

5G-Advanced 비지상 네트워크의 이동성 향상 기술 개요

박 소연*, 김재우*, 이종만*, 박현*, 장진영**, 최수한^o

An Overview of Mobility Enhancement Technologies for 5G-Advanced Non-Terrestrial Networks (NTN)

Soyeon Park*, Jaewoo Kim*, Jongman Lee*, Hyun Park*, Jinhyeong Chang**, Suhan Choi^o

요약

본 논문은 5G의 업그레이드 기술인 5G-Advanced에 해당하는 3GPP Release 18에서 표준화된 비지상 네트워크(NTN: Non-Terrestrial Network)를 위한 이동성 향상 기술에 대해 분석하고 설명한다. 특히, 해당 기술 중에서 NTN-TN 모빌리티, 비지상 네트워크 환경에서의 RACH-less 핸드오버, Satellite Switch with Re-sync, 무빙셀(Moving-cell) 시나리오에서의 셀 측정 방식과 트리거 이벤트, 조건부 핸드오버 향상에 대해 상세하게 다룬다. 또한 해당 기술들과 관련하여 이전 릴리스(Release)보다 개선된 부분에 대해 분석하고 각 기술의 개념, 프로토콜 절차, 향후 발전 방향 등을 설명한다.

키워드 : 비지상 네트워크(NTN(Non-Terrestrial Networks)), 이동성(Mobility), 5G, 5G-Advanced, 3GPP Release 18

Key Words : NTN(Non-Terrestrial Networks), Mobility, 5G, 5G-Advanced, 3GPP Release 18

ABSTRACT

This paper analyzes and describes the mobility enhancement technologies standardized in 3GPP Release 18, corresponding to the 5G-Advanced specifications, for Non-Terrestrial Networks (NTNs). In particular, it provides a detailed discussion of key technologies such as NTN-TN mobility, RACH-less handover in NTN environments, satellite switch with re-synchronization, cell measurement methods and triggering events in moving-cell scenarios, and conditional handover enhancements. Furthermore, the paper examines the improvements introduced compared to previous Releases, and explains the concepts, protocol procedures, and future development directions of each technology.

I. 서 론

지상 네트워크(TN: Terrestrial Network) 기반의 기

존 이동통신 시스템은 일부 산간 지역, 해양, 항공, 재난 상황 등 통신 인프라가 미비하거나 단절된 환경에서 안정적인 서비스를 제공하는 것에 한계를 가지고 있었다.

* 본 연구는 2025년 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 “민·군 주파수 고효율 이용을 위한 공용데이터링크 기술” 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다(과제번호: 22-CM-TN-31).

◆ First Author : Dankook Univ., Department of AI-based Convergence, imsoyeon@naver.com, 학생회원

◦ Corresponding Author : Dankook Univ., Department of Mobile Systems Engineering, suhanc@dankook.ac.kr, 정회원

* Hanwha Systems Inc., Tactical Comm. Systems Team, jaewooz@hanwha.com, jongman0319.lee@hanwha.com, h82.park@hanwha.com

** Comesta Inc., amas37@comesta.com

논문번호 : 202505-125-B-RN, Received May 28, 2025; Revised July 25, 2025; Accepted July 28 2025

이러한 한계를 극복하기 위해 2017년 3GPP Release 15에서 비지상 네트워크(NTN: Non-Terrestrial Network)는 Study Item으로 처음 검토되었다. 정지 궤도(GEO: Geostationary Earth Orbit), 저궤도(LEO: Low Earth Orbit) 위성, 성층권 무선통신시스템(HAPS: High Altitude Platform Station)과 같은 비지상 네트워크 노드(Node)에 대한 시나리오와 빔의 종류(지구 고정 빔, 지구 이동 빔), 비지상 네트워크 단말(Terminal)의 종류(Handheld Terminals, VSAT(Very Small Aperture Terminal)) 등이 구성되었다^[1].

이어 Release 16에서는 5G NR(New Radio) 기술을 지원하기 위한 기본적인 NG-RAN(Next Generation Radio Access Network) 구조 구성과 상위 계층 프로토콜과 물리 계층에 대한 항목이 연구되었다. 또한 비지상 네트워크의 이동성(mobility)과 관련하여 긴 전파지연(propagation delay), 빠른 셀 이동성, 이로 인한 빈번한 핸드오버 발생 등의 위성통신의 한계점이자 핵심 도전 과제가 설정되었다^[2].

Release 17을 기점으로 본격적인 비지상 네트워크에 대한 Work Item이 제안되었고 셀 재선택(Cell-re-selection)과 위치 기반과 시간 기반의 트리거(trigger)를 사용하는 조건부 핸드오버와 같은 이동성 관련 사항이 표준화되었다^[3]. 2023년 표준화가 완료된 Release 18의 비지상 네트워크 모빌리티 기술 규격은 Release 17에서 진행된 표준화 결과를 개선하는 방향으로 작업이 이루어졌다. 2024년에 이어 2025년인 현재까지 표준화가 진행 중인 Release 19에서도 비지상 네트워크가 큰 화두로서 자리잡고 있으며 3GPP에서는 비지상 네트워크의 긴 전파지연과 위성의 빠른 움직임과 같은 도전 과제를 해결하기 위해 다양한 이동성 향상 기술을 연구하고 있다.

본 논문의 주 저자들은 이전 논문^[4]에서 3GPP에서 표준화된 5G 비지상 네트워크의 이동성 향상 기술에 대해서 Release 17 규격에 포함된 주요 기술에 대해 중점적으로 분석하였고, Release 18 이동성 향상 기술에 대해서는 간단히 소개하였다. Release 17에 포함된 주요 기술은 NTN 환경에서 Tracking Area, Time-based Conditional Handover, Location-based Conditional Handover, Feeder link Switchover 등이 있다.

본 논문에서는 5G의 업그레이드 기술인 5G-Advanced에 해당하면서 현재 시점에서 가장 최근에 완료된 3GPP Release 18에서 중점적으로 논의 및 표준화된 비지상 네트워크를 위한 모빌리티 기술에 대해 자세히 분석하고 설명한다. 특히 모빌리티 기술 중에

서 NTN-TN 모빌리티, 비지상 네트워크 환경에서의 RACH-less 핸드오버, Satellite Switch with Re-sync, 무빙 셀(Moving-cell) 시나리오에서의 셀 측정방식과 트리거 이벤트, 조건부 핸드오버 향상(Conditional Handover Enhancements)에 대해 상세하게 다룬다. 특히 해당 기술들과 관련하여 이전보다 개선된 부분에 대해 분석하고 각 기술의 개념, 프로토콜 절차, 향후 발전 방향 등을 설명한다. 또한 2025년 현재 표준화가 진행 중인 3GPP Release 19에서 NTN 모빌리티와 관련된 기술에 대해 간단히 언급한다.

이를 통해 비지상 네트워크 환경에서의 통신 품질 향상을 위한 모빌리티 기술의 중요성을 이해하고, 관련 연구의 방향성 및 비지상 네트워크 모빌리티 기술의 전망을 제시하고자 한다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. II장부터 Release 18에 포함된 NTN 환경에서 이동성 향상을 위한 주요 기술에 대해 설명한다. 2.1에서는 NTN과 TN 간의 이동성, 2.2에서는 RACH-less Handover, 2.3에서는 Satellite Switch with Re-Sync, 2.4에서는 무빙 셀(Moving-cell) 시나리오에서의 셀 측정방식과 트리거 이벤트, 2.5에서는 조건부 핸드오버 향상, 2.6에서는 Release 19의 NTN 모빌리티 관련 기술에 대해 다룬다. 마지막으로 III장에서 결론과 후속 연구에 대해 언급한다.

II. 본 론

2.1 NTN-TN Mobility

비지상 네트워크의 가장 핵심적인 연구 배경 중 하나인 서비스 연속성을 향상시키기 위해서는 새로운 기술과 레거시(legacy) 기술과의 통합이 필수적이다. 마찬가지로 NTN 플랫폼 자체만으로는 사용자의 요구사항을 만족시키기 어렵기 때문에 기존의 지상 네트워크와의 효율적인 연계를 이루기 위한 기술 표준화의 중요성이 대두되었다. 이러한 요구를 반영하여 3GPP에서는 비지상 네트워크 셀과 지상 네트워크 셀 사이의 모빌리티 기술 표준화 작업을 Release 18에서 최초로 차수하였다.

그림 1은 비지상 네트워크와 지상 네트워크 간 모빌리티 상황을 나타내고 있다. 비지상 네트워크에서 지상 네트워크로의 이동성을 지원하는 NTN to TN mobility의 경우, 네트워크가 NTN 셀에 캠핑(camping)하고 있는 RRC_IDLE(Radio Resource Control IDLE) 상태의 UE(User Equipment)를 대상으로 새로 정의된 SIB25(System Information Block 25)를 통해 NR 및

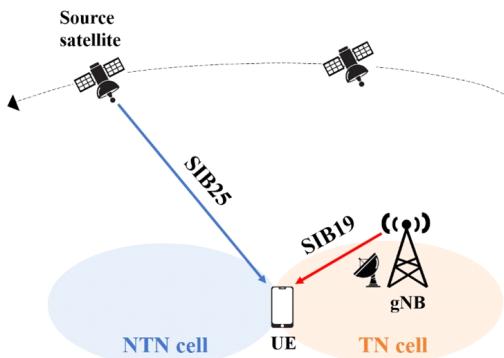


그림 1. 비지상 네트워크 - 지상 네트워크 모빌리티
Fig. 1. NTN-TN mobility

E-UTRA(Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) TN 커버리지 영역에 대한 셀 정보를 브로드캐스트하는 것이 표준화되었다. SIB25에는 다음과 같은 파라미터가 포함되어 있다.

- CoverageAreaInfo: RRC_IDLE 또는 RRC_INACTIVE 상태에 있는 비지상 네트워크 UE에 대한 지상 네트워크 셀 측정을 생략할 수 있도록 하는 지상 네트워크 커버리지 영역의 정보이다.
- tn-AreaId: CoverageAreaInfo에 포함된 파라미터로, 비지상 네트워크 시스템에서 지상 네트워크 커버리지 영역을 식별할 수 있도록 하는 ID이다.
- tnDistanceRadius: CoverageAreaInfo에 포함된 파라미터로, 지상 네트워크 커버리지 영역의 기준 위치(reference location)로부터의 거리를 나타낸다.

UE는 위와 같은 커버리지 정보를 통해 지상 네트워크 측정을 생략함으로써 전력 소비를 줄일 수 있다^[5].

지상 네트워크에서 비지상 네트워크로의 이동성을 지원하는 TN to NTN mobility의 경우, 지상 네트워크 셀은 UE에게 NTN neighbor satellite ephemeris information을 비지상 네트워크 전용 SI(System Information)인 SIB19를 통해 브로드캐스트(broadcast) 할 수 있다. 그리고 UE는 SIB19에서 수신한 ephemeris information을 사용하여 비지상 네트워크 셀에 액세스(access)할 수 있다.

2.2 RACH-less Handover

RACH(Random Access Channel)-less 핸드오버는 LTE Release 14에서 MIT(Mobility Interruption Time)을 줄이기 위해 처음 제안되었다^[6]. 이는 UE가 핸드오버 명령을 보내기 위해 필요한 타겟 셀(target cell)로의 Uplink TA(Timing Advance)와 Uplink grant를 획득

할 수 있을 경우, 타겟 셀로의 RA(Random Access) 절차를 생략하는 핸드오버이다. NR에서는 TA가 네트워크에 의해 명시적으로 제공되거나 소스 셀의 TA와 타겟 셀의 TA가 같을 때만 생략이 가능하도록 표준화되었다. RACH-less Handover의 절차는 그림2와 같다.

레거시 핸드오버의 경우 UE가 소스(source) gNB(gNodeB)로부터 핸드오버 명령을 받은 이후에 타겟 gNB로 RA(Random Access) 절차를 수행한다. RA 절차는 HIT(Handover Interruption Time)를 야기하기 때문에 핸드오버 수행 시간을 연장시킬 뿐만 아니라 UE의 Uplink 테이터 전송 시 인터럽션(interruption)을 야기할 수 있다. 이는 곧 long propagation delay를 가지고 있는 비지상 네트워크 환경에서 더 큰 MIT로 이어질 수 있다. 그리고 위성이 움직이기 때문에 정확하고 안정적인 핸드오버를 위해선 그 절차가 더욱 빠르게 이루어져야 한다. 따라서 Release 18에서는 비지상 네트워크 환경에서 RACH-less Handover를 표준화 항목으로 채택하였다. 우선적으로 비지상 네트워크 간의 모빌리티를 타겟으로 표준화가 시작되었다.

RACH-less 핸드오버는 레거시 핸드오버와 다르게 UE가 소스 셀로부터 RRC_Reconfiguration(핸드오버 명령)을 받은 후, RA 절차를 생략하고 바로 타겟 셀에 핸드오버가 완료되었음을 알리는 RRC_Reconfiguration Complete message를 전송한다(그림 2). 이는 기존의 레거시 핸드오버에선 RA 절차를 통해 획득했던 TA 정보를 네트워크를 통해 미리 얻거나 기존 소스 gNB의 TA와 관련된 정보와 타겟 셀에 대한 Uplink grant를 핸드오버 명령(Handover command)에 해당하는 RRC_Reconfiguration에는 Timing adjustment indication과 타겟 셀에 대한 Uplink grant 또는 beam indication^[6] 포함되어 있다. UE는 Timing adjustment indication을 통해 정확한 타이밍으로 타겟 셀에 동기화를 진행한다. 그리고 타겟 셀 uplink grant가 구성된 경우 이를 통해 타겟 셀로 핸드오버가 완료되었음을 알리는 RRC_ReconfigurationComplete 메시지를 전송할 수 있다. 반면 수신한 RRC_Reconfiguration에 configured uplink grant가 포함되지 않은 경우, UE는 beam indication에 따라 PDCCH(Physical Downlink Control Channel)를 모니터링하여 Uplink grant를 수신할 수 있다. Beam indication을 통해 PDCCH에서 Uplink grant를 수신할 가능성이 있는 시점과 빔을 미리 파악할 수 있는 것이다. 마찬가지로 UE가 PDCCH에서 Uplink grant를 수신하면, 해당 지원을 통해 RRC_ReconfigurationComplete 메시지를 전송할 수 있다. 타

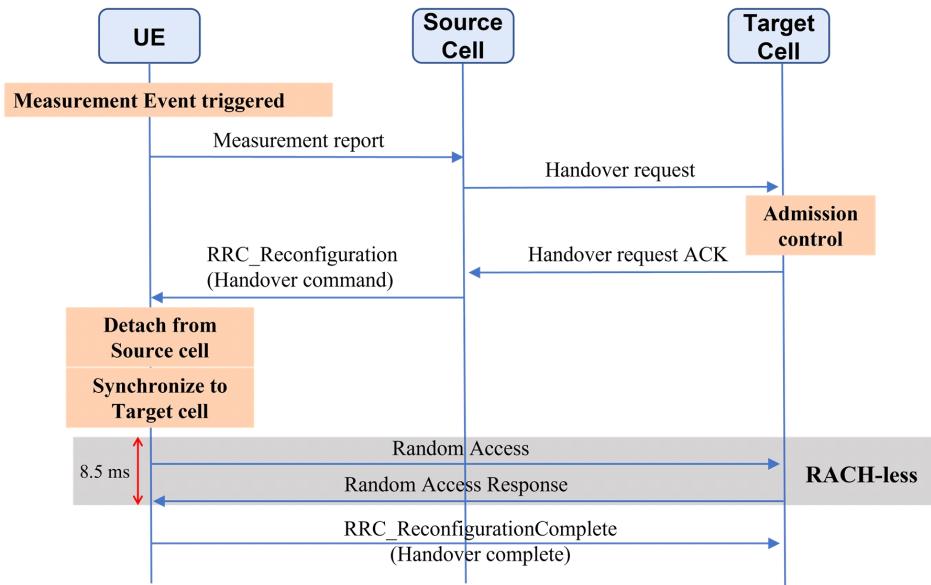


그림 2. RACH-less 헤드오버
Fig. 2. RACH-less Handover

겟 셀이 이 메시지를 정상적으로 수신하게 되면, RACH-less 핸드오버 절차가 끝나게 된다.

위 과정을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

- 1) 측정 결과 보고(Measurement report): UE는 소스 셀 및 타겟 셀에 대한 측정 결과를 전송한다.
- 2) 핸드오버 요청 & 응답(Handover request & ACK): 소스 gNB가 타겟 gNB에 핸드오버 요청을 하고 타겟 gNB가 UL grant 등을 정보를 포함하여 응답한다.
- 3) 핸드오버 명령(Handover command): 소스 gNB가 UE에 핸드오버 명령을 전송한다. 이때 핸드오버 명령 메시지에 Timing adjustment indication, 타겟 셀에 대한 Uplink grant, beam indication 등이 포함될 수 있다.
- 4) RACH 절차 없이 핸드오버: UE는 RACH 절차를 생략하고 바로 타겟 gNB로 핸드오버한다. 이때 기존에 수신했던 Timing adjustment indication 정보를 사용하거나 기존의 타이밍 정보를 그대로 사용한다.
- 5) RRC_ReconfigurationComplete 메시지 전송: UE는 RRC_ReconfigurationComplete 메시지를 UL grant를 통해 타겟 gNB로 전송한다.
- 6) 핸드오버 완료: 타겟 gNB가 메시지를 정상 수신하면 핸드오버가 종료된다.

기존의 레거시 핸드오버 방식에 RACH-less 핸드오버를 적용할 경우, 최대 약 8.5ms의 HIT를 줄일 수 있

다⁷⁾. 전파지연이 큰 비지상 네트워크에 적용시, 더 크게 HIT를 줄일 수 있다.

2.3 Satellite Switch with Re-sync

Release 18에서 처음으로 Satellite Switch with Re-synchronization 기술이 표준화되었다. 이는 그림 3에서 보이는 것과 같이 Quasi-Earth-fixed beam에 의해 커버되는 지리적인 영역에서 동일한 PCI(Physical Cell ID)를 유지하면서 스위칭하는 방법이다. 즉, 위성에 의해 서비스되는 셀 내의 UE들에 대한 L3(RRC) 모빌리티를 발생시키지 않고 동일한 PCI를 가지고 L1, L2 모빌리티만 트리거하여 위성을 스위칭하는 것이다. 따라서 UE가 핸드오버를 수행하지 않고 재동기화(re-synchronization) 과정만으로 위성을 스위칭이 가능하다. 이

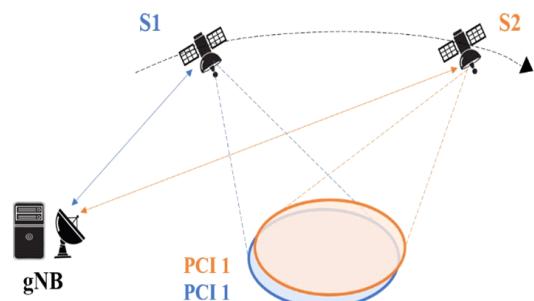


그림 3. Satellite Switch with Re-sync
Fig. 3. Satellite Switch with Re-sync

를 통해 위성 스위치 절차가 간소화되고 위성의 움직임이 지속적으로 발생하는 LEO 환경에서 스위칭에 소요되는 시간을 단축하고 RRC 시그널링 오버헤드(signaling overhead) 또한 크게 줄일 수 있게 된다.

Release 18에서는 위성이 동일한 SSB(Sync. Signal Block) frequency를 사용하고 같은 gNB와 연결되어 있는 Quasi-Earth-fixed 시나리오에서만 지원 가능하도록 표준화되었다. 따라서 gNB가 바뀌지 않기 때문에 SSB 나 SI 및 UE의 RRC reconfiguration을 유지하면서 스위칭이 가능하다. 이때 위성에 의해 서비스받고 있던 UE는 L3(RRC) 핸드오버 절차를 거치지 않고 타겟 위성으로의 Uplink(UL)/Downlink(DL) 동기화만을 수행하면 되는 것이다. 스위칭 시점에 위성 커버리지가 오버랩(overlap)되는 소프트 스위칭과 오버랩되지 않는 하드 스위칭 두 개의 시나리오 모두에 대해 표준화를 진행하였다. 이때 소프트 스위칭은 UE가 두 위성에 동시에 연결하는 것이 아니라 소스 위성과의 연결을 유지한 상태로 타겟 위성으로의 스위칭 절차(Downlink 동기화 및 동기화, Uplink 동기화 등)를 시작하는 것을 의미한다.

Satellite switch with re-sync를 위해 비지상 네트워크 전용 SIB인 SIB19에 SatSwitchReSync 필드가 추가되었다^[8]. 해당 필드에는 ntn-Config, t-ServiceStart, ssb-TimeOffset 파라미터들이 포함되어 있다. 이들은 재동기화를 통해 위성 스위치를 수행하는 데 필요한 타겟 위성에 대한 파라미터이다. 각 파라미터의 기능은 다음과 같다.

- ntn-Config: Ephemeris 데이터, common TA 파라미터, k_offset, UL sync info 및 epoch와 같은 UE 가 비지상 네트워크 시스템에 액세스하는 데 필요한 파라미터를 제공한다.
- t-ServiceStart: 타겟 위성이 현재 서비스하고 있는 위성에 의해 커버되고 있는 영역에 언제 서비스를 시작할지에 대한 시간정보이다.
- ssb-TimeOffset: Uplink time synchronization point에서 소스 위성(source satellite)과 타겟 위성(target satellite)의 SSB 사이의 시간 오프셋을 나타낸다. 소프트 스위칭을 할 때 UE가 소스 위성과의 연결을 유지하면서 타겟 위성의 SSB를 수신하기 위해 필요한 시간 분리 조정 파라미터이다.

SatSwitchResync 필드는 비지상 네트워크 셀에만 존재하며 해당 필드의 존재는 Satellite Switch with Re-sync가 해당 셀에서 지원됨을 의미한다.

Satellite Switch with Re-sync의 절차는 다음과 같다.

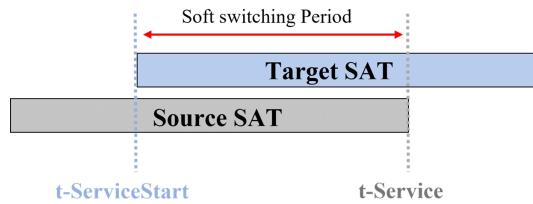


그림 4. t-ServiceStart and t-Service
Fig. 4. t-ServiceStart and t-Service

- 1) 소스 위성으로부터 서비스되던 UE가 SIB 19를 수신한다.
- 2) 소프트 스위치오버의 경우, UE는 소스 위성과의 연결을 해제하기 전, 즉 t-ServiceStart와 t-Service 사이에 타겟위성으로 Downlink 동기화를 시작할 수 있다 (그림 4 참조).
- 3) 하드 스위치오버의 경우, SIB19에 포함된 비지상 네트워크 전용 파라미터인 t-Service에 맞춰 UE는 소스 위성과의 연결을 끊고 타겟 위성으로 Downlink 동기화를 시작한다. t-Service는 비지상 네트워크의 셀이 현재 커버하고 있는 영역에 대한 서비스를 언제 중단할 지에 대한 시간 정보이다. 즉, 하드 스위치는 소스 셀의 서비스가 중단되고 나서 타겟셀로 스위칭 절차를 시작할 수 있음을 의미한다.
- 4) UE는 타겟 위성과의 Uplink 동기화를 시작한다.
- 5) 스위칭 절차가 완료되어 UE가 타겟 위성과 User data를 주고받을 수 있다.

위의 절차를 보면 알 수 있듯이, 기존 핸드오버 절차와 다르게 L3 절차인 RRC reconfiguration 송수신이 존재하지 않는다. 오로지 SI 송수신과 re-synchronization 과정만 존재한다. 이는 기존에 RRC 메시지를 통해 수신하던 타겟 위성에 대한 정보를 SIB19를 통해 미리 획득할 수 있기 때문에 가능한 절차이다.

2.4 Moving cell measurement & event

RRC_IDLE, RRC_INACTIVE 상태에 있는 UE는 이웃 셀에 대한 셀 측정을 통해 셀(재) 선택(cell-(re)selection)을 수행한다. Release 17에서는 비지상 네트워크 환경의 Quasi-Earth-fixed 시나리오에서의 시간 기반과 위치 기반의 측정 방식이 새롭게 표준화되었다. Release 18에서는 기존의 Quasi-Earth-fixed 시나리오에 이어 추가적으로 Earth-moving cell 시나리오에 대한 위치 기반 측정 방식이 새롭게 정의되었다.

기존의 Quasi-Earth-fixed 시나리오의 위치 기반 측정에선 SIB19로부터 서빙 셀의 reference location과

distance threshold를 제공받아 측정에 사용했다. UE의 위치와 serving cell의 기준 위치(reference location) 사이의 거리가 거리 임계치(distance threshold)보다 커지면 셀 재선택(cell-reselection)을 수행하는 절차로 넘어가는 것이다^[9].

Earth-moving cell의 경우 Quasi-Earth-fixed 시나리오와 다르게 위성의 이동에 따라 셀이 함께 움직이므로 지상에 고정된 셀의 Reference location을 사용하여 측정할 수 없다. 따라서 이를 해결하기 위해 movingReferenceLocation 파라미터가 SIB19에 새롭게 추가되었다. 이는 서빙 셀의 ntn-config 필드에 있는 epochTime에서의 서빙 셀 reference location으로, 특정 시점을 기준으로 거리를 비교하기 위해 추가된 것이다. 기준의 방식과 마찬가지로, UE의 위치와 서빙 셀의 reference location(movingReferenceLocation) 사이의 거리와 distance threshold를 비교하여 측정한다.

비지상 네트워크 환경에서의 조건부 핸드오버에 사용되는 위치 기반 이벤트도 Earth-moving cell 환경에 맞춰 조건부 Event D2가 정의되었다[10]. 조건부 Event D2는 Release 17에서 정의된 조건부 Event D1과 진입 조건과 이탈 조건이 동일하다. 하지만 Event D1이 고정된 reference location에 대해 정의된 것에 반해, Event D2는 moving reference location에 대해 정의되었다는 점에서 차이점이 존재한다. Event D2의 진입 조건(entering condition)과 이탈 조건(leaving condition)은 다음과 같다.

Event D2의 진입 조건은 아래 부등식 D2-1과 D2-2가 모두 만족되어야 한다. Event D2의 이탈 조건은 아래 부등식 D2-3과 D2-4 중 적어도 하나만 만족하면 된다. 즉, 진입 조건을 이탈 조건에 비해 좀 더 어렵게 설정하였다고 볼 수 있다. 이는 펑퐁효과(ping-pong effect)를 최소화하기 위한 장치이다.

- 부등식 D2-1 (진입 조건 1)
 $Ml 1 - Hys > Thresh1$ (1)

- 부등식 D2-2 (진입 조건 2)
 $Ml 2 + Hys < Thresh2$ (2)

- 부등식 D2-3 (이탈 조건 1)
 $Ml 1 + Hys < Thresh1$ (3)

- 부등식 D2-4 (이탈 조건 2)
 $Ml 2 - Hys > Thresh2$ (4)

위 부등식의 각 변수에 대한 설명은 다음과 같다.

- **Ml1:** 소스 셀의 Reference location과 UE 사이의 거리. (여기서 Reference location은 서빙 셀의 SIB19에 포함된 movingReferenceLocation과 epoch time, 위성의 ephemeris 기반으로 결정됨.)
- **Ml2:** 타겟 셀의 Reference location과 UE 사이의 거리. (여기서 Reference location은 이 Event와 관련 있는 MeasObjectNR에 설정된 epoch time, 위성의 ephemeris 기반으로 결정됨.)
- **Thresh1:** 소스 셀의 Reference location에 대한 threshold
- **Thresh2:** 타겟 셀의 Reference location에 대한 threshold
- **Hys:** 위치기반 이벤트 트리거 조건의 진입 및 이탈조건 내에서 사용되는 파라미터 (이 이벤트의 reportConfigNR 내의 hysteresisLocation 값)

Event D2를 좀 더 쉽게 이해하기 위해 그림 5와 같은 하나의 예시 상황을 고려한다. 그림 5에 나와 있는 UE의 경우, 소스 셀의 Reference location과 UE 사이의 거리에서 히스테리시스(Hysteresis) 값 만큼을 뺀 거리가 소스 셀 threshold보다 크다. 따라서 진입조건 D2-1을 충족한다. 하지만 타겟 셀의 Reference location과 UE 사이의 거리에 히스테리시스(Hysteresis) 값 만큼을 더한 거리가 타겟 셀 threshold보다 크기 때문에, 진입 조건 D2-2는 충족하지 못하므로 최종적으로 조건부 Event D2에 진입할 수 없다.

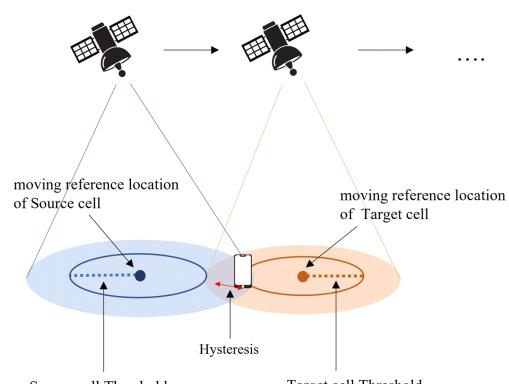


그림 5. 이동 셀 이벤트 D2 (조건부 이벤트 D2)
Fig. 5. Moving Cell Event D2 (CondEvent D2)

2.5 Conditional Handover Enhancements

Release 18에서는 피더링크 전환 및 조건부 핸드오버를 지원하기 위해 Xn 및 NG 인터페이스를 통한 gNB

간의 필요한 정보교환을 개선하였다. 특히 시간 기반 트리거 조건이 사용되는 경우 NG 인터페이스의 Early data forwarding과 Xn 인터페이스를 통한 조건부 핸드오버(Conditional handover) information 전달에 대해 표준화를 진행하였다.

일반적으로 핸드오버 과정에 적용되는 data forwarding 방식에는 late data forwarding과 early data forwarding이 있다. Late data forwarding 방식은 핸드오버를 수행하는 UE가 타겟(target) NG-RAN node(또는 cell)에 성공적으로 접속(access)을 한 것을 확인한 다음 소스(source) NG-RAN node(또는 cell)에서 타겟 NG-RAN node로 data forwarding을 수행하는 방식이다.

반면, Early data forwarding 방식은 UE가 target cell에 핸드오버를 수행하기 전인 핸드오버 준비 단계(handover preparation phase)에서 소스(source) NG-RAN node(또는 cell)에서 하나의 후보(candidate) 타겟 NG-RAN node 또는 여러 후보 타겟 NG-RAN node들로 data forwarding을 수행하는 방법이다. 특히, 조건부 핸드오버의 경우에는 특정한 하나의 타겟 NG-RAN node가 정해지지 않고, 핸드오버 가능성이 있는 여러 개의 후보 타겟 NG-RAN node들이 존재할 수 있기 때문에 해당 후보 노드들에게 early data forwarding을 수행한다.

따라서, early data forwarding 방식은 비지상 네트워크 환경에서 조건부 핸드오버가 수행될 때, 시간 기반 트리거 조건을 사용하는 경우와 같이 짧은 핸드오버 가능 시간 구간 동안 빠르게 핸드오버가 이루어져야 하는 상황에서 적절하게 사용될 수 있다.

이와 같은 상황을 고려하여 3GPP Release 18에서는 코어 네트워크의 AMF(Access and Mobility Management Function)가 타겟 NG-RAN 노드로 HANDOVER REQUEST를 통해 시간 기반의 핸드오버 정보를 전송하는 것과 Uplink RAN Early status transfer와 Downlink RAN Early status transfer를 통해 early data forwarding을 원활히 수행하는 방법이 Time-based trigger condition을 사용하는 Conditional Handover에도 적용되도록 새롭게 정의하였다^[11].

또한, Xn interface를 통해 Time-based triggering을 하기 위해서 source NG-RAN node에서 target NG-RAN node로 HANDOVER REQUEST message를 통해 Conditional Handover Time Based Information IE(Information Element)를 전송하는 방법이 정의되었다. 해당 IE에는 적절한 타이밍에 핸드오버를 수행하기 위한 time window start와 time duration

정보가 포함되어 있다^[12].

한편, 비지상 네트워크 환경에서 조건부 핸드오버를 지원하기 위한 절차가 표준화된 Release 17에서는 RRM(Radio Resource Management) 측정 기반(measurement-based) 트리거(trigger) 조건과 함께 시간 기반(time-based) 트리거 조건과 위치 기반(location-based) 트리거 조건을 추가로 정의하였다^[7]. 그리고 시간 기반과 위치 기반 조건은 타이머 설정 문제나 UE의 위치 부정확성과 같은 불안정성을 고려하여 반드시 측정 기반(measurement-based) 트리거 조건과 함께 구성되도록 하였다.

하지만 Release 18에서는 이를 구체화하여, service discontinuity gap time length가 0 혹은 무시할 수 있는 정도인 hard satellite switch의 경우에는 시간 기반 트리거 조건과 위치기반 트리거 조건이 measurement-based trigger condition과 별개로 독립적으로 구성될 수 있는 것으로 표준화하였다^[13].

또한 비지상 네트워크 환경에서 시간 기반 트리거 조건이 사용되는 경우에 대해 구체화하였다. 소스 gNB는 관련 파라미터를 Source NG-RAN Node to Target NG-RAN Node Transparent Container를 통해 NG-C 기반 핸드오버 또는 Xn 기반 핸드오버에서 단일 타겟 gNB로 시그널링을 할 수 있다. 소스 gNB는 핸드오버 시에 RRC 재구성(RRC Reconfiguration) 메시지를 통해 UE에게 관련 조건부 핸드오버 구성을 전송한다. 시간 기반 트리거 조건이 사용되는 경우, 소스 NG-RAN 노드는 UE에게 지시한 시간을 고려하여 타겟 NG-RAN 노드로 Early data forwarding을 시작할 시점을 결정해야 한다.

2.6 Release 19의 NTN 모빌리티 관련 기술

3GPP에서는 Release 19 이전에는 NTN 노드가 중계기와 비슷하게 동작하는 Transparent 모드에 대해서 표준화가 진행되었다. Release 19부터는 NTN 노드가 기지국처럼 동작하는 Regenerative 모드에 대해 본격적으로 표준화가 진행되었다. 따라서, NTN 환경에서 모빌리티 기술들도 이를 반영하여야 하고 해당 기술들에 대한 표준화가 진행되었다. 그 중에서도 특히 feeder link나 ISL(Inter-Satellite Link)을 기반으로 하는 Xn 인터페이스로 연결되는 Intra-gNodeB, Inter-gNodeB 모빌리티와 관련되어 필요한 enhancement에 대해 표준화가 진행되었다^[14].

또한, Release 17과 18에서는 NR NTN - NR NTN mobility, NR TN - NR NTN mobility, NR NTN - NR TN mobility에 대해서는 표준화가 진행되었지만

E-UTRA TN-NR NTN mobility, E-UTRA NTN-NR TN mobility에 대한 표준화는 진행되지 않았다. 따라서, Release 19에서는 E-UTRA TN과 NR NTN 간의 모빌리티에 대한 표준화가 진행되었다^[15].

III. 결 론

본 논문에서는 비지상 네트워크에서 사용되는 모빌리티 기술을 5G-Advanced 기술에 해당하는 3GPP Release 18 표준을 중심으로 전반적인 배경과 개념을 설명하였다. 비지상 네트워크 환경에서 시그널링 오버 헤드를 줄이기 위한 RACH-less 핸드오버, Satellite Switch with Re-sync 기술과 이동성 향상을 위해 새롭게 표준화된 NTN-TN 모빌리티 규격을 다루었다 그 밖에도 비지상 네트워크의 다양한 셀 시나리오에 맞춰 새롭게 표준화된 이동 셀 이벤트에 대해 자세히 다루었다.

2025년 현재 진행 중인 Release 19 표준화에서는 비지상 네트워크의 긴 전파지연과 NTN node의 움직임으로 발생하는 데이터의 유효성 문제를 완화하기 위한 다양한 모빌리티 기술이 논의되고 있다. 다양한 시나리오 환경에서 비지상 네트워크 기술이 활용되기 위해 각 환경에 필요한 모빌리티 기술에 대한 후속 연구도 활발히 진행될 것으로 전망한다. 특히 Regenerative case의 비지상 네트워크 기술이 중점적으로 표준화됨에 따라, ISL(Inter-Satellite Link)을 활용한 고차원의 모빌리티 기술 규격을 분석할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] 3GPP, *Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks*, Technical Report TR 38.811, V15.4.0, Oct. 2020.
- [2] 3GPP, *Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)*, Technical Report TR 38.821, V16.2.0, Mar. 2022.
- [3] 3GPP, *Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)*, RP-220208 (Rel-17 WID), TSG RAN meeting #95-e, Mar. 2022.
- [4] S. Park, J. Jang, and S. Choi, “An overview of mobility enhancement technologies for non-terrestrial networks in 3GPP 5G standards,” *J. KICS*, vol. 50, no. 2, pp. 280-292, 2025.
- [5] (https://doi.org/10.7840/kics.2025.50.2.1853)
- [6] 3GPP, *Summary for NR NTN (Non-Terrestrial Networks) enhancements*, RP-240922, TSG-RAN Meeting #104, Thales, Shanghai, China, Jun. 2024.
- [7] 3GPP, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description*, TS 36.300. V.14.2.0, Apr. 2017.
- [8] H. S. Park, Y. Lee, T. J. Kim, B. C. Kim, and J. Y. Lee, “Handover mechanism in NR for ultra-reliable low-latency communications,” *IEEE Networks*, vol. 32, no. 2, pp. 41-47, 2018.
- [9] 3GPP, *5G; NR; Radio Resource Control (RRC); Protocol specification*, TS 38.331, V17.6.0, Sep. 2023.
- [10] 3GPP, *5G; NR; User Equipment (UE) procedures in Idle mode and in RRC Inactive state*, TS 38.304, V18.3.0, Sep. 2024.
- [11] 3GPP, *5G; NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP)*, TS 38.413, V18.3.0, Sep. 2024.
- [12] 3GPP, *5G; NG-RAN; Xn Application Protocol (XnAP)*, TS 38.423, V18.3.0, Sep. 2024.
- [13] 3GPP, *5G; NR; NR and NG-RAN Overall description; Stage-2*, TS 38.300, V18.3.0, Sep. 2024.
- [14] 3GPP, *New WID: Non-Terrestrial Networks (NTN) for NR Phase 3*, RP-234078, TSG-RAN Meeting #102, Edinburgh, Scotland, Dec. 2023.
- [15] 3GPP, *New WID: Inter RAT mobility support from E-UTRAN TN to NR-NTN*, RP-240846, TSG-RAN Meeting #103, Maastricht, The Netherlands, Mar. 2024.

박 소연 (Soyeon Park)



2023년 2월 : 단국대학교 모바일 시스템공학과 학사 졸업
2025년 2월 : 단국대학교 인공지능융합학과 석사 졸업
2025년 3월~현재 : LGU+ 사원
<관심분야> 이동통신, 3GPP 표준, 통신이론, 비지상 네트워크, 위성통신

[ORCID:0009-0009-2306-7914]

박 현 (Hyun Park)



2005년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2007년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학 (공학석사)
2010년 4월~현재 : 한화시스템 수석연구원
<관심분야> 군 전술통신망, 모바일 네트워크

[ORCID:0000-0003-2643-3130]

김재우 (Jaewoo Kim)



1996년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 학사 졸업
2010년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사 졸업
1996년 2월~2005년 10월 : 삼성전자 SOC 개발실
2005년 10월~2010년 4월 : 포스코ICT Wibro 연구실

2010년 4월~현재 : 한화시스템 수석연구원
<관심분야> 5G/6G 이동통신, 전술통신, 기계학습기반 통신 시스템

[ORCID:0000-0002-2012-812X]

이종만 (Jongman Lee)



2010년 2월 : 경희대학교 전기무선 공학과 학사 졸업
2022년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사 졸업
2010년 2월~현재 : 한화시스템 전문연구원

<관심분야> 전술통신시스템, 미래전술통합단말기, 전술 IoT, AI 기반 SON(Self Organizing Network)

[ORCID:0000-0002-8467-6504]

장진영 (Jinnyeong Chang)



2003년 2월 : 전북대학교 정보통신공학 (공학사)
2005년 8월 : 전북대학교 정보통신공학 (공학석사)
2005년 12월~현재 : (주)코메스타 통신시스템부 부장

<관심분야> 디지털 신호처리, 통신이론, 무선통신 시스템, FPGA 설계

[ORCID:0000-0002-0417-2876]

최수한 (Suhan Choi)



1994년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 공학사
1996년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 공학석사
2006년 8월 : University of Michigan, Ann Arbor 공학박사

1996년 2월~1996년 12월 : 삼성종합기술원 주임연구원
1997년 1월~2010년 8월 : 삼성전자 책임연구원

2010년 9월~2016년 8월 : 단국대학교 모바일시스템 공학과 조교수

2016년 9월~2022년 8월 : 단국대학교 모바일시스템 공학과 부교수

2022년 9월~현재 : 단국대학교 모바일시스템공학과 교수

<관심분야> 통신이론, 정보이론, 이동통신, 3GPP 표준, 비지상 네트워크, 공공안전통신, 해상 및 수중 네트워크 등

[ORCID:0000-0002-6588-2986]