

Non-Terrestrial Networks 환경에서의 System Information Block Type 표준화 동향

문재준, 정해준
경희대학교

mjj7343@khu.ac.kr, haejoonjung@khu.ac.kr

A Survey of System Information Block Type Protocol Specification in Non-Terrestrial Networks

Jaejoon Moon, Haejoon Jung
KyungHee Univ.

요 약

본 논문은 NTN 환경에서 단말 초기 동작을 좌우하는 시스템 정보의 역할을 다룬다. MIB 와 SIB1 은 복호화에 필요한 최소 물리 정보를 제공한다. SIB31 은 서빙 위성에 대한 동기 유지를 지원하고, SIB32는 향후 가시성과 커버리지 변화를 예측하게 하며, SIB33은 이웃 위성 및 셀 탐색과 측정 선보정을 돕는다. 본 연구는 3GPP TS 36.331에 규격화된 SIB의 정의와 관련 단말 동작 규정을 조사하고 동향에 대해 분석한다.

I. 서 론

비지상네트워크 (Non-Terrestrial Networks, NTN)은 지상네트워크 (Terrestrial Networks, TN)를 보완 및 확장하는 차세대 무선 인프라로서 6G의 핵심 구성으로 주목받고 있다[1]. 기존 TN은 해양, 산악, 오지 등에서의 커버리지 공백, 인프라 구축 비용 등 구조적인 제약을 가진다. 이러한 한계점을 보완하기 위해 NTN은 위성과 같은 플랫폼 기반의 광범위한 커버리지, 지상 인프라 의존도 완화에 따른 복원력, 저전력 대규모 사물인터넷 (Internet of Things, IoT)을 포함한 다양한 단말 계층의 수용성을 제공한다[2]. 최근에는 저궤도 (Low Earth Orbit, LEO) 위성의 대량 배치, 단말의 직접 접속 (Direct-to-Device), 도플러나 전파지연의 사전 보상 등과 같은 기술이 빠르게 성장하고 있으며[3], 3GPP Release 17의 TS 36.331에는 NTN운동을 위한 System Information Block Type (SIB) 규격이 반영되었다[4].

SIB는 단말 초기 동작을 위한 브로드캐스트 시스템 정보로서, Master Information Block Type (MIB), SIB1을 기초로 NTN 환경에서 필요한 epoch, Uplink 동기화 유효 시간, 위성 궤도 상태 정보 등의 보조정보를 제공한다. 특히 SIB31, 32, 33은 LTE 및 Narrowband Internet of Things (NB-IoT) 계열의 NTN을 위해 도입되어, 위성 궤도 보조 정보 (SIB31), 불연속 커버리지 및 가시성 예측 보조 정보 (SIB32), 인접 NTN 셀 측정 및 판별 보조 정보 (SIB33)을 정의함으로써 NTN에서도 단말과 시간/주파수 동기화, 링크 안정화를 가능하게 한다[5].

본 논문은 3GPP 표준에 등재된 SIB31, 32, 33을 대상으로 표준화 동향을 분석하고, 각 정보요소가 NTN 시나리오에서 어떤 영향을 미치는지 분석한다.

II. 본론

II-1. MIB & SIB1

UE의 초기 접속 절차는 MIB→SIB1→기타 SIB의

순서로 진행된다. MIB가 제공하는 최소한의 물리계층 정보 없이는 DL-SCH 복호가 불가능하고, SIB1이 제공하는 시스템 정보 스케줄 없이는 후속 SIB의 존재나 주기를 알 수 없다.

MIB는 하향링크 물리계층 해석에 필요한 최소 정보를 제공한다. 대표적인 정보 요소로는 시스템 프레임 번호, 하향링크 대역폭 등을 가지고 있다. 이 파라미터들은 PDCCH/PDSCH의 구성을 결정하여 이후 DL-SCH 복호를 가능하게 한다.

SIB1은 시스템 정보 방송 스케줄과 셀 접근 및 선택의 기본 기준을 제공하며 핵심 정보 요소로 schedulingInfoList, systemInfoValueTag 등 포함된다.

NTN 환경에서는 큰 전파 지연과 도플러 등으로 인해 UE는 추가적인 시스템 정보(SIB31, SIB32, SIB33 등)를 필요로 한다. 이러한 후속 정보의 관리는 SIB1이 지시하므로 MIB와 SIB1의 의존성은 NTN 셀에서도 동일하게 유지된다.

II-2. SIB31

SIB31은 NTN 셀에서만 방송되며, 서빙 위성에 대한 보조 정보를 제공하여 단말의 시간 및 주파수 동기화 유지와 상향링크 전송 보정을 지원한다. 단말은 MIB와 SIB를 통해 시스템 정보 스케줄을 획득한 뒤 공지된 윈도우와 주기에 따라 SIB31을 수신한다.

SIB31의 최상위 페이로드는 ServingSatelliteInfo이며 r17에서는 ephemerisInfo를 통해 위성의 ephemeris 정보를 제공한다. 이때 표현방식은 ECEF 좌표계의 위치, 속도 6 성분으로 구성된 EphemerisStateVectors 또는 ECI 좌표계의 타원 궤도요소 6 성분으로 구성된 EphemerisOrbitalParameters 중 하나를 선택한다. 또한 공통된 상향링크 동기 유효시간, 적용 시작 시각 (UTC), 하향-상향링크 정렬 보정 등이 포함된다. 정수 인코딩된 값은 규정된 선형 스케일을 적용해

물리 단위로 복원한다.

3GPP release 확장으로 r18에서는 ServingSatelliteInfo는 satelliteId, 기준위치를 나타내는 referenceLocation, 위치 기반 측정 가능한 distanceThresh를 제공한다[6]. r19에서는 운용 모드 전환 예정 시각을 전달하는 t-ModeSwitching을 추가한다[7]. 두 확장 블록은 옵션이며 존재하지 않을 경우 r17 코어만으로 동작 가능하도록 하위 호환이 유지된다.

II-2. SIB32

SIB32는 NTN 셀에서 불연속 커버리지와 가시성 예측을 지원하기 위한 보조 정보를 브로드캐스트한다. UE는 MIB와 SIB1을 통해 시스템 정보 스케줄을 획득한 뒤, 공지된 윈도우와 주기에 따라 SIB32를 수신하며, 수신된 정보는 측정, 핸드오버 후보 탐색의 사전 계획에 활용된다.

SIB32의 핵심 페이로드는 satelliteInfoList로 하나 이상의 SatelliteInfo 엔트리를 포함한다. 각 엔트리는 위성 식별자 satelliteId, 서비스 시점의 궤도 정보를 제공하는 serviceInfo, 가시 영역을 요약하는 footprintInfo로 구성된다. SIB32에서는 Two-Line Elements (TLE) 기반 궤도 파라미터를 제공하여 단말이 임의 시점의 가시성을 예측할 수 있게 하고, UTC 타입으로 정의된 서비스 시작 시점을 제공한다. SIB31과 마찬가지로 모든 수치는 정수 인코딩으로 전달되며, 규정된 선형 스케일을 적용해 물리 단위로 복원한다.

UE 관점에서 SIB32는 가시성 여부의 시작과 종료를 추정하고 불연속 커버리지에서 측정 개시 시점, 우선순위, 대상 위성 집합을 계획하는 데 사용된다. 또한 단말은 궤도 전파를 통해 특정 시간의 가시성과 도플러 경향을 사전에 계산할 수 있어 NTN 환경에서의 측정 부하나 전력 소모를 완화할 수 있다.

II-2. SIB33

SIB33는 이웃 위성과 셀에 대한 보조정보를 방송하여 측정, 재선택, 핸드오버 후보 탐색을 지원한다. NTN 셀에서 사용되는 것이 기본이지만, 필요 시 TN 셀에서 특정 상황안에서 이웃 위성 보조정보를 포함하도록 전송될 수 있다.

핵심 페이로드는 neighbourSatelliteInfoList로, 각 엔트리는 위성 식별자 satelliteId와 ephemerisInfo를 포함한다. SIB32와 마찬가지로 ECEF 기준 위치 속도 6 성분이나 ECI 궤도요소 6 성분 중 하나로 제공된다. 이외에 적용 기준 시각이나 유효시간 등이 포함되어 단말이 이웃 셀에 대한 전파 지연과 도플러 추정을 할 수 있게 한다. 마찬가지로 모든 수치는 정수 인코딩으로 전송되어 규정된 선형 스케일을 적용해 물리 단위로 복원한다.

r19부터 NR 이웃 셀 관련 보조정보와 운용 모드 지시를 선택적으로 포함할 수 있다. 또한 동일 위성에 대해 NB-IoT/NR 등 기술별 이웃 정보를 병렬로 제공할 수 있어 단말은 자신의 능력에 맞는 엔트리만 선택적으로 활용하면 된다.

UE 관점에서 SIB33 수신 후 각 이웃 엔트리의 적용 시간 범위 내에서 측정 윈도우를 예약하고,

예상 도플러 및 지연 시간을 선보정한 상태로 동기 측정을 수행한다. 결과적으로 SIB33은 불연속 커버리지 및 이동성이 있는 환경에서 이웃 탐색의 비용을 줄이고 초기 접속의 성공 확률을 높이는 역할을 한다.

III. 결론

NTN은 지연 시간이 크고 불연속 커버리지라는 조건 때문에 단말이 초기부터 정확한 시간, 주파수 기준과 측정 계획을 갖춰야 하는데 이를 가능하게 하는 것이 SIB다. MIB와 SIB1은 초기 절차의 토대로서 후속 SIB 수신 경로를 열어준다. SIB31은 서빙 위성에 대한 동기 유지를 지원해 링크 안정성을 확보하고, SIB32는 가시성, 커버리지 변화를 예측을 돕는다. SIB33은 이웃 위성 및 셀에 대한 정보를 제공해 선보정을 돕는다. 결과적으로 SIB31,32,33으로 이어지는 흐름은 NTN에서의 초기접속 지연 감소, 동기 유지, 에너지 효율 등의 결과를 가져올 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

The work was supported by the MSIT, Korea, in part under the National Research Foundation of Korea grant (RS-2025-23323081), in part under the ITRC support programs (IITP-2025-RS-2021-II212046), and in part under the Convergence security core talent training business support program (IITP-2023-RS-2023-00266615) supervised by the IITP.

참고 문헌

- [1] 심성훈, 정해준. (2025-02-05). 저궤도 위성 통신에서의 시간선행 조정 기법. 한국통신학회 학술대회는문집, 강원.
- [2] 심성훈, 유병하, 정해준. (2025-06-18). 저궤도 위성 통신에서 GNSS Fix 간격에 의한 시간 오차 분석. 한국통신학회 학술대회는문집, 제주.
- [3] K. Wang et al., "Sampling Frequency Offset Analysis and Compensation for OFDM-Based LEO Satellite Communication System," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 73, no. 9, pp. 8362-8376, Sept. 2025.
- [4] 3GPP TS 36.331, v17.0.0, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification".
- [5] Z. Zhou, N. Accettura and P. Berthou, "A Wake-Up Strategy Enabling GNSS-Free NB-IoT Links to Sparse LEO Satellite Constellations," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 12, no. 12, pp. 21996-22011, 15 June15, 2025.
- [6] 3GPP TS 36.331, v18.7.0, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification".
- [7] 3GPP TS 36.331, v19.0.0, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification".