

RAN 시뮬레이터: NVIDIA 사의 음니버스 디지털 트윈 시뮬레이터를 중심으로

황성진, 양현종*

포항공과대학교, *서울대학교

sjh1753@postech.ac.kr, *hjyang@snu.ac.kr

RAN Simulator: Focusing on NVIDIA's Omniverse Digital Twin Simulator

Seongjin Hwang, Hyun Jong Yang*

POSTECH, *Seoul National Univ.

요약

본 논문은 NVIDIA의 음니버스 디지털 트윈 시뮬레이터의 활용 방법과 한계를 다룬다. 이 시뮬레이터는 3D 환경 생성, 안테나 배열, RU와 UE 배치, 레이트레이싱 및 이동성 모델 설정을 통해 가상 네트워크를 구성하고, 채널 용답, 스루풋, SINR, CRC 등의 성능 데이터를 수집·분석한다. 다만, 48GB 이상의 vram GPU(예: NVIDIA A100/H100)의 요구, SU-MIMO만 지원하는 등의 단점이 현재 존재하지만, 무선 네트워크 설계와 알고리즘 검증을 위한 핵심 도구로 부상하고 있다.

I. 서론

무선 액세스 네트워크(Radio Access Network) 분야에서는 오픈랜(Open-RAN) 환경의 복잡성을 효과적으로 모사하고 최적화하기 위해 디지털 트윈(Digital Twin) 기술이 중요한 접근법으로 부상하고 있다. 오픈랜 환경은 여러 공급업체와 다양한 서버를 연동해야 하므로, 구성상의 이질성과 확장성을 모두 고려하는 다중 벤더·다중 서버 구조가 필수적이다. 이를 위해 미국 노스이스턴 대학교(Northeastern University)에서는 소프트웨어 기반의 OpenRAN 실험 환경을 구축하여 연구에 활용하고 있다 [1-3].

Name	Year Built	RAN Configuration Features	Virtualized Radios	Ref.
Arena	November 2020	- USRP X310 x 8 - USRP N210 x 16	24 radios	[1]
Colosseum	December 2021	- NI ATCA 3671 FPGA modules x 4 - Virtex-7690T x 1 - FPGAs x 16 - USRP X310 x 128	128 radios	[2]
X5G	<u>May 2024</u>	Foxconn RPQN 4T4R x 2 (RU) Dell R750 x 1 (CN) Dell S5248F, Dell S5232F x 1 each (Network Infra.) Qulsar QG-2 x 1 (Clock) Gigabyte E251-U70 x 8 & Mellanox CX6-DX NICs (CU, DU) NVIDIA A100 GPU x 1 GPS.	Optimize digital twin indoor scenario on 24 RUs and 52 UE locations (Select 2 RU, 1UE)	[3]

표 1. 미국 노스이스턴 대학교에서 공유하는 오픈랜 에뮬레이터

표 1에 따르면, 해당 연구팀은 2020년부터 대규모 ORAN 환경을 구성하고, 승인된 연구 그룹에 에뮬레이션 서비스를 제공해 왔다. 그 중 작년 5월 X5G라는 디지털 트윈 프레임워크를 적용한 오픈랜 에뮬레이터를 공유하였다. 해당 에뮬레이터는 NVIDIA 사의 GPU를 탑재하여, 가상 환경에서의 PHY/MAC 데이터 생성, 채널 모델 학습 및 시뮬레이션, 등 폭넓은 연구·개발을 지원하고 있다. 이를 통해 복잡한 RAN 환경에서 예상되는 다

양한 문제를 가상 세계에서 사전에 검증함으로써, 실제 적용 시 발생할 위험과 비용을 줄일 수 있는 가능성이 열리고 있다.

이 가운데 작년 9월 NVIDIA 사는 무선 네트워크를 위한 AI-RAN(AI radio access network) 설계 및 시뮬레이션을 위해 Nvidia Aerial을 발표하였다. 그 중 Aerial Omniverse Digital Twin(AODT)은 5G RAN 시스템 시뮬레이션을 위한 플랫폼으로 주목을 받고 있다. AODT는 RAN의 물리(PHY) 및 매체 액세스 제어(MAC) 계층에 레이트레이싱 채널을 적용해 실제 환경에서의 성능을 벤치마킹하고, 합성 데이터를 생성하며, AI/ML 기반 무선 통신 알고리즘을 탐색할 수 있도록 지원한다. 또한 단일 기지국부터 도시 규모에 이르는 전체 통신 시스템을 물리적으로 모사하고, 사실적인 지형·물체 속성, 소프트웨어 정의 RAN, 사용자 장비 시뮬레이터 등을 통합함으로써, 연구자가 현장별 데이터를 활용해 기지국 알고리즘을 시뮬레이션·구현하고 실시간 모델 학습으로 전송 효율을 개선할 수 있도록 돋는다.

본 논문에서는 이러한 AODT 시뮬레이터의 기초 활용 방법과 한계점을 중점적으로 살펴보기로 한다.

II. 본론

AODT 시뮬레이션은 먼저 3D 환경과 장면(Scene)을 생성하여 가상 공간을 준비하고, 이어서 안테나 배열 모델, RU(Radio Unit) 배치, UE(User Equipment) 배치, EM 레이트레이싱 설정, 이동성(Mobility) 모델 등 세부 구성을 정의하는 순서로 진행된다. 이러한 설정을 토대로 AODT 시뮬레이션을 실행하면, 채널 특성이나 전송 품질과 같은 결과를 확보할 수 있으며, 이를 분석·시각화함으로써 네트워크 설계와 알고리즘 개선에 필요한 정보를 도출할 수 있다.

AODT의 시뮬레이션 실행 순서는 1. 환경 생성 2. 구체적 구성 정의 3. 시뮬레이션 실행 4. 결과 확보 5. 분석 및 시각화의 단계를 거친다.

첫째로 AODT를 시뮬레이션 하기 위한 3D 환경을 생성하는 방식을 언급하고자 한다. 본 논문에서 언급하는 방식은 세계지도 상에 공유된 건물 위치 정보를 기반으로 3D 모델을 추출하는 방법이다. 구체적으로 그림 2

와 같이, OpenStreetMap(OSM) 지도 상에서 공유된 세계 지도상에서 서울대학교 인근 공간을 지정하여 OSM 지리 좌표를 추출하였다. 해당 좌표를 Blender 3D Toolbox 상에서 Blender-OSM 서드 파티를 사용해, 그림 2의 왼쪽 사진과 같이 3D 공간을 나타내었다. 해당 파일을 USD 파일로 변환하여, AODT 시뮬레이션 상에서 나타낼 수 있다. 오른쪽 그림의 경우에는 AODT에서 제공하는 OSM 설정을 활용하여 나타낸 3D 공간이다.

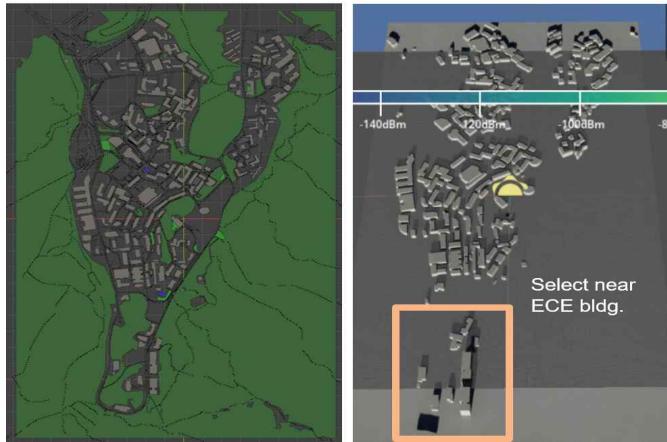


그림 2. Blender-OSM(왼쪽)과 Nvidia AODT(오른쪽)을 각각 사용하여 가져온 3D 지도

이후 서울대학교 전기정보공학부 인근 건물 확대하여 시뮬레이션을 위한 공간으로 설정하였다. 그림 3은 서울대학교 301동 맞은편 건물 옥상에 1개의 기지국을 설치하여, 랜덤하게 움직이는 10명의 유저를 배치한 상황이다.

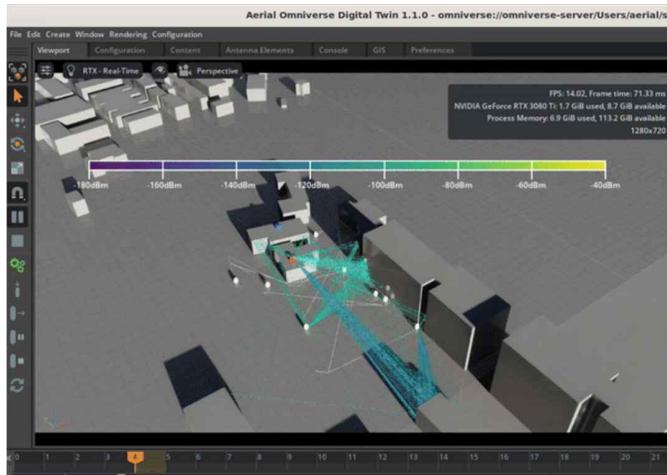


그림 3. 1개의 RU(빨간색)와 10개의 UE(흰색)를 포함한 레이트레이싱 예제 프레임 별로 레이트레이싱을 통하여, 유저와의 채널 주파수 및 임펄스 응답을 수행할 수 있다. 이후 해당 채널 정보를 기반으로 슬롯 별로 스케줄링된 사용자 단말(UE) 목록, 할당된 물리적 자원 블록(PRB)의 시작 인덱스 및 개수, 사용된 변조·코딩 스킴(MCS), 전송 레이어 수, HARQ 환경에서의 중복 베판(RV), 이퀄라이제이션 전후의 SINR, CRC 결과(0이면 성공적 해독), 그리고 사용자 처리율(throughput) 등이 기록되며, 이를 통해 실제 무선 전송 효율과 채널 상태를 분석할 수 있다.

AODT의 RAN 시뮬레이션은 레이 경로(Ray Path), UE 스루풋·변조 정보, MAC 스케줄러 세부사항 등을 수집·활용·하나, 최대 10,000개의 유저 모델과 48GB 이상의 vram GPU(예: NVIDIA A100/H100)의 요구, SU-MIMO만 지원한다는 점, 코어 네트워크 기능 미포함, 및 인터-주파

수 셀·핸드오버 미지원 등 하드웨어와 기능적 제약이 존재한다.

III. 결론

AODT는 무선 네트워크의 설계와 성능 검증을 위한 강력한 시뮬레이션 플랫폼으로, 3D 환경에서의 채널 모델링과 레이트레이싱 기반의 데이터 분석을 통해 다양한 RAN 시나리오를 모사할 수 있다. 이를 통해 PHY/MAC 계층의 성능을 정밀하게 평가하고, AI/ML 기반 무선 통신 알고리즘을 개발 및 최적화할 수 있는 도구로 자리 잡고 있다. 특히, 가상 환경에서의 시뮬레이션을 통해 실제 네트워크 구축 전 발생할 수 있는 문제를 사전에 예측하고 해결함으로써, 시간과 비용을 절감할 수 있는 잠재력을 제공한다.

그러나 언급한 AODT의 한계점들이 실질적인 대규모 네트워크 시뮬레이션에 제약으로 작용할 수 있다. 따라서 AODT의 기능적 확장과 더불어 효율적인 자원 관리 방안을 통해 이러한 한계를 극복하는 새로운 시뮬레이터의 필요성을 강조한다. 이러한 개선이 이루어진다면 AODT는 차세대 무선 네트워크 연구에 더욱 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획 평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00404972, 5G-A vRAN 연구플랫폼 개발)

참 고 문 헌

- [1] L. Bertizzolo, L. Bonati, E. Demirors, A. Al-shawabka, S. D’Oro, F. Restuccia, and T. Melodia, Tommaso, "Arena: A 64-antenna SDR-based Ceiling Grid Testing Platform for Sub-6 GHz 5G-and-Beyond Radio Spectrum Research," Computer Networks, vol. 181, pp. 1-17, November 2020.
- [2] L. Bonati, P. Johari, M. Polese, S. D’Oro, S. Mohanti, M. Tehrani-Moayyed, D. Villa, S. Shrivastava, C. Tassie, K. Yoder, A. Bagga, P. Patel, V. Petkov, M. Seltser, F. Restuccia, A. Gosain, K.R. Chowdhury, S. Basagni, and T. Melodia, "Colosseum: Large-Scale Wireless Experimentation Through Hardware-in-the-Loop Network Emulation," in Proceedings of IEEE DySPAN, Virtual Conference, December 2021.
- [3] D. Villa, I. Khan, F. Kaltenberger, N. Hedberg, R. Soares da Silva, A. Kelkar, C. Dick, S. Basagni, J. M. Jornet, T. Melodia, M. Polese, and D. Koutsonikolas, "An Open, Programmable, Multi-vendor 5G O-RAN Testbed with NVIDIA ARC and OpenAirInterface," in Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Next-generation Open and Programmable Radio Access Networks (NG-OPERA), Vancouver, BC, Canada, May 2024.