

6G 이동통신 네트워크에서 측위 기술 표준화 동향 및 전망

이예림, 염정선, 정방철
충남대학교

yyy0587@o.cnu.ac.kr, jsyeom@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

Positioning Technology and Standardization Trends in 6G Mobile Communication Networks

Ye Rim Lee, Jeong Seon Yeom, Bang Chul Jung
Chungnam National University

요약

본 논문은 3GPP (3rd generation partnership project)에서 진행되고 있는 Release-16 (Rel-16)과 Rel-17까지의 이동통신 네트워크에서 사용자 측위 기술 표준화 동향을 분석한다. 또한, 현재 6G 이동통신 네트워크용으로 고려되고 있는 3GPP Rel-18에서 비지상 네트워크 (non-terrestrial networks, NTN)를 활용한 사용자 측위를 위한 기법에 대해서도 소개한다. 마지막으로 정지하지 않고 움직이는 저궤도 위성 (LEO)을 기반으로 한 사용자 측위 기술의 표준화 고려 사항과 향후 전망에 대해 기술한다.

1. 서론

3GPP (3rd generation partnership project)에서는 Release-9 (Rel-9)부터 LTE 기반의 측위 기술 표준화를 진행했으며, Rel-16부터는 5G NR (new radio) 기반의 사용자 측위 기술에 대한 표준화를 포지셔닝 (positioning)이라는 이름으로 진행해오고 있다. LTE (long-term evolution) 기반 네트워크에서의 포지셔닝 프로토콜 표준화를 LTE positioning protocol (LPP)라는 이름으로 진행하였다 [1]. 이후 LTE와 5G NR을 모두 수용할 수 있는 NR 기반의 차세대 무선 접속망 (next generation-radio access networks, NG-RAN)을 기반으로 한 시스템에서의 포지셔닝 프로토콜 표준화를 진행하여 NRPPa (NR positioning protocol a)라는 이름으로 측위 신호, 측위 방법 및 아키텍처를 새로 정의하였다 [2].

Rel-17에서는 Rel-16에서 진행된 위치 측위 방법들의 정확성을 향상시키거나, LTE 기반의 포지셔닝 프로토콜을 5G NR 기반으로 개선하는 등의 보강 작업을 진행하였다.

한편, 5G 이동통신의 주요 목표 중 하나는 비지상 네트워크 (Non-terrestrial networks, NTN) 통신을 지원하는 것이다. NTN 환경에서 위성을 이용한, 특히 저궤도 위성 (low earth orbit, LEO)과 같은 비정지궤도 (non-geostationary orbit) 위성을 이용해 통신하면 사용자가 재난 상황에 있거나 오지에 있어도 끊김 없는 연결성을 제공할 수 있다. 3GPP는 NTN 환경에서 안정적인 통신 환경을 제공하기 위해 사용자의 위치를 파악하는 측위 기법에 대한 표준을 Rel-17부터 진행하고 있다. 본 논문은 현재까지 진행된 측위 기법에 대한 표준화 동향을 분석하고, 릴리즈-18에서 진행 중인 NR-NTN 환경에서의 측위 기술에 대한 향후 전망에 대해 기술한다.

II. 본론

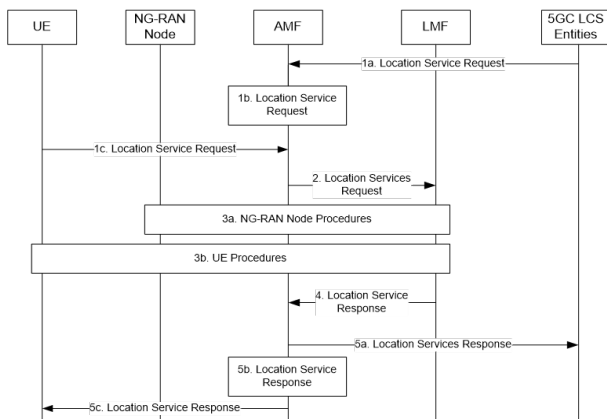


그림 1 NG-RAN 사용자 포지셔닝 아키텍처 [3]

릴리즈-18에서는 그림 1과 같이 릴리즈-17에서 정의한 LPP와 NRPPa를 기반으로 한 NG-RAN 기반의 포지셔닝 아키텍처를 그대로 사용한다. 포지셔닝의 전체적인 절차를 설명하면, 먼저 위치 정보 서비스를 요청한 객체에게 지

국이나 사용자가 측위 기술을 이용해 위치 정보에 대한 데이터를 얻는다. 이후 포지셔닝 아키텍처의 중심이 되는 서버, LMF (location management function)에게 전송하면 수신받은 데이터를 통해 사용자의 위치를 계산한다. 사용자가 LMF로 데이터를 전송할 때는 LPP를 통해, 기지국이 LMF로 데이터를 전송할 때는 NRPPa를 통해 전송한다.

Rel-16에서 표준화가 진행된 측위 기법 중에서 Rel-18의 NR-NTN 환경에서 고려하고 있는 RAT (radio access technology) 기반 위치 측위 기술들은 다음과 같다.

먼저 하향링크 기반 방법으로, 각도를 기반으로 한 기술로 DL-AOD (angle of departure)가 있으며, 시간을 기반으로 한 기술로 DL-TDOA (time difference of arrival)가 있다. DL-AOD 기법은 기지국이 송신하는 포지셔닝 전용 참조 신호인 DL-PRS (downlink positioning reference signal)의 RSRP (reference signal received power)를 사용자가 측정하여 LMF로 전송한다. 또한 기지국도 참조 신호의 방위각 (azimuth angle)과 고도각 (elevation angle) 정보를 LMF로 전송한다. 위 정보를 이용해 LMF에서 사용자의 위치를 추정한다. DL-TDOA 기법은 인접한 서로 다른 셀의 기지국들이 송신한 DL-PRS가 사용자 안테나로 도착한 시간의 차이인 DL-RSTD (reference signal time difference)를 측정하여 LMF로 전송하고 LMF가 도착 시간 차이 값 및 각 셀의 위치 정보를 통해 사용자의 위치를 추정한다.

상향링크 기반 방법으로는 각도를 기반으로 한 기술로 UL-AOA (angle of arrival)가 있으며, 시간을 기반으로 한 기술로 UL-TDOA가 있다. 상향링크 기반의 참조 신호인 UL-SRS (uplink sounding reference signal)는 기지국이 배정하여 사용자에게 전달한다. UL-AOA 기법은 사용자가 송신한 UL-SRS가 사용자가 위치한 셀이나 인접한 복수 개의 셀의 기지국에 도착한 각도, 즉 도래각 (AOA)을 기지국에서 측정하여 측정값을 LMF로 전송하고, LMF가 도래각과 전송 위치 정보를 이용해 사용자의 위치를 추정한다. UL-TDOA 기법은 UL-SRS가 복수 개의 셀의 기지국에 도착한 시간 (time of arrival, TOA)의 차이를 측정해 LMF로 전송하고, 도착 시간 차이값 및 전송 위치 정보를 통해 사용자의 위치를 추정한다.

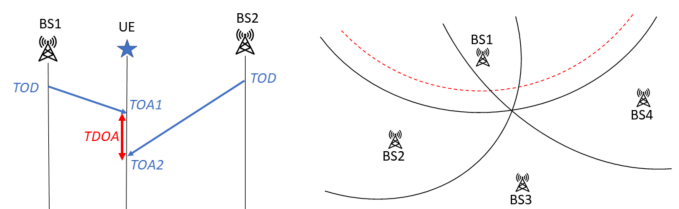


그림 2 시간 기반 TDOA 측위 기술

상향링크와 하향링크 모두 사용할 수 있는 측위 방법에는 multi-RTT (round trip time)와 Enhanced Cell-ID가 있다. Multi-RTT 기법은 기지국이 송신하는 DL-PRS 또는 사용자가 송신하는 UL-SRS 등 참조 신호가 사용자가 위치한 셀이나 주변에 있는 복수 개의 셀에 전송되었다가 다시 응답을 수신하는 시간 (RTT)을 측정하여 셀의 위치 정보를 통해 사용자의 위치를 추정한다. Enhanced Cell-ID는 기존 LTE 기반 측위 기술인 Cell-ID 방식에 기

지국과 사용자 사이의 거리 정보를 추가하여 정확도를 높인 기술이다. 아래의 표 2, 표 3은 하향링크 및 상향링크 기반의 측위 방법들을 정리한 표이다.

표 1 하향링크 기반 NR 포지셔닝 기술

Reference Signal	UE Measurements	Positioning Techniques
DL-PRS	DL-RSTD	DL-TDOA
	DL-PRS-RSRP	DL-AOD
	UE Rx-Tx time difference	Multi-RTT
	SS-RSRP SS-RSRQ CSI-RSRP CSI-RSRQ	E-CID

표 2 상향링크 기반 NR 포지셔닝 기술

Reference Signal	gNB Measurements	Positioning Techniques
UL-SRS	UL-RTOA	UL-TDOA
	DL-SRS-RSRP AOA and ZOA	UL-AOA
	gNB Rx-Tx time difference	Multi-RTT

NR 포지셔닝에서 목표하는 수 m 내 측위 오차 정확성을 달성하기 위한 여러 시나리오들이 고려되었다 [4]. 아래 표 3은 Rel-17에서 NR 포지셔닝의 정확성 성능 평가를 위해 사용했던 시나리오 중 일부이다. 네트워크가 동기화된 환경에서 아래 표에서 고려한 채널 모델, 참조 신호와 측위 기법 등의 파라미터를 사용했을 때 커버리지 내의 80% 사용자에게 대하여 실외에서 최대 10m 이내의 오차를 만족시켰다.

표 3 릴리즈-17 NR 포지셔닝 성능 평가 시나리오 [4]

Parameter	Case 10 (Inf-SH, FR2)	Case 11 (Inf-SH, FR2)
Channel model	Inf-SH	Inf-SH
Reference Signal Physical Structure and Resource Allocation (RE pattern)	DL-PRS (Comb-4, 4 symbols)	PosSRS (Comb-4, 4 symbols)
Reference signal (type of sequence, number of ports, ...)	Gold, single port	ZC, single port
Number of sites	7	7
Number of symbols used per slot per positioning estimate	4	4
Number of slots per positioning estimate	1	1
Power-boosting level	6dB	6dB
interference modelling (ideal muting, or other)	Ideal	Ideal
Description of positioning technique / applied positioning algorithm (e.g. Least square, Taylor series, etc)	DL-TDOA+DL-AoD PSO	UL-TDOA+UL-AoA PSO
Network synchronization assumptions	Ideal	Ideal

포지셔닝 참조 신호는 빔포밍 기법을 사용해 하나의 빔으로 전송한다. DL-PRS 같은 경우, 사용자가 위치한 셀 또는 인접한 셀 내의 기지국이 서로 다른 주파수로 특정한 패턴을 가진 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 심볼 (symbol)을 골드 코드 (gold code)를 사용해 전송한다. 사용자가 수신한 참조 신호를 주파수 도메인 그래프로 나타내면 그림 3과 같이 나타나며 패턴이 일정한 주기마다 반복되는 것을 확인할 수 있다. UL-SRS도 마찬가지로 사용자가 일정한 주기마다 패턴이 반복되는 OFDM 심볼을 자도프-추 시퀀스 (zadoff-chu sequence)를 사용해 기지국으로 전송한다.

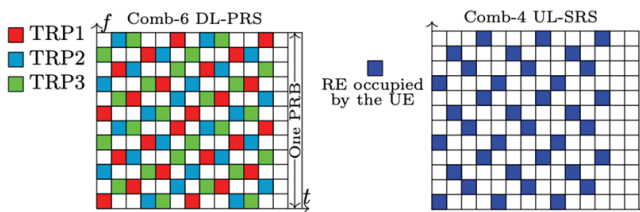


그림 3 포지셔닝 참조 신호 패턴 [5]

Rel-18의 측위 기술 표준화는 NR-NTN enhancements라는 이름으로 진행되고 있다 [6]. 단일 위성 시나리오에 우선순위를 두고 있으며, 사용자는 네트워크에 접속한 경우를 가정한다 [7]. Rel-17에서 제안한 NR 네트워크 측위 기술을 기반으로 하지만, NTN 환경으로 확장했을 때 고려해야 할 사항들과 기존 프로토콜에서의 오차를 cm 단위로 감소시킬 수 있는 요소들에 대해 논의하고 있다.

저궤도 위성을 이용한 NTN 환경에서는 위성의 빔 커버리지 (coverage)가 100-1000 km로 매우 넓기 때문에 각도 기반의 측위 기법보다는 시간 기반의

DL/UL-TDOA와 그림 4와 같은 multi-RTT 기법을 우선순위로 고려하고 있으며, 기존의 RAT 기반 측위 기법들을 통합하는 기술도 제안하였다. 또한 저궤도 위성이 지속적으로 궤도를 따라 움직이는 특성으로 인해 생길 수 있는 네트워크 동기화 문제에 대한 연구도 필수적이다. 포지셔닝 참조 신호는 앞서 소개했던 이전 Rel-17에서 표준화된 참조 신호를 그대로 사용하거나 새로운 참조 신호를 도입하는 방안을 논의하고 있다.

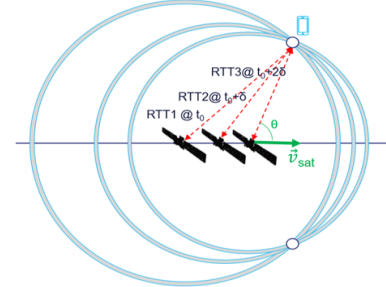


그림 4 저궤도 위성 기반 Multi-RTT 기술 [8]

NR 포지셔닝에 사용했던 주파수는 L-밴드 (1-2 GHz)나 S-밴드 (2-4 GHz) 대역이었다. Rel-18 NTN 환경에서는 지상 네트워크에서 사용하는 주파수 대역을 재사용하는 방안과 함께, 더 높은 주파수 대역인 Ka-밴드 (26.5-40 GHz)를 고려하여 다중 경로 페이딩 (multi-path fading)이 적고, 빔포밍에 유리한 측위가 가능할 것이다. 따라서 위성에서 빔포밍하는 기법에 대한 연구 필요성도 존재한다.

III. 결론

본 논문은 Rel-16부터 진행된 측위 기술 표준화 동향을 분석하였다. 요약하면, Rel-16에서는 각도 및 시간 기반의 다양한 측위 기술을 표준화하였고, Rel-17에서는 Rel-16의 측위 기술에 대한 성능 향상을 포함하여 NR 기반의 포지셔닝 아키텍처, 참조 신호를 새롭게 제안하였다. Rel-18에서는 NTN 환경에서, 특히 저궤도 위성을 이용한 측위 기술에 대한 표준화에 대한 논의가 진행되고 있다.

저궤도 위성을 이용한 측위 기술은 지연시간은 낮추며, 낮은 전력으로 측위 정확성은 향상시킬 수 있는 기술 개발에 대한 방향으로 이루어지고 있다. 또한 저궤도 위성의 이동성과 네트워크 동기화 문제의 측면에서도 연구가 진행될 것으로 사료된다. 추후 저궤도 위성을 기반으로 하는 NTN 환경에서 Rel-18에서 분석한 표준화 동향을 토대로, 사용자 측위 후보 기술들에 대한 시뮬레이션을 해볼 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022R1I1A3073740).

참고 문헌

- [1] 3GPP TS 37.355 V17.4.0, "LTE Positioning Protocol (LPP)," Mar. 2023.
- [2] 3GPP TS 38.455, "NG-RAN NR Positioning Protocol A (NRPPa)," Mar. 2023.
- [3] 3GPP TS 38.805, "User Equipment (UE) Positioning in NG-RAN," Mar. 2023.
- [4] 3GPP TR 38.857, "Study on NR Positioning Enhancements," Mar. 2021.
- [5] S. Dwivedi *et al.*, "Positioning in 5G Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 11, pp. 38-44, Nov. 2021.
- [6] 3GPP RP-221819, "Revised WID: NR NTN (Non-Terrestrial Networks) enhancements," Jun. 2022.
- [7] 3GPP TR 38.882, "UE Location for Non-Terrestrial-Networks (NTN) in NR," Jun. 2022.
- [8] 3GPP TSG-RAN WG2 Meeting #119, "[POST119-e][108][R18 NR-NTN] NW verified UE location (Thales)," Aug. 2022.