

5G NR NTN 기반 저궤도 위성통신 환경 분석을 위한 GUI 시뮬레이터

김민규¹, 이예철¹, 한태준¹, 노영채¹, 노석현¹, 김정창¹, 김판수², 이재영²
국립한국해양대학교¹, 한국전자통신연구원²

kimmingyu01@g.kmou.ac.kr, ddc5858@g.kmou.ac.kr, htj415@g.kmou.ac.kr,
dudco3050@g.kmou.ac.kr, badeko8065@g.kmou.ac.kr, jchkim@kmou.ac.kr,
pskim@etri.re.kr, jaeyl@etri.re.kr

A GUI-Based Simulator for Analyzing 5G NR NTN LEO Environments

Min-gyu Kim, Taejun Han, Yecheol Lee, Yeongchae Noh, Seokhyeon No and
Jeongchange Kim

National Korea Maritime and Ocean University (KMOU)

Pansoo Kim and Jae-young Lee

Satellite Comm. Research Division, Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문은 5G NR NTN(Non-Terrestrial Network) 기반 저궤도 위성통신 환경에서 발생하는 시변 도플러 천이와 시변 전파 지연을 실제 위성의 위치를 기반으로 생성하여 사용자에게 제공하고, 해당 시점의 저궤도 위성 실제 위치를 시각적으로 표시하기 위한 GUI 시뮬레이터를 설계한다. 또한 개발된 시뮬레이터는 시변 도플러 천이 및 전파 지연 환경에서 PRACH 검출 성능을 제공한다.

I. 서 론

차세대 통신 시대의 핵심으로 자리 잡은 6 세대 이동통신(6G)은 지상 기반 인프라를 넘어 위성을 포함한 확장된 네트워크 구성을 요구한다. 이러한 요구에 대응하기 위한 핵심 기술 중 하나로, 저궤도 (Low Earth Orbit, LEO)를 활용한 통신 기술이 주목받고 있다[1]. LEO 위성은 지속적으로 변화하는 위성의 위치와 고속 이동에 따라 시변 도플러 천이 및 전파 지연과 같은 복잡한 동기화 문제가 있다. 특히, 이러한 시변 특성은 사용자 단말(User Equipment, UE)의 물리계층 동기화 성능과 초기 접속 성공률에 직접적인 영향을 미친다. 그럼에도 불구하고, 이러한 시변 환경을 직관적으로 분석할 수 있는 도구는 아직 부족한 실정이다. 본 논문에서는 기존 연구에서 제안한 5G NR NTN 기반 LEO 위성 통신 환경에서의 상향링크 PRACH(Physical Random Access Channel) 검출 성능 분석 기법을 기반으로, 슬롯 단위의 전파 지연 및 도플러 천이, 그리고 PRACH 검출 성능을 직관적으로 시각화할 수 있는 Graphic User Interface(GUI) 시뮬레이터를 설계한다.

II. 전파지연 및 도플러 천이 계산

LEO 위성 통신 환경에서는 위성의 고속 이동으로 인해 시간에 따라 지속적으로 변화하는 도플러 천이와 전파 지연이 발생하므로 이를 추정하여 상향링크 신호 전송 시 선보상한다. 본 논문에서는 3GPP 에서 정의한 SIB19(System Information Block 19)에 포함된 위성 궤도 정보를 활용하여 이러한 시변 도플러 천이와 전파 지연을 계산하여 사용자에게 제공한다. 본 논문에서 가정하는 LEO 위성통신 환경은 그림 1 과 같다.

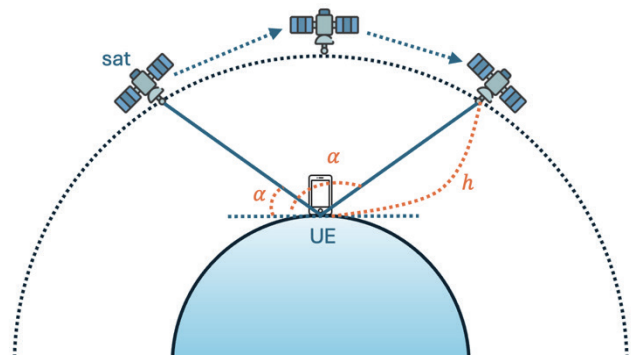


그림 1. LEO 위성 통신 환경

SIB 19 에 포함된 궤도 정보를 바탕으로 위성의 위치 및 속도를 계산하고, UE 는 GNSS(Global Navigation Satellite System)를 통해 자신의 위치를 파악한다. 이후, 위성 과 UE 간의 거리(h)와 고도각(elevation angle, α)을 계산하며, 이를 통해 전파 지연과 도플러 천이를 추정한다. 이렇게 계산된 전파 지연 값은 UE 가 전체 Timing Advance (TA)를 산출하는데 활용되며, 이를 이용해 PRACH 신호 전송 시 Timing 과 도플러 천이 선보상을 수행한다[3][4].

III. GUI 시뮬레이터

LEO 위성과 지상 단말 간의 통신 환경에서 발생하는 시변 도플러 천이와 전파 지연을 직관적으로 시각화하기 위해 MATLAB Satellite Communication Toolbox 와 Designer 를 활용하여 GUI 시뮬레이터를 그림 2 와 같이 설계하였다. 이 시뮬레이터는 SIB19 에 포함된 위성 궤도 정보와 사용자 GNSS 위치를 바탕으로 고도각, 전파 지연, 도플러 천이 등을 slot 단위로 계산하고 시각적으로 출력한다.

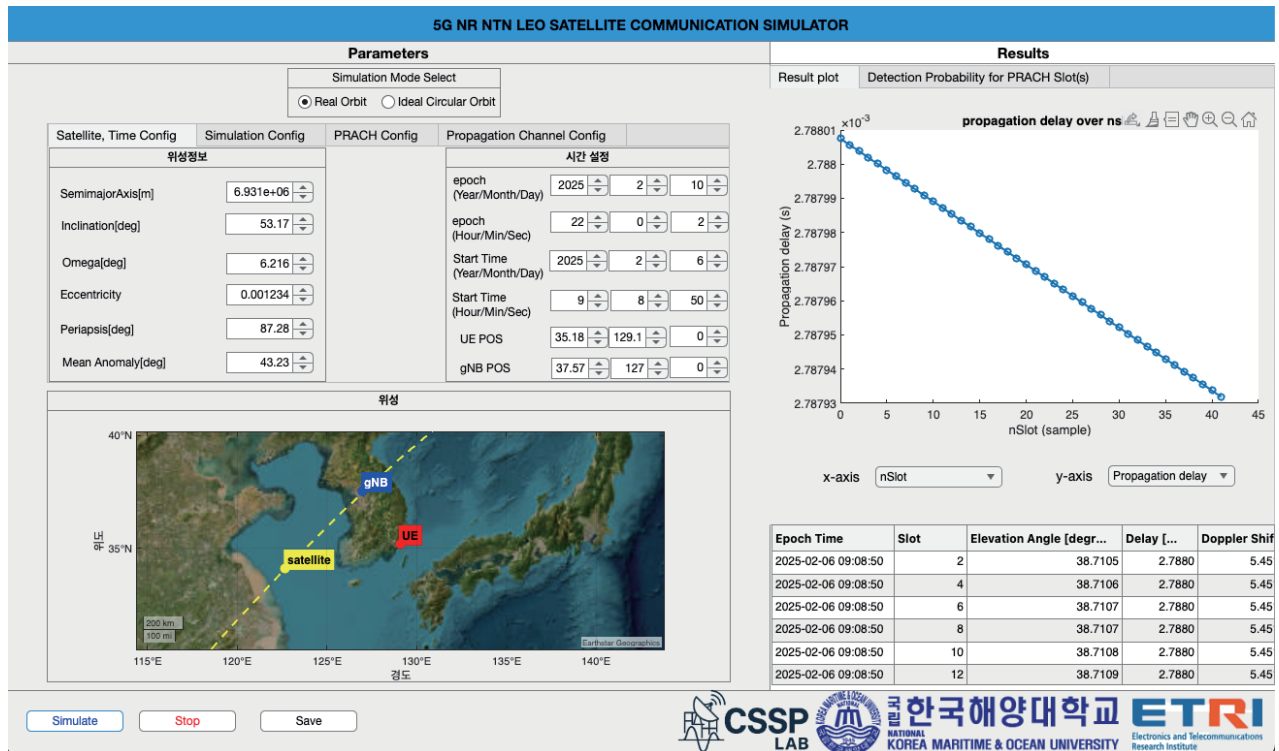


그림 2. 5G NR NTN 기반 저궤도 위성통신 환경 분석을 위한 GUI 시뮬레이터

그림 2의 Parameters 부분은 시뮬레이터에서 사용되는 주요 파라미터를 설정하는 영역이다. 각 파라미터 설정 영역에 대한 설명은 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이터 Parameters 구성 요소 및 역할

Section	Description
Simulation Mode Select	궤도 유형을 선택하는 영역 (실제 궤도 혹은 원 궤도)
Satellite, Time Config	위성 궤도 정보와 epoch time 설정 영역
Simulation Config	PRACH 성능 평가를 위한 시뮬레이터 설정 영역
PRACH Config	PRACH 전송 파라미터 설정 영역
Propagation Channel Config	채널 파라미터 설정 영역

그림 2의 Results 영역은 시뮬레이션 결과를 시각적으로 확인할 수 있도록 구성하였다. “Result plot”에서는 고도각, 전파 지연, 도플러 천이 값을 그래프로 표현하여 각 요소의 변화를 직관적으로 확인할 수 있다. 그래프의 x 축과 y 축을 사용자가 자유롭게 변경할 수 있어, 다양한 관점에서 파라미터 간의 상관관계를 확인할 수 있다. 또한, slot 단위로 epoch time, 고도각, 전파 지연, 도플러 천이 값을 표 형식으로 확인할 수 있다. “Detection Probability for PRACH” 항목에서는 다양한 SNR 값에 따른 PRACH 검출 확률을 시각화하여, 통신 환경 변화에 따른 성능 평가가 가능하도록 하였다. 마지막으로 “위성” 영역은 설정된 UE의 위치와 함께 LEO 위성의 궤도 및 현재 위치를 지도 상에 표시함으로써, 사용자가 직관적으로 위치를 확인할 수 있도록 시각화를 제공한다.

IV. 결론

본 논문에서는 위성의 궤도 정보와 사용자 위치에 따른 고도각, 위성과 UE 간의 거리, 전파 지연, 도플러 천이를 시간의 흐름에 따라 계산하고, 이를 기반으로 시변 도플러 천이 및 전파 지연과 PRACH 검출 성능을 직관적으로 확인할 수 있는 GUI 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 이를 통해 다양한 시나리오에서 PRACH 검출 성능 변화를 시각적으로 분석할 수 있도록 하였다. 향후에는 본 시뮬레이터를 6G 위성통신 환경까지 확장하여, 차세대 통신 시스템의 설계 및 성능 평가를 지원할 수 있는 도구로 발전시킬 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 정보통신·방송 연구 개발 사업의 일환으로 하였음. [RS-2024-00348050, 3GPP 표준기반 저궤도 위성통신 단말 핵심기술 개발]

참고 문헌

- [1] 김관수, 유준규, & 변우진. (2020). Research Trends in Global Wireless Communication Technology Based on the LEO Satellite Communication Network. *Electronics and Telecommunications Trends*, 35 (5), 83– 91.
- [2] 노영채, 노석현, 김민규, 김정창, 김관수, 이재영. (2025-02-05). 5G NR NTN 기반 저궤도 위성통신 환경에서의 상향링크 PRACH 검출 성능에 대한 연구. *한국통신학회 학술대회논문집*, 강원.
- [3] 3GPP TR 38.811, Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks, V15.4.0, Sept. 2020.
- [4] 3GPP TR 38.821, Solutions for NR to Non-Terrestrial Networks (NTN), V16.2.0, Mar. 2023.