

3GPP 5G 표준의 비지상 네트워크를 위한 이동성 향상 기술 개요

박 소 연*, 장 준 모*, 최 수 한°

An Overview of Mobility Enhancement Technologies for Non-Terrestrial Networks in 3GPP 5G Standards

Soyeon Park*, Junmo Jang*, Suhan Choi°

요 약

본 논문은 비지상네트워크(NTN)을 위한 이동성 향상(Mobility Enhancements) 기술을 3GPP 5G 표준을 기반으로 기존의 지상네트워크(TN)과 다른 점에 주목하여 설명한다. 비지상네트워크의 구조적 특성에 따른 이동성을 지원하기 위한 어려운 문제점들을 소개하고 이를 극복하기 위한 비지상네트워크의 Tracking Area, 조건부 핸드오버(Conditional Handover) 그리고 피더링크 스위치오버(Feeder Link Switchover)에 대해 자세히 다룬다. 그리고 2023년 말 표준화가 완료된 3GPP Release 18에서 논의된 비지상네트워크에서의 모빌리티 관련 사안을 소개함으로써 향후 비지상 네트워크의 모빌리티 기술의 발전 가능성과 동향을 서술한다.

키워드 : 5G, NR(New Radio), 비지상네트워크(Non-Terrestrial Network), 3GPP, 저궤도위성(LEO), 핸드오버, Tracking Area, 스위치오버

Key Words : 5G, NR, Non-Terrestrial Network, NTN, 3GPP, LEO, Handover, Tracking area, Switchover

ABSTRACT

This paper describes mobility enhancement technologies for Non-Terrestrial Networks (NTNs) based on the 3GPP 5G standards, focusing on differences from existing Terrestrial Networks (TN). It introduces difficult problems to support mobility according to the structural characteristics of non-terrestrial networks and deals in detail with tracking area, conditional handover, and feeder link switchover to overcome them. By introducing issues related to mobility in non-terrestrial networks discussed in 3GPP Release 18, which was standardized at the end of 2023, the future development potential and trends of mobility technologies for non-terrestrial networks are also described.

I. 서 론

2022년 3월 3GPP(3rd Generation Partnership

Project)는 5G 융합 서비스를 확장한 표준 규격인 Release 17을 완료 및 승인하였다. 승인된 Release 17 표준 규격 중 기존의 이동통신망으로 서비스가 되지 않

* 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00394920, (세부1) 6G 플렉서블 모바일 광액세스 시스템 기술 개발)

♦ 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

* Dankook Univ., Department of Computer Science and Engineering, junmo.jang@dankook.ac.kr

논문번호 : 202407-131-B-RN, Received July 1, 2024; Revised September 15, 2024; Accepted October 7, 2024

있던 영역까지 커버리지를 확장하는 NR(New Radio) over NTN(Non-Terrestrial Network)에 이목이 집중되었다. 비지상네트워크(NTN)는 비지상네트워크 노드(인공위성(Satellite) 혹은 성층권 무선통신시스템(HAPS: High Altitude Platform Station), 무인 항공시스템(UAS: Uncrewed Aerial System) 등)을 무선기 지구 혹은 중계기로 활용하는 시스템이다. 비지상네트워크는 비용이 많이 들거나 기존의 지상네트워크(TN: Terrestrial Network)로 서비스하기 어려운 지역에 이동통신 서비스와 연결성(Connectivity)을 제공함으로써 커버리지를 확장할 수 있다¹¹.

비지상네트워크는 2017년 3GPP Release 15에서 연구 항목(Study Item)으로 처음 논의되었다. 정지 궤도(GEO: Geostationary Earth Orbit), 저궤도(LEO: Low Earth Orbit) 위성, 성층권 무선통신시스템(HAPS)과 같은 비지상네트워크 노드(Node)에 대한 시나리오와 빔의 종류(지구 고정 빔, 지구 이동 빔), 비지상네트워크 단말(Terminal)의 종류(Handheld Terminals, VSAT (Very Small Aperture Terminal)) 등이 구성되었다¹². Release 16 연구 항목(Study Item) 회의에서는 NR 기술이 비지상네트워크 시스템을 지원할 수 있도록 비지상네트워크의 기본적인 NG-RAN(Radio Access Network) 구조 구성, 상위 계층 프로토콜과 물리 계층에 대한 연구(Study)를 진행하였다. 특히 제어 평면(Control plane) 개선의 일부로서 유휴(RRC_IDLE) 모드와 연결(RRC_CONNECTED) 모드의 모빌리티와 같은 기본적인 사항들이 연구되었다¹³. Release 17에서 본격적으로 비지상네트워크에 대한 작업 항목(Work Item)을 시작하였고 RAN1부터 RAN4까지 RAN 전체에 걸쳐 표준화가 진행되었다. 최근 표준화가 완료된 Release 18은 Release 17에서 진행된 표준화 결과를 개선하는 방향으로 진행되었다. 2024년 현재 표준화가 진행 중인 Release 19에서도 비지상네트워크가 큰 화두로서 자리잡고 있으며 향후 6G에서도 비지상네트워크 기술이 서비스 확장에 크게 기여하는 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

이처럼 비지상네트워크가 이동통신의 새로운 핵심 요소로서 자리잡고 있는 가운데, 위성을 사용하는 비지상네트워크의 모빌리티 문제가 새롭게 거론되었다. 비지상네트워크는 기존의 지상네트워크와 비교했을 때, 모빌리티 측면에서 다음의 두 가지 중요한 특성을 고려해야 한다. 하나는, 비지상네트워크 노드와 단말 간의 서비스 링크, 비지상네트워크 노드와 지상 게이트웨이 간의 피더링크(Feeder link)의 긴 전파지연(Long propagation delay)이고, 다른 하나는 저궤도(LEO) 위성

같이 비지상네트워크 노드가 정지하지 않고 움직이는 것이다.

비지상네트워크 환경의 이런 특성 때문에, 기존의 레거시(Legacy) 지상네트워크에서 사용하던 방식으로 비지상네트워크 환경의 모빌리티를 지원하는 것에는 한계가 있고 성능 저하가 발생한다. 저궤도 위성 기반의 비지상네트워크 환경에 기존의 5G NR 핸드오버 방식을 사용하여 성능을 측정할 결과, 지상네트워크의 도시 거시 시나리오(Urban macro)와 빠른 속도로 움직이는 기차의 경우보다도 많은 HOF(Handover Failure)와 RLF(Radio Link Failure)를 초래함을 알 수 있었다¹⁴. 따라서 비지상네트워크 환경에서의 모빌리티를 지원하기 위한 다양한 기술들이 연구되었고 이를 기반으로 3GPP 표준화가 진행되었다.

비지상네트워크 모빌리티 개선과 관련하여 다음과 같은 다양한 선행 연구들이 진행되어 왔다. ¹⁵는 기존의 측정기반 핸드오버 트리거링 메커니즘과 비지상네트워크 시스템에서 새롭게 제안된 거리(Distance), 입면 각도(Elevation angle), 그리고 시간 기반의 핸드오버 트리거링 메커니즘의 핸드오버 발생 횟수(The number of Handovers), 핑퐁(Ping-pong), RLF를 비교 및 분석하였다. ¹⁶에서는 지구 이동 셀(Earth-moving cell) 시나리오에서 저궤도 위성 환경에서의 조건부 핸드오버(Conditional Handover)의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다. ¹⁷는 5G 비지상네트워크에서 중요한 기술적 고려사항들을 RAN에 초점을 맞춰 리뷰하였다. 특히, ¹⁷은 비지상네트워크 환경에서의 페이징(Paging)과 Tracking area 관리, 핸드오버를 위성에 초점을 맞추어 설명하였으며 서로 다른 시나리오에 대한 TAU(Tracking Area Update) 로드(Load)를 보여주기 위한 시뮬레이션과 다른 속도와 위치를 가진 단말의 핸드오버율(Handover rate) 시뮬레이션 결과를 각각 보여주었다.

본 논문에서는 3GPP 표준 규격을 기반으로 지상네트워크와 비지상네트워크의 구조적 차이점을 고려하여 비지상네트워크 환경의 모빌리티 기술을 분석하고 설명한다. 3GPP에서 작업 항목(Work Item)이 시작된 Release 17의 표준화 결과를 중점적으로 다루었으며 2023년 말에 표준화가 완료된 Release 18의 비지상네트워크 모빌리티에 대해서도 언급한다. 특히, 비지상네트워크의 구조적 특성 때문에 이동성을 지원하는데 어려운 문제점들을 소개하고 이를 극복하기 위해 Release 17에서 표준화된 비지상네트워크에서의 Tracking Area 기술, 조건부 핸드오버 그리고 피더링크 스위치오버(Feeder link switchover)에 대해 자세히 다룬다. 또

한, 그 이후 Release 18에서 비지상네트워크 모빌리티를 개선하기 위한 기술적 이슈로 고려된 RACH(Random Access Channel)-less 핸드오버와 PCI(Physical Cell ID)-unchanged 스위치오버, Common HO configuration, NTN-TN 모빌리티에 대해 간략하게 소개한다.

본 논문은 기존의 다른 연구들과 다르게, 지상네트워크와 비지상네트워크 시스템의 구조적 차이점에 집중하여 이에 따른 3GPP 표준 규격에 포함된 모빌리티 기술의 차별성을 중점적으로 분석한다. 또한 표준화된 부분이 실제로 어떤 이유에서 추가되고 변경되었는지 상세하게 분석하고 설명한다는 점에서 기여하는 바가 있다.

본 논문의 이후 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. 본론 1.1에서는 기존의 지상네트워크와 다른 비지상네트워크의 구조와 여러가지 시나리오를 소개한다. 이를 바탕으로 1.2에서는 비지상네트워크의 환경에서 셀(재)선택(Cell (re)selection)과 핸드오버를 수행하기 위해 기존의 지상네트워크와 다르게 추가되거나 혹은 변경된 사항들에 대해 3GPP Release 17 규격을 기반으로 분석하고 설명한다. 1.3에서는 비지상네트워크 모빌리티의 한계점 극복을 위해 Release 18에서 논의된 기술적 이슈들을 살펴본다. 마지막으로 결론에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 이슈에 대해 언급한다.

II. 본 론

3GPP Release 17의 비지상네트워크 모빌리티 규격을 구체적으로 다루기 전에, 모빌리티에 영향을 미치는 비지상네트워크의 구조적 요소에 대해 살펴본다.

2.1 Structure of NTN

3GPP에서 규정한 비지상네트워크 RAN의 구조는 크게 단말(UE: User Equipment), NTN 노드(인공위성, HAPS 등), 게이트웨이(Gateway), gNB(gNodeB), 5GC(5G Core network)로 구성되어 있다. 게이트웨이는 NTN 노드와 5GC를 연결하는 역할을 한다. 그림 1에서 보이는 것과 같이 비지상네트워크 구조에서는 단말과 NTN 노드 사이의 무선링크(Radio link)를 서비스 링크(Service link), 게이트웨이와 NTN 노드 사이의 무선링크를 피더링크(Feeder link)라고 한다. NTN 노드는 게이트웨이를 통해 지상에 있는 네트워크(Network)와 연결된다. 이때 게이트웨이는 다수의 NTN 노드와 연결될 수 있고, NTN 노드도 다수의 게이트웨이에 의해 서비스를 제공받을 수 있다⁸⁾.

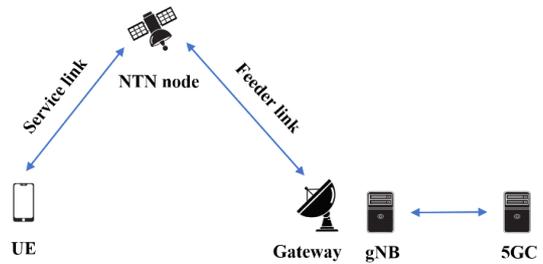


그림 1. Transparent 노드 기반의 NTN 구조
Fig. 1. NTN structure of Transparent case

비지상네트워크 환경에서 5G의 RAN인 NG-RAN은 NTN 노드의 기능에 따라 크게 Regenerative 구조와 Transparent 구조로 나누어 진다²⁾. Regenerative 구조는, NTN 노드가 gNB의 기능을 모두 포함하거나(i.e., full-gNB) 일부 포함(i.e., gNB-Distributed Unit)할 수 있다. 반면 Transparent 구조에서 비지상네트워크 노드는 지상에 있는 gNB의 신호를 받아 무선 주파수를 필터링하고 변환하거나 증폭하는 등 RF(Radio Frequency)처리를 하는 일종의 중계기 역할을 한다. 일반적으로 Transparent 구조는 지상의 레거시한 RAN 시스템을 유지하면서 비지상네트워크 환경에서 데이터를 주고받을 수 있으므로 Regenerative 경우에 비해 NTN 노드의 복잡도가 낮고 구현이 상대적으로 쉽다.

그리고 어떤 형태의 빔(Beam)을 지원하는지에 따라 정지궤도위성(GEO) 기반으로 고정된 위치의 빔을 지원하는 지구 고정 빔(Earth-fixed beam) 타입, 저궤도위성(LEO) 기반으로 steerable beam을 지원하는 유사 지구 고정(Quasi-Earth-fixed) 타입, 저궤도위성 기반으로 non-steerable beam을 지원하는 지구 이동(Earth-moving) 타입으로 분류된다. 그림 2는 유사 지구 고정 타입과 지구 이동 타입의 예시를 보여준다. 그림 2에서 나타난 것과 같이 유사 지구 고정 타입은 시간 T1, T2에 따라 저궤도위성의 빔이 변경되면서 지상의 커버리지(Coverage)는 변하지 않는 반면, 지구 이동 타입은 저궤도위성의 빔이 고정되어 시간 T1, T2에 따라 지상의 커버리지가 계속 변한다.

따라서 3GPP는 NTN 노드의 구조(Regenerative, Transparent)와 지원하는 빔의 형태에 따라 표 1과 같은 6가지 시나리오를 고려하였다³⁾. 지구 이동 타입은 유사 지구 고정 타입에 비해 움직이지 않는 단말(Stationary UE)을 기준으로 서비스하는 시간이 짧을 수밖에 없다. 그리하여 더 빈번한 셀(재)선택과 핸드오버를 야기하는 지구 이동 타입보다 유사 지구 고정 타입에 대해 우선적으로 표준화가 시작되었다.

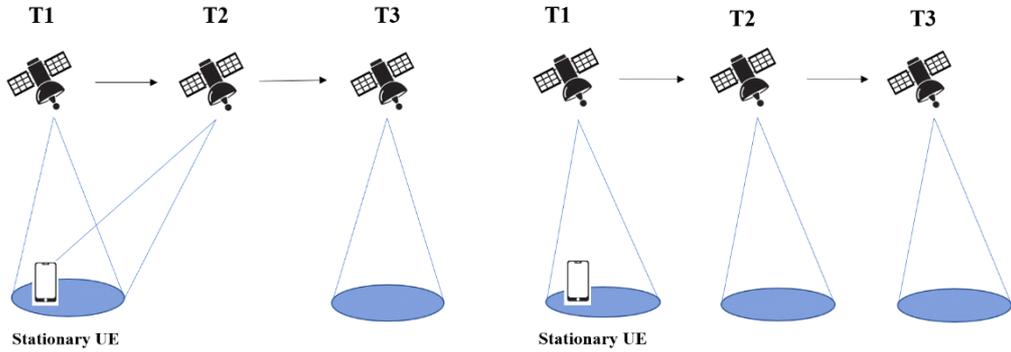


그림 2. 유사 지구 고정 셀 vs 지구 이동 셀
Fig. 2. Quasi-Earth-fixed type vs Earth-moving type

앞서 언급한 것과 같이 비지상네트워크 환경에서는 단말에 신호를 전달하는 NTN 노드가 움직이는 상황이 발생할 수 있기 때문에 서비스링크와 피더링크의 불안정성이 초래될 수 있다. 따라서 비지상네트워크 환경의 서비스 연속성(Service continuity)을 향상시키기 위한 핸드오버 메커니즘과 피더링크 스위치오버에 대한 연구와 표준화가 진행되었다. 뿐만 아니라 유휴 모드의 단말의 경우도 NTN 노드의 이동성으로 인한 Tracking Area의 변화가 발생한다. 따라서 비지상네트워크의 Tracking Area 이슈에 대한 표준화도 진행되었다.

비지상네트워크는 기존의 지상네트워크와 비교했을 때, 모빌리티 측면에서 상당히 긴 전파 지연(Long propagation delay)과 위성의 이동(Movement of satellite)과 같은 두 가지 중요한 특성을 고려해야 한다. (그림 3 참조)

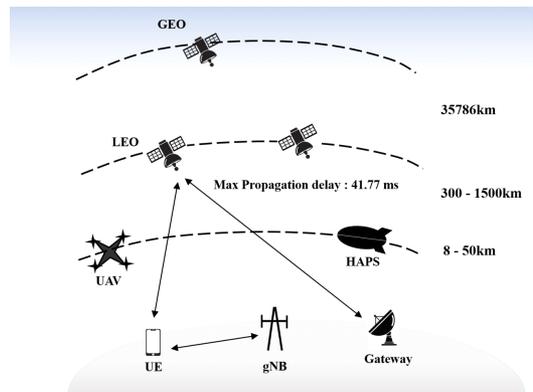


그림 3. NTN의 긴 전파지연
Fig. 3. Long propagation delay of NTN

표 1. NTN의 레퍼런스 시나리오
Table 1. Reference Scenarios of NTN

	Transparent satellite	Regenerative satellite	Altitude
GEO based non-terrestrial access network (Earth-fixed beams)	Scenario A	Scenario B	35786km
LEO based non-terrestrial access network: steerable beams	Scenario C1	Scenario D1	300-1500km
LEO based non-terrestrial access network: the beams move with the satellite (non-steerable beams)	Scenario C2	Scenario D2	

2.1.1 Long Propagation Delay

저궤도 위성의 경우 300 - 1500 km, 정지궤도 위성 은 35786km의 고도에 위치한다. 이는 지상네트워크의 일반적인 셀 커버리지와 비교했을 때 매우 큰 물리적 거리이며, Transparent 노드의 경우 서비스링크의 전파 지연(Propagation delay) 뿐 아니라 피더링크의 전파 지연까지 고려해야 한다. 이는 긴 전파지연(Long propagation delay)을 야기한다. Transparent 노드인 저궤도 위성이 600km 상공에 위치할 경우 최대 25.77ms, 1,200km 상공에 위치할 경우 최대 41.77ms의 전파지연이 발생한다^[3]. 이는 서비스링크와 피더링크의 전파지연을 합친 추정 값이다. 긴 전파지연은 서비스 제공 시 지연을 증가시킬 뿐만 아니라 시시각각 변하는 채널 상태에 맞춰 실시간(Real-time)으로 데이터를 전송하기 어려워지므로 통신 품질을 나쁘게 하고 불안정성을 초래할 수 있다.

2.1.2 Movement of Satellite

NGSO(Non-Geostationary Orbit) 위성 중에서도 특히 저궤도 위성(LEO)의 경우는 상대적으로 낮은 고도에 위치해 있다. 따라서 정지궤도 위성(GEO)의 경우보다 짧은 전파지연을 가진다는 장점이 있다. 하지만 정해진 궤도를 따라 약 7.5km/s의 빠른 속도로 이동하기 때문에 위성을 통해 서비스를 받는 단말과 위성사이의 거리는 거의 매순간 달라지게 된다. 지상에 기지국이 고정되어 있는 지상네트워크와 다르게 비지상네트워크 환경에서는 위성이 기지국 자체 혹은 기지국의 신호를 전달하는 중계기의 역할을 한다. 따라서 움직이지 않는 단말의 경우라도 네트워크에 부담이 되는 핸드오버가 빈번하게 발생한다. 게다가 저궤도 위성(LEO)은 낮은 고도에 위치하므로 상대적으로 정지궤도 위성(GEO)에 비해 좁은 커버리지를 제공할 수밖에 없다. 따라서 더욱 빈번한 핸드오버를 초래한다. 빈번한 핸드오버는 RLF, HOF와 핑퐁(Ping-pong)의 발생 확률을 높인다. 움직이지 않는 단말의 경우라고 가정했을 때 하나의 빔이 하나의 셀을 형성하고 있는 경우, 빔 풋프린트(Footprint) 사이즈를 200km로 가정 시 26초마다 핸드오버를 시행해야 하며 100km로 가정 시 13초마다 핸드오버를 시행해야 한다. 하나의 위성에서 나오는 여러 빔들이 직경이 4000km인 하나의 셀을 형성하는 경우, 단말은 약 9분마다 핸드오버를 수행해야 한다⁹⁾. 또한 위성의 이동으로 인해 위성과 연결되어 있던 지상 기지국과의 연결상태가 달라지면서 피더링크 스위치오버가 필요한 상황이 발생한다.

2.2 NTN mobility in 3GPP Standards

3GPP Release 17에서는 비지상네트워크 표준화의 초석을 다지는 단계로서 NTN 노드를 Transparent로 가정하고 NR 지원이 가능한 비지상네트워크에 대해 표준화를 진행하였다. Regenerative 구조에 대해서는 Release 19부터 표준화를 한다. Release 17에서는 모빌리티의 핵심요소인 Tracking Area, 핸드오버의 기본적인 방법 설정 및 비지상네트워크 특성을 고려한 표준화가 구체적으로 진행되었다. 긴 전파지연과 저궤도 위성(LEO)의 빠른 이동 때문에 기존의 지상네트워크에서 사용하던 레거시 방식을 그대로 적용하는 것에는 한계가 있다. 따라서 비지상네트워크 구조 및 특성에 맞춰 새로운 기술과 방법이 논의되고 표준화된 것이다. 추가적으로 지상네트워크와 다르게 모빌리티의 영역에 피더링크가 새롭게 정의되었으므로 이에 대한 표준화도 시작되었다.

본 섹션에서는 Release 17에서 표준화된 비지상네트

워크에서의 Tracking Area와 조건부 핸드오버에 대해 자세히 살펴보고, Release 16에서 진행된 피더링크의 개념 및 연구 항목(Study Item)결과에 대해 설명한다.

2.2.1 Tracking Area

비지상네트워크에서는 유휴 모드인 단말을 페이징할 때 셀(Cell)보다 큰 범위인 TA(Tracking Area)를 기본 단위로 페이징 정보를 전송한다. 단말이 이동함에 따라 기존에 속한 TA에서 벗어난다면, 단말은 네트워크로 TA가 변경되었다는 사실을 보고하고 이에 대한 승인(Accept)을 네트워크로부터 받아야 한다. 이러한 과정을 TAU(Tracking Area Update)라고 한다. 비지상네트워크도 기존의 지상네트워크와 마찬가지로 유휴 모드인 단말을 페이징하기 위해 단말의 위치를 TA 단위로 파악한다. 3GPP에서는 TA를 할당하는 방식으로 지상에 고정된 형태로 TA를 할당하는 지구 고정형(Earth-fixed) TA와 위성의 움직임에 따라 같이 움직이는 이동형(Moving) TA가 고려되었다¹⁰⁾. 하지만 이동형 TA는 움직이지 않는 단말의 경우라 해도 위성의 움직임에 따라 TAU를 자주 수행해야 하므로, 3GPP에서는 최종적으로 지구 고정형 TA를 채택하기로 결정되었다.

지구 고정형 TA의 경우 셀이 이동하면서 다음 TA 영역에 도달하면 새로운 TAC(Tracking Area Code)를 브로드캐스트(Broadcast)한다. 이에 따라 단말은 이전에 할당받은 TAC가 아닌 새로운 TAC를 전달받는 경우 TAU 절차를 수행한다¹⁰⁾. 이로써 고정된 지리적 영역에 TAC를 할당하는 지상네트워크의 방식과 유사하게 진행될 수 있었다.

비지상네트워크에서는 TA의 결정 뿐만 아니라, 기존보다 더 업그레이드된 방식의 TAC 할당이 필요하다. 기존 지상네트워크에서는 한 셀에 속한 PLMN(Public Land Mobile Network)당 하나의 TAC만을 할당하였다. 하지만 이동 셀 시나리오의 저궤도 위성(LEO)의 경우(표 1의 시나리오 C2, D2), 셀의 위치가 지상에 고정되어 있지 않고 위성의 움직임에 따라 셀이 함께 이동한다. 따라서 하나의 셀이 지상에 고정된 여러 개의 TA에 걸쳐서 존재하는 상황이 지상네트워크보다 더 자주 발생할 수 있다. 이때 단말이 속한 TA가 짧은 시간안에 빈번하게 바뀌어 잦은 TAU 수행을 초래한다. 이러한 상황을 완화하기 위해 한 셀에 속한 PLMN당 여러 개의 TAC를 할당하는 다중(Multiple) TAC가 고려되었다. 단말은 실제 속해 있는 TA의 TAC가 브로드캐스트받은 여러 개의 TAC중에 속한다면, TAU를 수행하지 않아도 되기 때문에 단말의 시그널링 오버헤드(Signaling overhead)를 줄일 수 있다.

그림 4는 비지상네트워크의 이동 셀 시나리오에서의 다중 TAC 할당 예시를 나타낸 것이다. 이동 셀이 위성 에 움직임에 따라 왼쪽 방향으로 이동하게 되면, 셀이 TA1과 TA2의 경계에 위치하게 된다. 이때 한 셀에서 TA1과 TA2를 동시에 브로드캐스트한다. 이로써 TA의 경계 지역에서도 TAC 요동(Fluctuation)이 없는 소프트 스위칭(Soft switching)이 가능하다. 이러한 다중 TAC 할당은 셀에 속한 단말들이 TAU를 빈번하게 수행하지 않아도 되기 때문에 TAU 시그널링 오버헤드를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 비지상네트워크 특성 상 위성의 궤도 및 경로가 정해져 있기 때문에, 이동 셀이 위치할 다음 TA를 예측하여 다중 TAC를 브로드캐스트할 수 있으므로 더욱 효과적인 방법이 될 수 있다. 반면 다중 TAC를 브로드캐스트 받을 수 있다는 것은 네트워크가 특정 단말을 페이징할 때 여러 TA에 속한 셀을 통해 동시에 페이징 정보를 보낸다는 것을 의미한다. 따라서 페이징 용량(Paging capacity)이 증가한다는 또다른 문제가 발생할 수 있다. 이처럼 TAU 시그널링 오버헤드와 페이징 용량은 트레이드 오프(Trade-off) 관계에 있다.

다중 TAC를 표준 규격에 새롭게 반영하기 위해 RRC IE(Information Element)에 *TrackingAreaList* 파라미터가 추가되었다. *TrackingAreaList*는 sequence of TAC의 형태이고 비지상네트워크 환경에만 존재한다. 즉, 다중 TAC는 *TrackingAreaList*를 포함하는 RRC 메시지를 통해 단말에 전달된다. 이 파라미터가 존재한다면, 네트워크에서는 별도의 TAC를 설정할 필요가 없으므로 *TrackingAreaCode* 파라미터를 설정하지 않는다¹¹⁾.

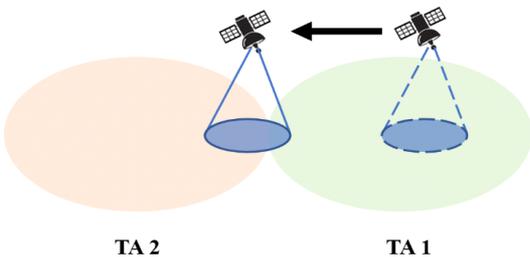


그림 4. 다중 TAC 할당
Fig. 4. Multiple TAC

2.2.2 Conditional Handover (CHO)

빠른 속력으로 이동하는 위성으로부터 생성된 빔을 통해 커버리지를 제공하는 단말은 고정된 기지국이 아닌 움직이는 위성으로부터 서비스를 제공받는 것이다. 따라서 액티브(Active) 상태인 연결 모드의 단말은 핸드

드오버가 필요할 때, 비지상네트워크 위성의 이동성과 특성을 고려해야 한다. 저궤도 위성(LEO)의 경우에는 약 7.5 km/s로 정해진 궤도를 따라 움직이기 때문에 유사 지구 고정 시나리오와 해도 지상네트워크보다 셀 변경이 자주 발생한다. 그러나 비지상네트워크 특성인 긴 전파 지연으로 인해 위성과의 단말 사이의 잦은 채널상태 변화를 네트워크가 실시간으로 알기 어렵다. 따라서 비지상네트워크 환경에서 지상네트워크에서 사용하던 레거시 핸드오버 방식을 그대로 적용하게 된다면, RLF 및 HOF 발생율을 증가시킬 가능성이 크다¹²⁾.

3GPP Release 17에서는 조건부 핸드오버(CHO: Conditional Handover)가 이러한 문제를 완화할 방법으로 소개되었다. 3GPP Release 16 모빌리티 개선 작업 항목(Work Item)의 결과인 조건부 핸드오버는 단말과 기지국 간 채널상태가 좋을 때 기지국이 미리 단말에게 핸드오버 명령(Handover command)과 트리거 조건을 함께 전송하고, 단말이 핸드오버의 수행 시점을 결정하는 핸드오버 방법이다. 저궤도 위성(LEO)의 빠른 이동으로 인해 채널상태가 빈번하게 바뀌고 이를 실시간으로 알기 어려운 비지상네트워크와 같은 환경에서 유용하게 쓰일 수 있다.

조건부 핸드오버를 비지상네트워크에서 사용함으로써 취할 수 있는 또 다른 장점은 위성의 움직임에 따라 발생하는 단말의 추정 경로에 해당하는 모든 셀에 대한 구성을 미리 제공받을 수 있다는 점이다. 정해진 궤도를 따라 이동하는 비지상네트워크 위성으로 인해 단말이 연결 모드로 진입할 때 앞으로 단말 주변을 거쳐갈 많은 후보 셀(Candidate cell)의 구성을 미리 제공받을 수 있고, 이로써 전체적인 관점에서 무선 인터페이스 시그널링(Radio interface signaling)을 효과적으로 세이브할 수 있다¹³⁾. 그리고 단말의 관점에서도 핑퐁 발생을 줄일 수 있다. 제로 NR의 기본 핸드오버와 측정 기반의 조건부핸드오버를 저궤도 위성(LEO)의 비지상네트워크 시스템에 적용한 시뮬레이션 결과, 핸드오버 마진(HO margin)과 TTT(Time-to-trigger)가 일정 값 이상 존재하는 셋(Set)에서는 RLF+HOF, 핑퐁횟수 등이 현저히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다⁶⁾.

비지상네트워크 환경에서는 그림 5에 나와있는 것처럼, 기존의 지상네트워크보다 훨씬 큰 NTN 노드와 단말 간의 거리로 인해 셀 가장자리(Cell edge)와 셀 중심(Cell center)에 위치한 단말들의 RSRP(Reference Signal Received Power)/RSRQ(Reference Signal Received Quality) 차이가 아주 근소하다. 이렇게 셀의 중심으로부터의 거리에 따라 수신하는 신호의 세기가 달라지는 것을 Near-far 효과라고 한다. RSRP나 RSRQ

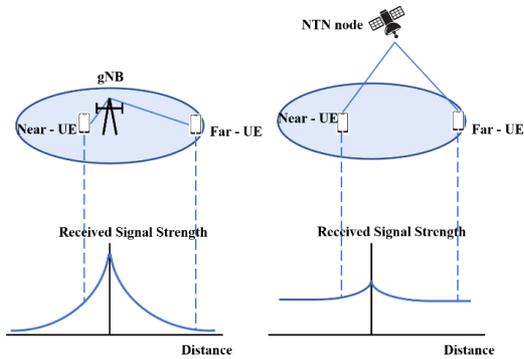


그림 5. 지상네트워크(좌)와 비지상네트워크(우)의 Near-far 효과
 Fig. 5. Near-far effect of TN (left) vs NTN (right)

는 셀 내의 채널 상태를 측정하기 위한 값으로 단말의 핸드오버 실행을 판정하기 위한 중요한 측정값으로 사용된다.

기존의 조건부 핸드오버는 트리거링 이벤트로 측정 이벤트 타입(Measurement event type) A3과 A5를 활용하였다. 하지만 표 2를 보면 알 수 있듯이 이벤트 A3는 SpCell(Special cell)과 이웃 셀(Neighbor cell)의 RSRP 또는 RSRQ 세기를 비교하는 이벤트이기 때문에 RSRP/RSRQ 세기 차이가 근소한 비지상네트워크 환경에서는 적합한 기준이 아닐 수 있다. 그리고 이벤트 A5는 SpCell과 이웃 셀에서 수신하는 신호의 세기를 각각의 threshold와 비교한다. 하지만 비지상네트워크 환경에선 지상네트워크 환경과는 다르게 신호를 제공하는 NTN 노드의 움직임과 긴 전파지연 때문에 SpCell의 신호 세기와 이웃 셀의 신호세기를 실시간으로 비교하기 어렵다.

따라서 상대적인 RSRP/RSRQ의 세기를 비교하는 것이 아닌 오직 타겟 셀(Target cell)만의 RSRP를 절대적인 기준인 threshold와 비교하는 이벤트 A4가 트리거링 조건으로 추가되는 것이 제안되었다¹⁴⁾. 이를 바탕으로 저궤도 위성(LEO)의 환경에서의 이벤트 A3와 A4의 성능 비교 연구가 진행되었는데, RLF와 HOF 측면

표 2. 측정 이벤트 (A3/A4/A5)
 Table 2. Measurement Event (A3/A4/A5)

Event Type	Description
A3	Neighbor cell becomes amount of offset better than SpCell
A4	Neighbor cell becomes better than threshold
A5	SpCell becomes worse than threshold1 and neighbor cell becomes better than threshold2

에서 이벤트 A4가 전반적으로 더 향상된 성능을 보여주었다¹⁵⁾.

하지만 측정 기반 트리거링 이벤트(A3/A4/A5)만을 조건으로 활용하는 것만으로는 비지상네트워크의 Near-far 효과를 극복하기 어렵고 이는 곧 평봉효과 혹은 HOF를 초래할 수 있다. 게다가 긴 전파지연을 가지고 있는 비지상네트워크 환경에선 평봉효과와 HOF가 지상네트워크 환경보다 훨씬 치명적이다. 따라서 조건부 핸드오버를 통해 기존의 측정기반 트리거링 조건과 함께 위치기반 트리거링(Location-based triggering), 시간 기반 트리거링(Time-based triggering) 조건을 사용함으로써 적절한 타겟 셀로 핸드오버를 수행하고 평봉효과 및 HOF를 완화할 수 있다.

i) Location-based Conditional Handover

비지상네트워크 환경에서의 조건부 핸드오버에서는 기존의 측정기반 트리거 조건을 보완하기 위해 위치 기반 트리거 조건(Location-based trigger condition)을 함께 고려한다. 셀의 레퍼런스 위치(Reference location)와 단말의 위치(Location) 정보로 이벤트 발생 여부를 따지는 조건부(Conditional) 이벤트 D1을 핸드오버 트리거 조건으로 활용한다. 조건부 이벤트 D1은 비지상네트워크의 도입으로 인해 Release 17 TS(Technical Specification) 38.331에 새롭게 추가되었다. 조건은 다음과 같다.

$$M1 - Hys > Thresh1 \quad (1)$$

$$M2 + Hys < Thresh2 \quad (2)$$

$$M1 + Hys < Thresh1 \quad (3)$$

$$M2 - Hys > Thresh2 \quad (4)$$

- *M1*: 소스 셀(Source cell)의 레퍼런스 위치(Reference location)와 단말 사이의 거리
- *M2*: 타겟 셀(Target cell)의 레퍼런스 위치와 단말 사이의 거리
- *Thresh1*: 소스 셀의 레퍼런스 위치에 대한 threshold
- *Thresh2*: 타겟 셀의 레퍼런스 위치에 대한 threshold
- *Hys*: 위치기반 이벤트 트리거 조건의 진입 및 이탈 조건 내에서 사용되는 파라미터로, 이벤트 트리거 조건의 진입과 이탈을 어렵게 함으로써 평봉효과를 최소화하기 위해 존재한다.

여기서 레퍼런스 위치(Reference location)은, 셀의

중심을 가리킨다¹⁶⁾. 유휴 모드 및 비활성(RRC_INACTIVE) 모드에서 위치기반 측정(Location-based measurement)를 시작할 때 사용되는 레퍼런스 위치는 SIB19에 *ReferenceLocation* 파라미터로 지정되어 있으며 위의 경우처럼 이벤트 트리거에 사용되는 용도로는 *reportConfigNR* IE에 위치 정보(Location information)로 정의되어 있다¹¹⁾.

우선, 진입 조건 (1), (2)가 모두 충족이 되어야 한다. 즉, (1) 단말과 소스 셀(Source cell)의 레퍼런스 위치 사이의 거리가 특정 threshold(*Thresh1*)보다 크고, (2) 단말과 타겟 셀의 레퍼런스 위치 사이의 거리가 특정 threshold(*Thresh2*) 보다 작아야 한다.

진입 조건에서 이탈하려면, 이탈 조건 (3), (4) 중 하나만 만족해도 된다. 이는 진입조건을 최대한 까다롭게 하고 이탈조건은 비교적 쉽게 함으로써 평평효과를 최소화하기 위한 조치이다.

이 이벤트는 다른 기존의 측정기반 이벤트와 마찬가지로 TTT(Time-To-Trigger)를 함께 파라미터로 제공받아야 사용할 수 있다. 그리고 기존의 측정기반 이벤트는 RSRP기반의 히스테리시스(Hysteresis)를 사용하지만 위치기반 이벤트에서는 위 조건의 *Hys*에 해당하는 *hysteresisLocation*이라는 별도의 거리 기반 히스테리시스를 사용한다.

조건부 이벤트 D1을 사용하는 위치기반 조건부 핸드오버의 경우, 거리를 기반으로 트리거 하기 때문에 셀 경계(Cell boundary)가 명확하게 정의되지 않은 경우 유용하게 사용될 수 있다. 그리고 셀 중첩(Cell overlap) 영역에서 작은 RSRP/RSRQ 차이 문제를 극복하는 것에 유용하게 쓰일 수 있다. 하지만 이를 위해서 단말이 지속적으로 위성의 궤도를 추적해야 하고, 네트워크는 가장 최신의(Up-to-date) 단말 위치를 필요로 하므로, 높은 오버헤드를 초래할 수 있다는 단점이 있다.

ii) Time-based Conditional Handover

또한, 비저상네트워크 환경에서의 조건부 핸드오버에서는 기존의 측정기반 조건을 보완하기 위해 시간기반 트리거 조건(Time-based trigger condition)이 추가되었다. 이것은 핸드오버 트리거 조건으로 단말에서 실시간으로 측정된 시간을 활용하는 방법으로, 조건부 이벤트 T1을 트리거 조건으로 활용한다. 조건은 다음과 같다.

$$Mt > Thresh1 \tag{1}$$

$$Mt < Thresh1 + Duration \tag{2}$$

- *Mt*: 단말에서 측정된 시간
- *Thresh1*: T1 이벤트에 대한 threshold 파라미터, 네트워크에서 제공하는 *reportConfigNR* IE에 정의되어 있다.
- *Duration*: T1 이벤트에 대한 duration 파라미터, *reportConfigNR*에 정의되어 있다.

*Mt*가 *Thresh1*을 넘어가는 순간부터 진입 조건(1)에 트리거한다. 그리고 *Mt*가 *Thresh1*로부터 *Duration* 만큼의 시간을 넘어가는 순간부터 조건에서 이탈한다. 단말은 시간 간격에 해당하는 *Duration* 안에서 조건부 핸드오버를 수행할 수 있다.

저궤도 위성(LEO) 시나리오에서의 시간기반의 조건부 핸드오버는 위성의 정해진 이동경로를 고려한다. 일정한 속도로 움직이는 저궤도 위성이라면, 해당 위성에 의해 서비스 받고 있는 단말은 일정한 주기의 타이밍으로 핸드오버를 수행하면 되기 때문에 간단하고 효율적이라는 장점이 있다. 하지만 저궤도 위성의 Ephemeric data를 통해 위성의 속도에 대한 정보를 필수적으로 획득해야 한다. 획득하지 못하거나, 정확한 정보를 얻지 못한다면, Early HO(Handover) 혹은 Late HO가 발생할 수 있다.

비저상네트워크 조건부 핸드오버에서 네트워크가 특정 후보 셀에 대해 조건부 이벤트 D1 또는 조건부 이벤트 T1을 설정한다면 같은 후보 셀에 대해 두번째 트리거링 이벤트로서 이벤트 A3, A4, A5 중 하나를 설정한다. 그리고 단말은 후보 셀에 대해 두 개의 트리거링 이벤트가 모두 만족되는지 여부를 지속적으로 모니터링한다. 또한, 같은 후보 셀에 대해 조건부 이벤트 D1과 조건부 이벤트 T1을 함께 설정하지 않는다. 위치기반 트리거링의 경우는 위성의 위치 혹은 단말의 위치가 부정확한 상황, 시간기반 트리거링의 경우는 타이머가 정확하게 설정될 수 없는 상황과 같이 단독으로 고려하기에 위험이 따르기 때문이다¹⁴⁾. 따라서 조건부 이벤트 D1 또는 조건부 이벤트 T1을 사용할 때는 반드시 측정기반 이벤트(Event A3/A4/A5)와 함께 고려해야 한다.

2.2.3 Feeder Link Switchover

3GPP Release16 연구 항목(Study Item) TR(Technical Report) 38.821에서는 비저상네트워크 환경에서 모빌리티를 효율적으로 지원하기 위해 피더링크 스위치오버가 정의되었다¹⁷⁾. 저궤도 위성(LEO)과 같은 환경에서는 위성의 움직임에 따라 피더링크의 연결이 불안정해지는 것을 해결하기 위해, 혹은 트래픽

오프로딩(Traffic offloading)을 위해 피더링크 스위치 오버가 필요할 수 있다. 이때 스위치오버는 핸드오버와 마찬가지로 단말에게 서비스 중단을 최소화하는 방향으로 수행되어야 한다. 이는 비지스네트워크 구조에 따라 상이한 방식으로 수행된다. 크게 Transparent 저궤도 위성(LEO)와 Regenerative 저궤도 위성(LEO)의 경우로 나뉘지만, 본 논문에서는 Release 17에서 가정한 Transparent 저궤도 위성에 대해서만 소개한다.

i) Transparent LEO, different gNBs

Transparent 저궤도 위성(LEO)의 스위치오버의 케이스 중, 서로 다른 gNB에 연결된 게이트웨이로 스위칭하는 경우이다. 이에 따라 처음 셀에 의해 서비스받던 단말은 다른 gNB에서 생성된 셀에 의해 새롭게 서비스되므로, 스위치오버와 더불어 핸드오버 수행은 필수적

으로 이루어진다.

그림 6, 7에선 각각 다른 gNB에 연결된 GW(Gateway)1, GW2가 있고 위성이 GW1과의 피더링크에서 GW2와 연결된 피더링크로 스위칭한다고 가정한다. 이때 GW1 피더링크를 끊고 GW2와 새로운 피더링크 연결을 생성하는 하드 스위치오버(Hard switchover)와 GW1 피더링크의 연결을 유지하면서 GW2와 새로운 피더링크 연결을 생성하는 소프트 스위치오버(Soft switchover)로 나누어 볼 수 있다.

하드 스위치오버의 경우, 기존의 연결을 끊고 새로운 연결링크를 만들기 때문에 단말이 네트워크로부터 데이터를 수신하거나 전송할 수 없는 서비스 중단 시간(Service interruption time)이 존재한다. 그림 6의 T1부터 T2 까지가 서비스 중단 시간이며, 서빙 셀로부터 단말이 시그널을 받지 못하는 시간을 의미한다. 이를

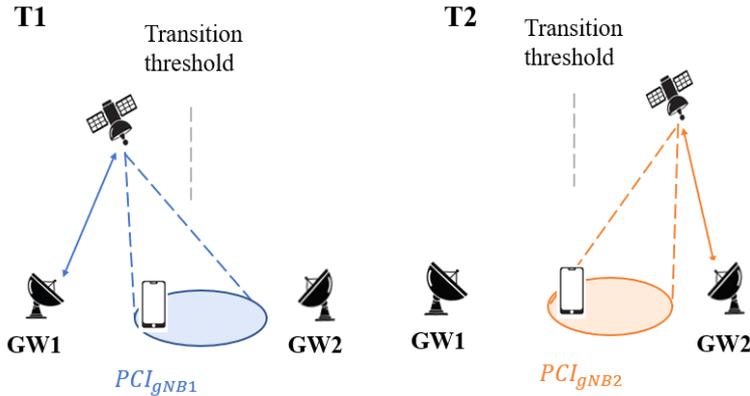


그림 6. 피더링크 스위치오버 - 하드 스위치오버(상)
Fig. 6. Feeder link switchover - Hard switchover (top)

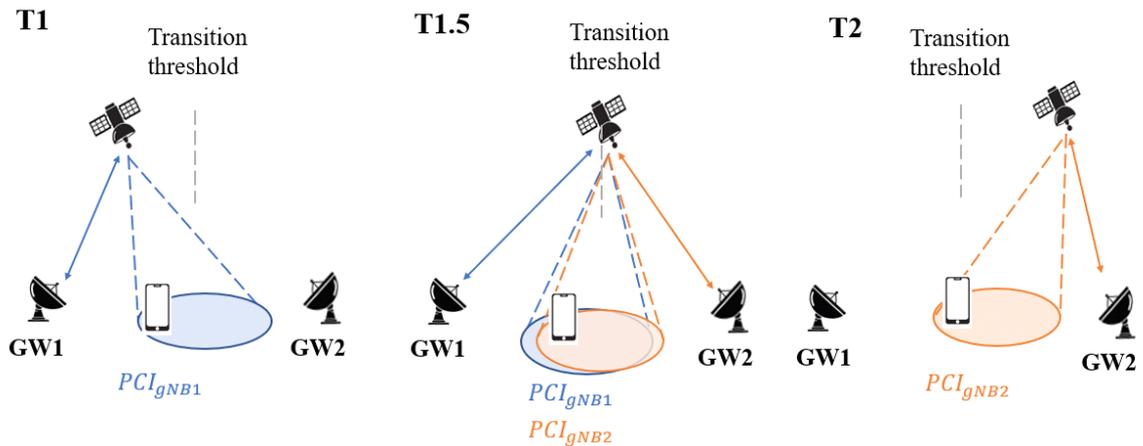


그림 7. 피더링크 스위치오버 - 소프트 스위치오버(하)
Fig. 7. Feeder link switchover - Soft switchover (bottom)

최소화하기 위해, 두 가지 옵션이 고려되었다.

첫번째 방법은 하드 스위치오버 절차를 정확한 타이밍에 수행하는 것이다. 핸드오버 커맨드(Handover command)는 T1 이전에 모든 단말들에게 전송되어야 한다. 그리고 단말은 T2 이후에 핸드오버 절차를 시작해야 한다.

두번째 방법은 조건부 RRC 재정립(Conditional RRC re-establishment)을 기반으로 하드 스위치 절차를 수행하는 것이다. 비지상네트워크 특성 상 셀 크기가 크기 때문에, 셀에 속한 많은 수의 단말들에게 핸드오버 커맨드를 짧은 시간안에 보내는 것이 매우 어렵다. 일부 단말이 주어진 시간안에 핸드오버를 수행하지 못한다면 RLF를 야기하고, 단말은 RRC 연결을 복구하는 것에 많은 시간을 소요하게 된다. 이때 단말이 빠른 시간안에 RRC 연결을 복구할 수 있도록 재정립 조건(Re-establishment condition), 다음 셀(Next cell) ID와 같은 보조 정보(Assistance information)를 시스템 정보인 SIB(System Information Block)를 통해 단말에게 전송하는 방법이 효과적일 수 있다.

소프트 스위치오버의 경우, 2개의 gNB가 하나의 위성을 통해 서로 다른 무선 자원을 사용하여 동시에 단말을 서비스하는 타이밍이 존재한다. 그림 7의 시간 T1.5가 해당한다. 따라서 하드 스위치오버와 다르게 서비스 중단 시간이 존재하지 않는다. 단말은 PCI_{gNB1} 을 가진 셀에서 PCI_{gNB2} 를 가진 셀로 핸드오버되어야 한다. 이때 핸드오버는 측정 기반의 핸드오버가 아니라, 네트워크의 결정에 따라 이루어지는 블라인드 핸드오버(Blind Handover)이다.

ii) Transparent LEO, same gNB

Transparent 저궤도위성(LEO)이 같은 gNB에 연결된 게이트웨이 사이에서 스위치오버를 하는 경우이다. 이 경우, 두개의 피더링크가 같은 gNB에 연결되어 있으나, 다른 게이트웨이를 통해 연결되어 있는 형태이다. 이 경우에도 하드 스위치오버와 소프트 스위치오버 모두가 가능하며, gNB의 security key가 유지될 수 있다면, 위성에 의해 서비스 받던 단말이 핸드오버를 할 필요가 없다. 그러나, 스위치오버를 수행하는 동안, 하향 링크(Downlink) 전송이 일시적으로 중단되어 짧은 중단(Interruption)이 발생할 수 있다.

2.3 NTN Mobility Enhancements

3GPP Release 18 표준화 과정에서 NR over NTN의 작업 항목(Work Item)의 목표 중 하나는 비지상네트워크 모빌리티 개선을 지속적으로 이어 가는 것이었다.

지연(Latency)를 줄이는 방법이나 오버헤드를 줄이는 방법같이 기존 Release 17의 표준화 결과를 개선하는 방향으로 표준화를 진행하였다¹⁷⁾. 또는, 연구 항목(Study Item)으로 논의되었으나 표준화가 본격적으로 진행되지 않은 부분에 대해 표준화를 위한 기초 작업에 초점을 맞췄다. 본 섹션에서는 비지상네트워크 모빌리티를 개선하기 위한 기술적 이슈로 Release 18에서 고려된 RACH-less 핸드오버와 PCI-unchanged 스위치오버, Common HO configuration, NTN-TN 모빌리티에 대해 간략하게 소개한다.

2.3.1 RACH-less HO

RACH-less 핸드오버는 비지상네트워크의 긴 전파 지연을 감소시키기 위한 하나의 방법으로 Release 18에서 논의되었다. RACH-less 핸드오버는 랜덤 액세스(Random access) 과정을 생략하여 서비스 중단 시간과 시그널링 오버헤드를 줄이는 방법이다. 비지상네트워크와 같이 전파지연이 길고 저궤도 위성(LEO)의 경우와 같이 위성의 움직임까지 고려해야하는 경우엔 핸드오버 절차가 최대한 짧고 빠르게 이루어져야 한다. 따라서 RACH-less 핸드오버가 비지상네트워크의 긴 전파 지연으로 인해 핸드오버 수행시간이 늘어나는 것을 보완할 수 있는 기술로 언급되었다. RACH-less 조건부 핸드오버(CHO)와 RACH-aided 조건부 핸드오버의 시뮬레이션 결과를 비교한 결과, RACH-less를 적용하는 것이 연결 끊김(Outage)과 핸드오버 중단 시간(Handover interruption time)을 각각 18.7%와 43.2%씩 크게 단축하는 것으로 나타났다¹⁸⁾. 이러한 성능 평가에 기반하여 비지상네트워크에 RACH-less 핸드오버를 적용한다면 시간을 단축하는 것은 물론 더 안정적인 모빌리티를 구현할 수 있을 것으로 판단되어 이에 관한 표준화가 활발하게 진행될 전망이다. Release 18에서는 NTN-NTN 모빌리티에 RACH-less 핸드오버를 적용하는 것을 목표로 하였고 NTN-TN 모빌리티의 경우는 배제하였다¹⁹⁾.

2.3.2 PCI-unchanged switchover

Release 18에서는 비지상네트워크 모빌리티에 의한 오버헤드를 줄이기 위해 PCI-unchanged 스위치오버가 논의되었다. PCI-unchanged는 하나의 gNB에서 서비스 받으며 같은 SSB(Synchronization Signal Block) 주파수 내에서 PCI(Physical Cell ID)의 변경없이 위성간 스위칭하는 방법이다. RRC와 NAS(Non-Access Stratum) 계층의 모빌리티 절차를 포함하지 않고 L1, L2만 관여하기 때문에 위성이 빠르게 움직이는 저궤도 위성(LEO) 환경에서 스위칭 절차 복잡성을 줄일 수 있

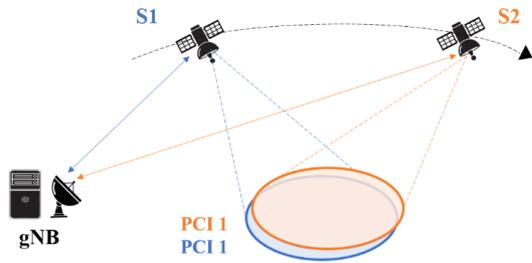


그림 8. PCI 변경 없는 스위치오버
Fig. 8. PCI-unchanged switchover

다. 유사 지구 고정 셀의 경우에서 고려되었으며, 향후 규격에 포함될 시 스위칭 절차를 간소화함으로써 시간을 단축시키고 오버헤드를 크게 줄일 수 있다²⁰⁾.

2.3.3 Common HO configuration

저궤도 위성(LEO)의 환경에선 위성의 움직임으로 인해 지상네트워크에 비해 빈번한 핸드오버가 발생한다. 그리고 지상네트워크에 비해 넓은 커버리지를 가지고 있는 비지상네트워크 특성 상 다수의 단말이 동시에 핸드오버를 수행하는 그룹 핸드오버(Group Handover)가 발생할 수 있다. 이는 상당한 시그널링 오버헤드를 야기한다²¹⁾. 이때 단말의 움직임은 위성의 움직임에 비해 그 범위가 크지 않고 비지상네트워크의 핸드오버 특성 상 예측이 가능하기 때문에 같은 소스 셀에 위치한 단말들은 같은 타겟 셀로 핸드오버 될 가능성이 크다²²⁾. 따라서 단말 특정 시그널(UE-specific signal)이 아닌 브로드캐스트 방식으로 시그널링을 전달받음으로써 핸드오버 수행 시간을 단축시키고 동시에 시그널링 오버헤드를 줄일 수 있는 Common HO configuration이 제안되었다. Common HO configuration은 브로드캐스트 기반의 핸드오버를 의미하며, 같은 타겟 셀로 핸드오버를 하는 경우에 Common information이 SIB를 통해 여러 단말로 전송된다. Release 18에서는 Common HO configuration에 대한 논의가 진행되었으며, 타겟 셀 공동 구성(Target cell common configuration) 또는 핸드오버 트리거 이벤트를 브로드캐스트 방식으로 전달하는 등 다양한 시그널링을 브로드캐스트하는 방법이 논의되었다.

2.3.4 NTN-TN mobility

NTN-TN 모빌리티는 Release 17에서는 구체적으로 다루지 않았고 Release 18에서 본격적으로 표준화작업을 시작하였다. Release 18의 작업 항목(Work Item) 목표 중 하나는 NTN-NTN 그리고 NTN-TN 모빌리티와 서비스 연속성을 향상시키는 것이다. 이는 단말이

비지상네트워크와 지상네트워크를 오가며 서비스를 지원받기 위해 필수적으로 고려되어야 할 부분이다. Release 18의 NTN-TN 모빌리티는 Release 17 NR over NTN의 작업 항목(Work Item) 결과 뿐만 아니라 NR over TN의 기존 방식을 함께 고려한다. NTN-TN 모빌리티는 지상네트워크의 커버리지 정의와 유휴 모드와 비활성 모드의 단말을 위한 셀 재선택부터 표준화를 진행하였다. 유휴 모드 또는 비활성 모드의 단말이 NTN-TN의 환경에서 셀 재선택을 하기 위해 수행해야 하는 셀 측정(Cell measurement)의 수행 여부, Release 17에서 표준화한 비지상네트워크 셀 재선택에 필요한 파라미터(referenceLocation, distanceThresh)의 지상네트워크 커버리지에서의 재사용, 지상네트워크 커버리지 정보의 SIB19 포함 여부 등이 논의되었다.

III. 결 론

본 논문에서는 비지상네트워크 환경에서 모빌리티 기술에 대해 3GPP Release 17 표준을 중심으로 전반적인 특징과 개념을 설명하였다. 유휴 모드의 Tracking Area와 연결 모드의 조건부 핸드오버가 비지상네트워크에 활용되면서 기존 기술에서 개선된 사항을 소개하였다. 더불어, 지상네트워크와 차별화된 비지상네트워크의 구조적 특징 중 하나인 피더링크로 인해 등장한 피더링크 스위치오버의 개념과 종류에 대해서도 살펴 보았다. 또한 긴 전파 지연과 저궤도 위성(LEO)의 빠른 움직임으로 인해 발생하는 모빌리티 측면의 문제점들을 해결하기 위해 Release 18에서 논의된 모빌리티 이슈에 대해 간략하게 설명하였다.

2024년 초에 시작된 Release 19에서는 비지상네트워크 모빌리티와 관련된 다양한 연구 항목(Study Item)이 진행 중이다. Release 18에서 진행한 조건부 핸드오버의 개선사항, NTN-NTN, NTN-TN 모빌리티와 비지상네트워크의 Regenerative 구조에 대해 본격적으로 표준화가 진행되고 있으며, 향후 6G에서도 비지상네트워크 모빌리티를 개선하기 위한 표준화가 매우 중요하게 고려될 예정이다. 현재 다양한 기업들이 비지상네트워크 모빌리티 개선을 위해 표준화된 3GPP 규격을 바탕으로 상용화를 진행하고 있다.

비지상네트워크 환경에서 사용자에게 더욱 끊어지지 않는(Seamless) 빠른 서비스를 제공하기 위해서는 긴 전파지연을 극복하기 위한 연구가 더 우선적으로 진행되어야 한다. 또한, 셀 (재)선택과 핸드오버의 수행 절차를 단축시키거나 저궤도 위성(LEO)의 위치를 최대한 실시간으로 파악하여 성능을 향상시키는 기술 연

구에 더욱 초점을 맞춰야 할 것이다.

References

- [1] F. Rinaldi, H. L. Maattanen, J. Torsner, S. Pizzi, S. Andreev, A. Iera, Y. Koucheryavy, and G. Araniti, "Non-terrestrial networks in 5G & beyond: A survey," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 165178-165200, Sep. 2020. (<https://doi.org/10.1109/access.2020.3022981>)
- [2] 3GPP Technical Report, 38.811, *Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks*, V15.4.0, Oct. 2020.
- [3] 3GPP Technical Report, 38.821, *Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN)*, V16.1.0, May 2021.
- [4] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard, and P. E. Mogensen, "5G new radio mobility performance in LEO-based non-terrestrial networks," *2020 IEEE GC Wkshps.*, pp. 1-6, Taipei, Taiwan, Dec. 2020. (<https://doi.org/10.1109/GCWkshps50303.2020.9367419>)
- [5] Y. I. Demir, M. S. J. Solaija, and H. Arslan, "On the performance of handover mechanisms for non-terrestrial networks," *2022 IEEE 95th VTC2022-Spring*, pp. 1-5, Helsinki, Finland, Jun. 2022. (<https://doi.org/10.1109/VTC2022-Spring54318.2022.9860505>)
- [6] E. Juan, M. Lauridsen, J. Wigard, and P. Mogensen, "Performance evaluation of the 5G NR conditional handover in LEO-based non-terrestrial networks," *2022 IEEE WCNC*, pp. 2488-2493, Austin, TX, USA, Apr. 2022. (<https://doi.org/10.1109/WCNC51071.2022.97719771>)
- [7] A. Sattarzadeh, et al., "Satellite-based non-terrestrial networks in 5G: Insights and challenges," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 11274-11283, Dec. 2022. (<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3137563>)
- [8] 3GPP Technical Specification, 38.300, *NR and NG-RAN Overall description*, V17.5.0, Jul. 2023.
- [9] H.-L. Maattanen, et al., "5G NR communication over GEO or LEO satellite systems: 3GPP RAN higher layer standardization aspects," *2019 IEEE GLOBECOM*, pp. 1-6, Waikoloa, HI, USA, Dec. 2019. (<https://doi.org/10.1109/GLOBECOM38437.2019.9014090>)
- [10] J. Kim, M.-Y Yoon, D. Yoo, and M.-S Lee, "5G wireless communication technology for non-terrestrial network," *Electronics and Telecommun. Trends*, vol. 34, no. 6, pp. 51-60, Dec. 2019. (<https://doi.org/10.22648/ETRI.2019.J.340605>)
- [11] 3GPP Technical Specification, 38.331, *NR; Radio Resource Control (RRC)*; Protocol specification, V17.6.0, Oct. 2023.
- [12] M.-Y. Yun, J. Kim, D. You, and M.-S. Lee, "Main features of 5G new radio for non-terrestrial networks," *2021 Int. Conf. ICTC*, pp. 1474-1478, Jeju, Korea, Oct. 2021. (<https://doi.org/10.1109/ICTC52510.2021.9620941>)
- [13] J. Stanczak, U. Karabulut, and A. Awada, "Conditional handover in 5G - Principles, future use cases and FR2 performance," *2022 IWCMC*, pp. 660-665, Dubrovnik, Croatia, Jul. 2022. (<https://doi.org/10.1109/IWCMC55113.2022.9824571>)
- [14] R2-2100346, *Connected mode aspects for NTN*, Ericsson, RAN2#113, Online, 25 Jan. - 5 Feb. 2021.
- [15] J. Yu, W. Lee, and J. -H. Kim, "Performance evaluation of handover using A4 event in LEO satellites network," *2022 IEEE VTS APWCS*, pp. 127-131, Seoul, Korea, Aug. 2022. (<https://doi.org/10.1109/APWCS55727.2022.9906486>)
- [16] R2-2104816, *Discussion on mobility management for connected mode UE in NTN*, OPPO, RAN2#114e, Electronic, 19-27 May 2021.
- [17] RP-230809, *Revised WID: NR NTN (Non-Terrestrial Networks) enhancements*,

Thales, Rotterdam, Netherlands, 20-23 Mar. 2023.

- [18] S. B. Iqbal, U. Karabulut, A. Awada, P. Schulz, and G. P. Fettweis, “*RACH-less handover with early timing advance acquisition for outage reduction(2024)*,” Retrieved Mar. 27, 2024, from <https://arxiv.org/abs/2403.10286> (<https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.10286>)
- [19] R2-2307622, *RACH-less handover for NTN*, Qualcomm Incorporated, Toulouse, France, 21-25 Aug. 2023.
- [20] R2-2308329, *Report of [Post122][114][NR NTN Enh] Unchanged PCI* (CMCC), CMCC, Toulouse, France, 21-25 Aug. 2023.
- [21] R2-2307103, *Discussion on Handover Enhancement with Common HO Configuration in NR NTN*, vivo, Toulouse, France, 21-25 Aug. 2023.
- [22] R2-2304248, *Report of [AT121bis-e] [108][NR NTN Enh] Common (C)HO configuration*, Ericsson, RAN2#121bis-e, Electronic, 17-26 Apr. 2023.

박 소 연 (Soyeon Park)



2023년 2월 : 단국대학교 모바일시스템공학과 졸업
2023년 3월~현재 : 단국대학교 인공지능융합학과 석사과정
<관심분야> 이동통신, 3GPP 표준, 통신이론, 비지상 네트워크, 위성통신

[ORCID:0009-0009-2306-7914]

장 준 모 (Junmo Jang)



2020년 2월 : 단국대학교 모바일시스템 공학과 졸업
2024년 8월 : 단국대학교 컴퓨터학과 석사
<관심분야> 이동통신, 3GPP 표준, 통신이론, 비지상 네트워크, 위성통신

[ORCID:0009-0000-5314-986X]

최 수 한 (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~2010 8월 : 삼성전자 책임연구원
2010년 9월~2016년 8월 : 단국대학교 모바일시스템공학과 조교수
2016년 9월~2022년 8월 : 단국대학교 모바일시스템공학과 부교수
2022년 9월~현재 : 단국대학교 모바일시스템공학과 교수

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

[ORCID:0000-0002-6588-2986]