

3GPP FR3 표준화 동향 및 Large-Scale 시뮬레이터 구현

이종서, 장선호, 손해수, 정민재*
세종대학교 정보통신공학과, 세종대학교 지능정보융합학과*

{jslee, wjkwon19, naecoeth}@sju.ac.kr, mcjung@sejong.ac.kr

3GPP FR3 Standardization Trends and Large-Scale Simulator Development

Jongseo Lee, Seonho Jang, Haesoo Son, and Minchae Jung*

Department of Information and Communications Engineering, Sejong University
Department of Artificial Intelligence and Information Technology, Sejong University*

요약

3rd Generation Partnership Project release 19 표준화 회의에서 frequency range 3 (FR3) 채널 모델링 표준화에 대한 논의가 진행되었다. 본 논문에서는 FR3의 채널 모델링 표준화 동향에 대해 확인하였으며, 3GPP 표준화 동향을 바탕으로 sub-urban macro large-scale 시뮬레이터를 구현하였다. 구현된 시뮬레이션의 결과와 표준화 회의에 참여한 기업들의 시뮬레이션 결과 비교를 통해, 구현된 시뮬레이터가 표준에서 논의된 FR3 채널 모델을 충실히 반영하고, 성능 검증을 위한 도구로서 유효함을 보여준다.

I. 서 론

3rd Generation Partnership Project (3GPP)는 2024년 release 19를 기점으로 6G 시대를 대비한 무선 접속 기술 기반을 본격적으로 마련하고 있다. 특히 차세대 이동 통신은 주파수 자원의 확장과 더불어 다양한 환경에서의 전파 특성을 정밀하게 반영할 수 있는 채널 모델이 필수적이다. 7-24 GHz 대역의 주파수로 정의되는 frequency range 3 (FR3)는 기존 FR1의 넓은 커버리지와 FR2의 높은 전송 용량을 동시에 제공할 수 있는 대역으로 주목받고 있다[1]. 그러나 기존 6 GHz 이하 대역에서 사용되던 채널 모델의 단순 확장만으로는 전파 특성을 반영하지 못하는 한계가 있어, 주파수 상승에 따른 전파 특성을 반영한 새로운 FR3 채널 모델 정립이 요구된다[2]. 이러한 요구를 반영하여 3GPP release 19 회의를 통해 7-24 GHz 대역 채널 모델링 연구가 승인되어 표준화가 진행되었다[3]. 본 논문에서는 FR3 채널 모델링 표준화 동향을 바탕으로 채널 모델을 정리하고, large-scale 시뮬레이터를 구현했다.

II. 현황

3GPP release 19에서 논의 중인 FR3 채널 모델에는 새로운 시나리오로서 sub-urban macro (SMa) 환경이 포함된다. SMa 환경은 기지국이 광역 커버리지를 확보하기 위해 주변 환경보다 높은 곳에 위치하며, 이동 단말기가 실외 지면이나 상업용 및 주거용 건물 내부에 존재하는 환경으로 정의된다. 해당 환경은 건물이 1-2 층 높이의 저층 주거용 건물이거나, 아파트, 콘도 단지 또는 상업용 건물로 이루어져 있으며, 공원이나 놀이터와 같은 개활지가 산재해 전반적으로 개방된 구조를 갖는다. 또한 SMa

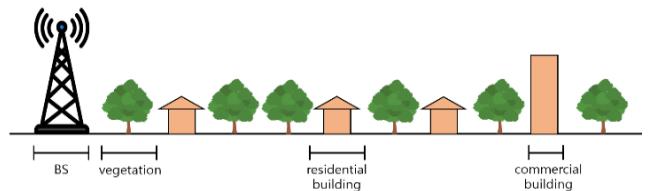


그림 1. SMa 시나리오 환경

시나리오는 기존 시나리오들과 달리 식생(vegetation)이 존재하는 환경이므로, SMa 시나리오 기반 채널 형성 시 식생에 대해 추가적으로 고려한다[4].

III. 시뮬레이션 및 결과

3GPP TR 38.901에 따르면 각 시나리오 환경에 대하여 large-scale calibration과 full-scale calibration이 존재한다. 본 논문에서는 SMa 시나리오 환경에 대한 large-scale 시뮬레이션을 진행했으며, 이 때 full-scale 시뮬레이션과 달리 large-scale 시뮬레이션에서는 식생을 고려하지 않는다. SMa 시나리오 환경은 19개의 셀로 구성되며, 각각의 셀을 3개의 섹터로 나누어 구현한다. 셀 내 모든 user terminal (UT)은 기지국으로부터 35m의 최소거리를 유지하며 균등하게 분포되고, 시뮬레이션 시 geometry 기반 wrapping 방법을 사용한다. 전체 UT 중 20%는 실외, 80%는 실내에 위치하며 실내 UT 중 90%는 주거용 건물, 10%는 상업용 건물에 위치하는 상황을 가정한다. 실외에서 UT의 높이는 1.5m로 설정하고, 주거용 건물에서는 1.5m와 4.5m 그리고 상업용 건물에서는 1.5, 4.5, ..., 13.5m로 UT의 높이를 설정하여 UT와 기지국과의 거리를 계산한다. 시뮬레이션에서는 7 GHz 반송파와 20 MHz의 대역폭을 사용했고

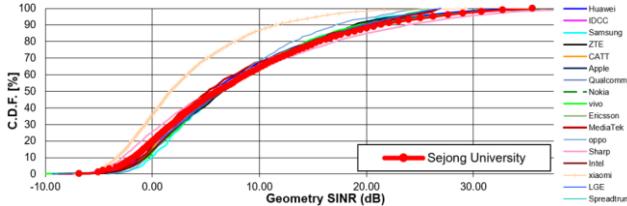


그림 2. 기지국 간 거리가 1,299 m인 SMA 환경에서 geometry SINR에 대한 CDF

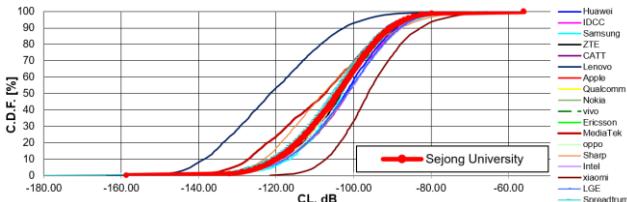


그림 3. 기지국 간 거리가 1,299 m인 SMA 환경에서 결합 손실에 대한 CDF

기지국 송신 전력은 49 dBm, 기지국 간 거리는 1,299 m 와 1,732 m로 설정하였다.

SMA large-scale 시뮬레이션 측정 지표로써 geometry signal-to-interference-plus-noise-ratio (SINR)와 결합 손실을 고려하였다. 이 때 geometry SINR은 기지국과 UT의 상대적 위치에 따라 구하며, 결합 손실은 경로 손실과 새도우 페이딩, 실외-실내 투과 손실을 통해 구한다. 실외-실내 투과 손실은 저손실 모델과 고손실 모델의 50%씩 적용했던 기준의 다른 시나리오 환경들과 달리 저손실 A 모델을 사용하여 구현한다. 저손실 A 모델은 다음과 같다.

$$PL_{tw} = 5 - 10 \log_{10} \left(0.3 \cdot 10^{\frac{-L_{glass}}{10}} + 0.7 \cdot 10^{\frac{-L_{plywood}}{10}} \right). \quad (1)$$

식 (1)에서 $L_{glass} = 2 + 0.2f$, $L_{plywood} = 1.03 + 0.17f$ 로 각각 유리와 나무 합판의 투과 손실을 의미하며, f 는 반송파를 의미한다[5].

3GPP release 19에서 논의된 FR3 채널 모델링 표준화 사항에 따라 large-scale 시뮬레이터를 구현하였고, 시뮬레이션 결과를 도출하였다. 그림 2와 그림 3은 각각 기지국 간 거리가 1,299 m일 때 SMA 시나리오 환경에서 geometry SINR과 결합 손실에 대한 cumulative distribution function (CDF) 그래프를 나타내며, 또한 그림 4와 그림 5는 각각 기지국 간 거리가 1,732 m일 때 SMA 시나리오 환경에서의 geometry SINR, 결합 손실에 대한 CDF 결과를 보여준다. 그림 2, 3, 4, 5는 시뮬레이션 결과가 표준화 회의에 참여한 기업들의 시뮬레이션 결과와 유사함을 보여주며, 기업들의 결과 범위 내에 존재함으로써 FR3 채널 모델링 표준화 사항을 충분히 반영하였음을 확인할 수 있다.[6].

IV. 결 론

본 논문에서는 3GPP FR3 채널 모델링 표준화에 기반하여 SMA 시나리오 환경에서의 large-scale 시뮬레이터를 구현하였다. 기지국과 UT의 상대적인 위치에 따라 달라지는 결합 손실과 geometry SINR에 대한 CDF

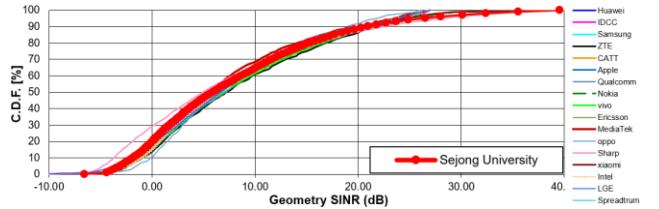


그림 4. 기지국 간 거리가 1,732 m인 SMA 환경에서 geometry SINR에 대한 CDF

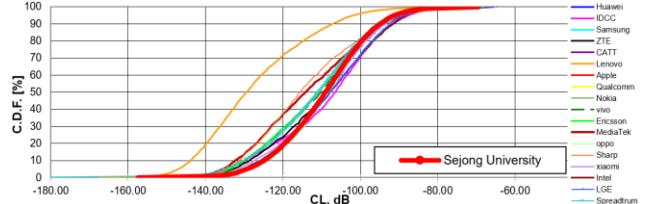


그림 5. 기지국 간 거리가 1,732 m인 SMA 환경에서 결합 손실에 대한 CDF

결과를 도출하여 각 기업에서 제시한 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 비교를 통해, 구현된 시뮬레이터가 FR3 채널 모델링 표준화 사항을 충분히 반영하고 있으며, 성능 검증을 위한 도구로서 유효함을 확인하였다. 이를 바탕으로 향후 FR3 대역 기반 무선 통신 시스템의 성능 검증을 위한 large-scale 시뮬레이터를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 지원으로 한국연구재단 (No. 2021R1C1C1012950)과 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. RS-2024-00359235, 3GPP 표준기반 저궤도 군집 위성통신 지상국 핵심기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] J. Zhang, H. Miao, P. Tang, L. Tian, G. Liu. "New mid-band for 6G: Several considerations from the channel propagation characteristics perspective," *IEEE Communications Magazine*. vol. 63, no. 1, pp. 175–180, Jan. 2025.
- [2] H. Poddar, D. Gold, D. Lee, et al. "Overview of 3GPP release 19 study on channel modeling enhancements to TR 38.901 for 6G," 2025, *arXiv:2507.19266*. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2507.19266>
- [3] Nokia, Nokia Shanghai Bell, "TD RP-234018: New SID: Study on channel modelling enhancements for 7–24GHz for NR," 3GPP TSG RAN meeting 102, 3GPP, Edinburgh, UK, Dec. 2023.
- [4] Ericsson, "R1-2502878: Discussion on validation of channel model," 3GPP TSG RAN WG1 meeting 120b, 3GPP, Wuhan, China, Apr. 2025.
- [5] *Technical Specification Group Radio Access Network; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz*, Standard, TR 38.901, V 19.0.0, 3rd Generation Partnership Project, Sep. 2025.
- [6] Interdigital, Inc., ZTE Corporation, "R1-2506406: Calibration Results for 7 – 24 GHz SI," 3GPP TSG RAN WG1 meeting 122, 3GPP, Bengaluru, India, Aug. 2025.