들이 무작위로 배치한다. 이는 커버리지를 고려하지 않고, 완전히 사용자 traffic을 기반으로 하는 기지국 구축방식으로 기존 4G 네트워크에 overlay 형태로 구축하는 형태이다. 그림 19에서 uplink 간섭에서 전체적으로 throughput loss 값이 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 셀 간 간격이 무작위적이어서 평균적으로 유효한 간섭원 수가 줄어들었기

때문이다. 하지만 통계적으로 5% throughput loss를 달성하는 데 필요한 시스템 간 이격은 ACIR 측면에서 비슷한 값으로 도출되었다. 이를 통해 사용자 traffic만을 고려한 overlay 형태의 셀 구조에서도 시스템 간 공존은 큰 문제가 없다고 판단할 수 있다.

한편 mmWAVE 대역 시스템에서의 시스템간 공존성 측면이 기존 저대역 시스템과 상이하지 비교해 보도록 한다. 비교를 위해 Below-5G 대역인 2.1GHz 대역에서 Urban Macro Layout과 Dense Urban Layout에서의 Downlink와 Uplink 간섭 시나리오에 대해서도 시뮬레이션을 수행하였다. 시스템의 대역폭을 10MHz와 20MHz로 지정하고 1.9GHz부터 2.2GHz까지의 대역에 공존하는 Frequency Division Duplex(FDD) 시스템을 가정하였다.^[12] 그림 20은 Urban Maco Layout에서의 Downlink, 그림 21은 Uplink에서의 간섭 시나리오 분석 결과이고 그림 22

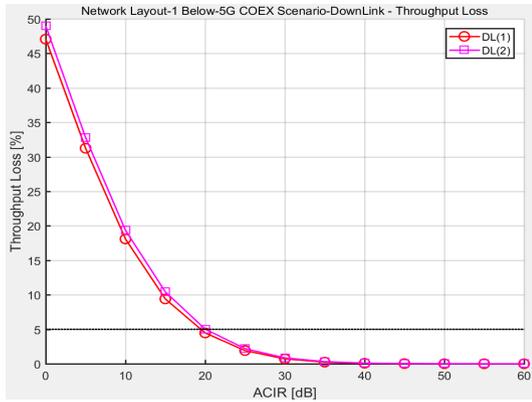


그림 20. Below-5G 환경에서의 Urban Macro Layout의 하향링크 간섭 결과
Fig. 20. Below-5G DL ACIR performance in Urban Macro Layout

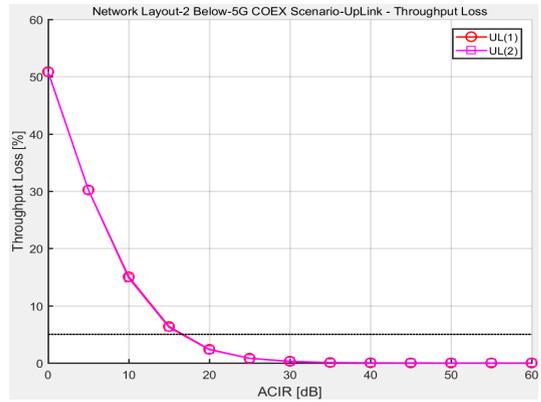


그림 23. Below-5G 환경에서의 Dense Urban Layout 상향링크 간섭 결과
Fig. 23. Below-5G UL ACIR performance in Dense Urban Layout

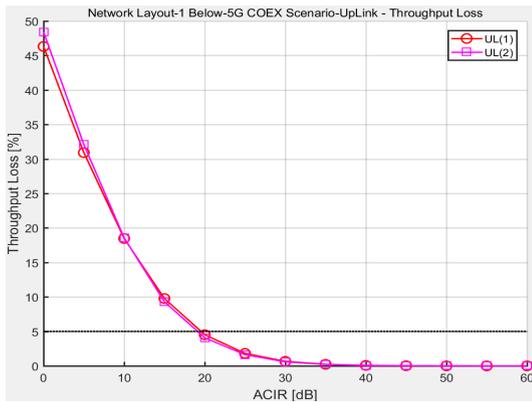


그림 21. Below-5G 환경에서의 Urban Macro Layout 상향링크 간섭 결과
Fig. 21. Below-5G UL ACIR performance in Urban Macro Layout

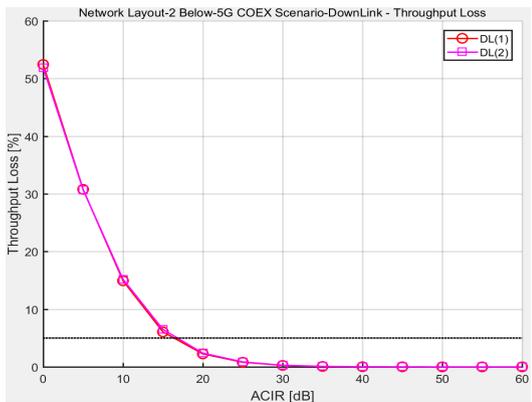


그림 22. Below-5G 환경에서의 Dense Urban Layout의 하향링크 간섭 결과
Fig. 22. Below-5G DL ACIR performance in Dense Urban Layout

는 Dense Urban Layout에서의 Downlink, 그림 23은 Uplink에서의 간섭 시나리오 분석 결과이다. 그래프의 ACIR에 따른 성능열화의 형태는 mmWAVE 대역의 시스템에서와 유사하며 5% 이격에 대한 ACIR의 값을 표 3과 표 4를 통해 비교할 시 거의 비슷한 값을

표 3. 간섭 시나리오 별 5% Throughput loss point[dB]
Table 3. 5% Throughput loss point for interference scenarios [dB]

No.	Urban Macro	Dense Urban	Indoor	Hot-Spot
(1)	19.6	17.5	18.0	16.2
(2)	19.3	17.4	19.6	16.0
(3)	19.5	17.1	18.5	15.4
(4)	20.0	17.1	17.4	16.2
(5)	11.8	10.5	10.6	8.1
(6)	11.4	10.9	9.8	8.3
(7)	10.3	9.9	10.6	7.9
(8)	12.8	9.7	11.9	8.3

표 4. Below-5G에서의 간섭 시나리오의 5% Throughput loss point [dB]
Table 4. 5% Throughput loss point for interference scenarios in Below-5G [dB]

Victim [GHz]	Aggressor [GHz]	Direction	Urban Macro	Dense Urban
2.13 ~ 2.14	2.14 ~ 2.16	DL to DL	19.5	16.4
2.14 ~ 2.16	2.13 ~ 2.14	DL to DL	20.0	16.8
1.94 ~ 1.95	1.95 ~ 1.97	UL to UL	19.5	16.7
1.95 ~ 1.97	1.94 ~ 1.95	UL to UL	19.1	16.6

나타낸다. 이를 통해 Below-5G 대역의 시스템에서의 공존성에 대한 분석 결과와 mmWAVE 대역 시스템에서의 공존성에 대한 분석 결과가 큰 차이가 없다고 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 mmWAVE기반의 5G 무선시스템의 인접시스템 간 간섭을 분석하였다. mmWAVE에서의 새로운 전파환경을 모델링하고 5G 무선시스템을 구축하는 4가지 네트워크 레이아웃과 주파수 배치에 따른 8가지 인접시스템 간 간섭 시나리오를 통한 전파 간섭을 분석하고 5% throughput loss 측면에서 필요한 최소 ACIR 값을 찾아내었다. 결과 도출에 따르면, 각 레이아웃에 대한 시나리오 별 5% throughput loss는 Downlink 간섭 평균 16.8 dB이며 Uplink 간섭 평균 10.2 dB로 나타났다. 전통적인 Urban Macro Layout의 경우는 기존 below-5G 시스템과 공존성 측면에서 크게 다르지 않은 결과를 보여주며, mmWAVE대역의 특성을 고려한 Dense Urban Layout의 경우 cell population의 증가하였으나 평균적으로 5% throughput loss 측면에서 요구되는 ACIR 값은 Urban Macro Layout과 유사함을 확인하였다. 한편, Hot-spot과 같이 사용자의 트래픽 분포만을 고려한 Layout은 cell들의 배열이 균일하지 않아 셀마다 요구되는 최소 이격 값은 일정하지 않다. 하지만, 통계적인 5% throughput loss 측면에서는 다른 outdoor 환경에서의 분석 값과는 크게 다르지 않았다. 종합적으로 새로운 mmWAVE 기반의 5G 무선시스템에서도 다양한 간섭제어 기술들의 활용을 고려할 때 인접시스템 간 공존이 가능함을 확인할 수 있다.

본 연구를 통해 기존 below-5G에서 사용하였던 분석방법론을 확장하여 새로운 5G 무선시스템에 적용해 보았다. 그 과정을 통해 본 연구결과를 5G 시스템을 상용화하기 위한 기본 참고 자료로 활용할 수 있도록 하였다. 또한 인접시스템 간 간섭분석 결과를 활용하여, mmWAVE 신규 주파수 배분에 대한 전략 수립하기에도 참고할 수 있다. 본 연구에서는 적용 모델의 다양성으로 인하여 건물 밖으로부터 내부로 들어오는 간섭 혹은 그 반대의 경우를 가정하는 O-to-I penetration에 대한 간섭 효과는 반영하지 않았다. 이는 명확한 모델 수립 후에 확장된 연구로 진행할 예정이다. 또한, 훨씬 더 높은 70~80GHz의 초고주파 대역에서도 시스템의 공존 연구를 확장할 계획이다.

References

- [1] N. Kim, J. Huh, Y. Kim, J. Choi, J. Choi, Y. Kim, W. Na, L. Park, and S. Cho, "The need for 5G in the Age of Fourth Industrial Revolution and a Standardization Trends about 5G Mobile Communication," in *Proc. KICS ICC 2017*, pp. 739-740, Jeju Island, Korea, Jun. 2017.
- [2] H. Lee, C. Oh, D. Kim, H. Lee, and H. Jang, "The status and perspective of 5G standardization," in *Proc. KICS ICC 2016*, pp. 618-619, Jeju Island, Korea, Jun. 2016.
- [3] H. R. You, "5G standardization trend of ITU-R WP5D," *The Proc. Korea Electromagnetic Eng. Soc.*, vol. 27, No. 5 pp. 30-37, Sept. 2016.
- [4] Y. Kang, "A study on the effective usage of mmWave bands for 5G backhaul links," *The J. KIEES*, vol. 27, no. 9, pp. 783-790, Sept. 2016.
- [5] B. Yin, Y. Chen, Z. Zhang, M. Wang, and S. Sun, "Beam discovery signal-based beam selection in millimeter wave heterogeneous networks," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 16314-16323, Mar. 2018.
- [6] W.-J. Jo, C.-Y. Oh, and T.-J. Lee, "Uplink capacity improvement by cooperative communications and radio resource partitioning of macro-users and femto-users for HetNets," *J. KISS: Inf. Netw.*, vol. 40, no. 3, pp. 139-146, Jun. 2013.
- [7] S. K. Ham and M. S. Jin, "Power control and resource allocation for femtocell and macrocell in a HetNet scenario," in *Proc. KICS ICC 2011*, pp. 781-782, Korea, Jun. 2011.
- [8] W. Kim, J. S. Bae, and S.-J. Lee, "Gain degradation effect due to beam misalignment on mmWave beamforming for 5G cellular communication," in *Proc. ICTC 2015*, pp. 1252-1256, Jeju, Korea, Oct. 2015.
- [9] 3GPP TR37.842, *Technical specification group radio access network; Radio Frequency(RF) requirement background for Active Antenna*

System(AAS) Base Station(BS), Third-Generation Partnership Project, Sophia Antipolis Cedex, France, 2017.

- [10] T. Kim, J. Park, J.-Y. Seol, S. Jeong, J. Cho, and W. Roh, "Tens of Gbps support with mmWave beamforming systems for next generation communications," in *Proc. IEEE GLOBECOM 2013*, Atlanta, USA, Dec. 2013.
- [11] 3GPP TR38.803, *Technical specification group radio access network; Study on New Radio Acces Technology; RF and co-existence aspects*, Third-Generation Partnership Project, Sophia Antipolis Cedex, France, 2017.
- [12] 3GPP TR36.942, *Technical specification group radio access network; Radio Frequency(RF) system scenarios*, Third-Generation Partnership Project, Sophia Antipolis Cedex, France, 2014.
- [13] 3GPP TR36.873, *Technical specification group radio access network; Study on 3D channel model for LTE*, Third-Generation Partnership Project, Sophia Antipolis Cedex, France, 2017.

성 현 준 (Hyeon-Jun Sung)



2014년 3월~현재 : 서울과학기술대학교 컴퓨터공학과 학사
 <관심분야> mmWAVE, 센서 네트워크, 5G system

신 오 순 (Oh-Soon Shin)



1998년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업
 2000년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
 2004년 2월 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 박사
 2004년 3월~2005년 9월 : 미국

Harvard University 박사후연구원
 2006년 4월~2007년 8월 : 삼성전자 통신연구소 책임연구원
 2007년 9월~현재 : 숭실대학교 전자정보공학부 교수
 <관심분야> 통신시스템, 통신이론, 통신신호처리

박 철 수 (Cheolsoo Park)



2004년 2월 : 서강대학교 전자공학사
 2006년 8월 : 서울대학교 협동과정 의용생체공학과정 석사
 2012년 2월 : 임페리얼 칼리지 런던 전자공학박사
 2012년 1월~2014년 2월 :

University of California, San Diego 포스닥 연구원
 2014년 3월~현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 조교수
 <관심분야> 머신러닝, 신호처리, 바이오메디컬

정 영 준 (Chong Young Jun)



1992년 2월 : 제주대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 2005년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
 1994년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원, PL

2006년 2월~2008년 2월 : RF모듈설계팀 팀장
 2012년 3월~2014년 2월 : 스펙트럼공학연구실 실장
 2016년 3월~2016년 12월 : 스펙트럼공학연구실 실장
 <관심분야> RF Circuit and System, Radio Interference, Mobile Communication, Interference Modeling

손 일 수 (Illsoo Sohn)



2003년 2월 : 서울대학교 전기
공학사

2005년 2월 : 서울대학교 전기
컴퓨터공학부 공학석사

2009년 8월 : 서울대학교 전기
컴퓨터공학부 공학박사

2009년 9월~2010년 9월 : The
University of Texas at Austin postdoc 연구원

2010년 11월~2012년 7월 : LG전자 선임연구원

2012년 8월~2013년 8월 : KT 매니저

2013년 9월~2017년 2월 : 가천대학교 전자공학과 조
교수

2017년 2월~현재 : 서울과학기술대학교 컴퓨터공학
과 조교수

<관심분야> 무선통신시스템, 분산네트워크 최적화