

## 3GPP 5G 규격 기반 지상/비지상 통신 단말 모뎀 소프트웨어 개발

### Development of Terminal Modem Software for Terrestrial/Non-Terrestrial Communication Based on 3GPP Standards

김 미 경

Mi Kyoung Kim

#### 요 약

3GPP에서는 5G NR(new radio) 규격의 지상 망(TN-terrestrial network)의 한계를 보완하고, 비지상 망(NTN-non-terrestrial network)의 원활한 도입을 위해 5G NR 규격을 베이스로 비지상 망 규격을 정의하여 지상, 비지상 망의 규격을 통합하고자 하고 있다. 본 논문에서는 이러한 규격 움직임에 대한 현재까지의 상황을 정리하고, 이를 적용한 단말 모뎀 소프트웨어를 구현하는 방법을 제시한다. 지상, 비지상이 기존 망의 개별 특성을 지원하지만 동일한 베이스의 규격을 따르는 특성을 반영한 소프트웨어를 구현하고자 통합 단말 소프트웨어 구조로 설계한다. 효과적인 구현을 위해 단말 소프트웨어 구조 설계상 고려할 점, 통합 단말 소프트웨어 구조로 설계할 때의 장단점을 정리하고, 이를 반영한 실제 설계 구조를 제시한다. 이와 더불어 현재 3GPP 지상/비지상 통합 규격의 한계에 대해 언급하고, 앞으로 나아갈 방향에 대한 글로벌 움직임을 정리한다.

#### Abstract

In order to supplement the limitations of the fifth-generation New Radio (5G NR) standard and to introduce the non-terrestrial network (NTN) smoothly, the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) intends to define an NTN standard based on the 5G NR standard to integrate the terrestrial network (TN) and NTN specifications. In this article, the current situation for this standard movement is summarized, and a method of implementing terminal modem software to which it is applied is presented. Although it supports individual characteristics of TNs and NTNs, it is designed as an integrated terminal software structure to implement software that reflects characteristics that follow the specifications of the same base. For effective implementation, considerations in designing a terminal software structure and the advantages and disadvantages when designing an integrated terminal software structure are summarized, and actual design structures reflecting them are presented. In addition, the limitations of the current 3GPP terrestrial/non-terrestrial integrated standard are discussed, and global progress on future directions is summarized.

Key words: 5G, 3GPP, NR(New Radio), TN(Terrestrial Network), NTN(Non-Terrestrial Network), Terminal Modem(User Equipment Modem)

「이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2021-0-00743, 3GPP 비지상 규격 기반 위성통신 단말용 모뎀 개발].」

에이피위성(주) 위성통신SW실(Satellite Software Laboratory, APSI)

· Manuscript received November 11, 2021 ; Revised December 18, 2021 ; Accepted January 5, 2022. (ID No. 20211111-002S)

· Corresponding Author: Mi Kyoung Kim (e-mail: mkkim@apsi.co.kr)

## I. 서 론

6G(sixth generation) 시대를 바라보고 있는 지금 언제 어디서나 누구에게나(ATAWAD-any time, any where, any device) 동일한 품질의 통신 서비스 환경을 제공하고자 공통된 규격 기반으로 여러 이 기종 통신 시스템을 통합하려는 시도가 있다. 이를 주도하고 있는 기관은 사실 표준화 기구인 3GPP(3<sup>rd</sup> generation partnership project)로 5G(fifth generation) 규격 또한 주도하고 있다. 3GPP에서는 비지상(non-terrestrial) 통신 규격을 지상(terrestrial) 통신 규격의 베이스를 따르되, 비지상 통신 시스템의 특성을 고려하여 변경한 프로세스, 파라미터를 활용하는 것이 문제가 없는지 분석, 수정 반영하는 형태로 NTN(non-terrestrial network) 규격을 제정하고 있다<sup>[1]~[7]</sup>. 여기서 제정하고 있는 5G 규격들이 사실상 6G 통합 시스템(network of networks) 표준의 근간이 되어 발전, 진화할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 현 시점에서의 3GPP 5G 기반의 지상/비지상 통합 규격에 대해 간략히 정리하고, 이를 실제 단말에 적용하여 구현하는 방법을 정리한다. 특히, 지상/비지상의 이 기종 무선 액세스를 지원하지만 공통 활용 부분과 특정 활용 부분의 기능 세분화를 통한 통합 통신 프로토콜 스택 소프트웨어 구현 방안을 제안함으로써 향후 통합 단말을 개발하는 데 도움이 되고자 한다. 일반적으로는 무선 액세스 별 각기 다른 프로토콜 스택 소프트웨어를 구현하고, 실제 활성화된 액세스 용 소프트웨어만을 구동하는 방식을 따른다. 두 시스템 간 핸드오버가 지원되는 경우라 하더라도 시스템 사이에 제어 관리자를 두어 양 시스템의 무선 환경을 모니터링 하고 있다가 망과의 통신을 통해 한쪽 시스템을 활성화시킨다. 이는 개별 액세스 환경의 특성을 충분히 반영할 수 있는 이득이 있지만 유사하거나 동일한 기능에 대해 중복된 설계, 구현 작업을 만들어 내어 경제적, 시간적 손실을 발생시킬 수 있는 단점이 있다. 특히 지상/비지상의 3GPP 규격 통합화에 따라 두 시스템의 유사한 점이 상대적으로 많은 상황에서 이러한 개별 구현 방식은 불필요한 자원 낭비를 초래할 수 있다. 따라서 공통 부분을 통합 구현하는 방식을 통해 지상/비지상 단말 소프트웨어의 개발 구현 및 관리를 위한 시간/노동 자원 및 소프트웨어 구성 자원 활용

을 극대화 할 수 있을 것이다. 또한 여러 무선 액세스 관련 규격들이(예를 들어, V2X(vehicle-to-everything)) 3GPP에 모여 하나의 규격으로 통합되어 가는 추세<sup>[1]</sup>(3GPP, Rel-16, Rel-17)를 볼 때에도 통합 소프트웨어 구조가 무선 액세스 특성 반영과 자원의 효율적 활용이라는 두 가지 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그 외 현재까지 제정된 3GPP 지상/비지상 통합 규격의 미흡한 점, 해결하여 나아갈 점을 언급하면서 본 논문을 마무리 짓는다.

## II. 3GPP 5G 지상/비지상 규격 동향

3GPP에서는 5G 활성화와 생태계 확장을 위해 NR(new radio) 기반의 지상 이동 통신 규격 외에 여러 종류의 버티컬 서비스를 동일 환경에서 지원할 수 있도록 V2X, 비지상 망(NTN), non-3GPP 망 서비스 지원이 가능하도록 규격을 제정하고 있다. 5G NR 규격을 베이스로 5G NR 규격을 따르되, 각 버티컬 서비스의 요구사항에 맞게 최소한의 변화를 적용하여 하나의 우산 아래 모든 서비스가 가능하도록 하는 것이 기본 방향이다<sup>[1]</sup>.

특히 비지상 망, NTN은 차별화된 광범위한 서비스 커버리지 및 자연 재해 탄성 특성, 저비용의 멀티캐스트/브로드캐스트 특성을 가지고 있어 지상 5G망이 서비스 되지 않거나 서비스가 취약한 지역에 비용 효율적인 5G 서비스를 제공할 수 있어 진정한 ATAWAD로 확장 가능한 시스템으로 인식되고 있다.

그림 1은 TR 38.821<sup>[3]</sup>의 NTN 기반의 NG-RAN-CN(next generation-radio access network-core network) 망 구조에 기존 NR 기반의 지상 망(TN)을 합한 통합 망 구조의 개념도이다. 여기서 위성은 서비스 링크(service link)와 피더 링크(feeder link)의 주파수 변환 및 증폭 기능을 위한 Transponder 역할의 Transparent 위성일 수도 있고, 지상 망의 기지국 gNB(next generation node B) 기능을 수행하는 Re-generative 위성(ONB-on board processing 위성)일 수도 있다. 각각의 위성 종류에 따라 gNB 기능의 위치가 위성 또는 게이트웨이 이후 단으로 변경된다. 여기서 지상 망(TN), 비지상 망(NTN)을 둘 다 지원하는 단말이 있다면 지상 gNB로의 무선 Uu 인터페이스(UMTS: universal

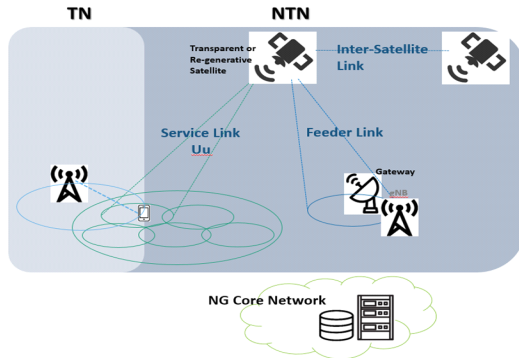


그림 1. 3GPP 지상/비지상 통합 망 구조 개념도<sup>[3]</sup>  
Fig. 1. 3GPP TN/NTN integrated network architecture diagram.

mobile telecommunications system) Air Interface: 3GPP 단말(UE-user equipment))과 무선 액세스 망(RAN-radio access network) 사이의 에어 인터페이스에 더해 위성으로의 무선 Uu 인터페이스를 통해 끊김 없는 5G 서비스를 받을 수 있다. 여기서 적용되는 3GPP Uu 인터페이스의 규격은 동일하되, 무선 자원 제어 파라미터와 일부 프로시저가 변경될 것이므로 단말 입장에서는 동일(혹은 유사) 인터페이스로 여러 망의 서비스를 받을 수 있게 된다.

## 2-1 3GPP 비지상 망(NTN) 규격 연구

3GPP RAN 그룹에서는 2017년 Rel-15 RAN SI(study item)로 NR의 NTN 적용 가능성 연구를 선정하여 NTN 표준화 연구를 시작하였고, NTN 적용 시나리오와 NTN 채널 모델 정의, NTN 지원 시 NR에 미치는 영향에 대한 결과, 리포트 TR(technical report) 38.811<sup>[2]</sup>을 산출하였다. 이를 기반으로 NTN 표준화가 필요한 규격 이슈에 대해

Rel-16 SI를 후속 선정하였고, NTN 기반의 NG-RAN 구조 및 NTN 적용을 위한 NR 프로토콜 계층 별 이슈와 여러 솔루션을 제시하는 TR 38.821<sup>[3]</sup>을 2019년 12월 산출하였다. 현재는 최종 규격(TS-technical specification) 반영을 위해 Rel-17 WI(work item)으로 NR-NTN 솔루션을 선정하고, 2022년 상반기까지 완료하는 것을 목표로 규격 연구 진행 중이다. NR-NTN 솔루션으로 최종 결정된 내용은 내년 상반기까지 TS 38-series의 규격 문서에 반영된다.

이와 함께 SA(service and system aspects) 그룹에서는 위성 접속에 대한 요구사항 정의를 위한 Rel-16 SI를 선정하여 2018년 6월 TR 22.822<sup>[4]</sup>를 산출하였고, 2018년 12월 TS 22.261<sup>[5]</sup>에 5G 시스템 요구사항으로 반영하였다. 위성 접속 구조 요구에 대한 Rel-17 SI 연구에서는 2019년 12월 TR 23.737<sup>[6]</sup>을 산출하였다.

CT(core network and terminals) 그룹에서는 2020년 6월부터 2022년 상반기 완료를 목표로 위성망 지원을 위한 5G 핵심망(5GC-5G core) 구조에 대한 연구를 진행 중인데, 지상 5G 핵심망 구조의 작은 변경만으로 위성 백홀 및 NR-NTN 접속을 지원 가능한 것으로 결론 내리고 Rel-17의 TS 23, 24-series의 규격 문서에 반영 중이다.

Rel-17 NTN 규격이 완성되는 2022년 하반기부터는 Rel-17에서 제정된 규격의 미흡한 점을 보완·발전시키는 형태로 3GPP RAN, SA, CT TSG(technical specification group)에서 Rel-18 규격을 추가 연구할 예정이다. 통상 규격이 안정화되는 것은 Enhanced 버전일 때부터이므로 Rel-18 규격이 진정한 NR-NTN 규격의 완성이라고 볼 수 있다.

그림 2에 Rel-15부터 Rel-18까지의 3GPP NTN 규격 연

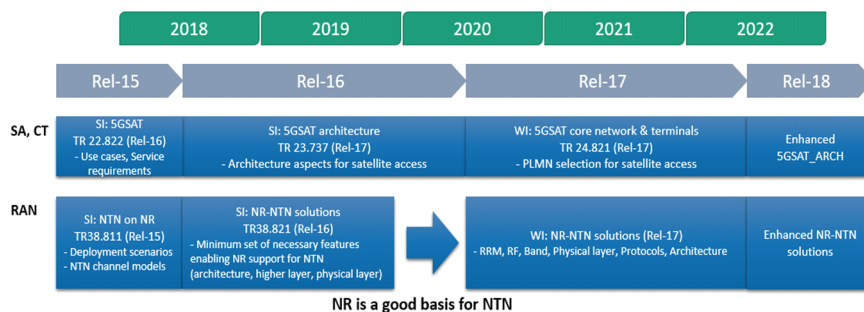


그림 2. 3GPP NTN 표준 상태 요약 <sup>[1]~[7]</sup>  
Fig. 2. 3GPP NTN standard status summary.

구 관련하여 연도 별, Release 별 진행 사항에 대해 간략히 정리하였다. 그림에는 중요한 부분만 정리 기술하였으므로 더 자세한 사항은 3GPP 웹사이트<sup>[1]</sup> 및 3GPP 워킹 그룹의 주제별 회의록을 통해 파악할 수 있을 것이다.

## 2-2 3GPP 비지상 망(NTN) 무선 액세스 솔루션 연구

3GPP에서는 비지상 무선 액세스 환경의 특성인 긴 지연시간, 가변 지연시간, 위성 움직임에 따른 큰 도플러 효과, 위성 종류별 액세스 환경 차이, 광범위한 빔 커버리지, 단말 위치별 큰 지연 차이, 움직이는 셀 위치 상황, 단말 위치 정보 사용 여부에 대한 영향 등을 설계 제한 사항으로 두고 전체 망 구조 및 상위 프로토콜 계층과 하위 물리 계층 관점의 NTN 솔루션을 찾는 연구를 진행하였다<sup>[3]</sup>. 이는 3GPP에 다른 액세스 기술을 도입할 때와 마찬가지로 NR 규격을 베이스로 비지상 즉, 항공/우주의 무선 특성을 적절히 반영할 수 있도록 기존 규격을 변형, 수정하는 형태로 NTN 규격을 연구, 제정할 때 원활한 NTN 무선 통신이 가능한지 확인하기 위한 연구이다. Rel-16 SI NTN 솔루션 규격에서 고려한 대표적인 솔루션은 다음과 같다(표 1 참조).

- 긴 지연시간 및 큰 도플러 쉬프트 영향을 고려한 계층 별 Timer 값 연장
- 긴 시간 동안 전송하는 데이터를 관리하는 데 필요한 긴 PDCP(packet data convergence protocol) sequence

number 지원

- PDCP와 같은 이유로 긴 RLC(radio link control) sequence number 지원
- HARQ(hybrid auto repeat request) process 개수 조정
- 긴 RTT(round trip time)에 의한 ACK/NACK(acknowledgement/negative acknowledgement) 처리 지연을 해결하기 위한 HARQ feedback, retransmission disabling
- HARQ disabling에 따른 수신 데이터 에러 보정을 위한 RLC status reporting 횟수 조정
- 하향링크 동기를 위한 전후 도플러 쉬프트(pre-/post-Doppler shift) 보상
- 긴 거리 지연시간을 반영하여 상향링크 동기를 잡기 위한 TA(timing advance) 방법 변경
- Common timing/frequency offset 도입
- 불필요한 반복 송수신을 없애기 위한 2-step RACH(random access channel) procedure 도입
- 움직이는 셀(혹은 빔)에 의한 잦은 TA(tracking area) 변경을 해결하기 위한 earth-fixed tracking area, 이동성 관리 절차 보완

결론적으로 3GPP는 Rel-15 및 Rel-16의 SI 연구를 통해 NR 규격의 틀 안에서 NTN 규격을 정할 수 있음을 확인하였고, 이에 “NR은 NTN을 지원하기 위한 좋은 베이스가 될 수 있다”는 결론에 도달하였다<sup>[8]</sup>. 이를 바탕으로 3GPP는 NR-NTN 솔루션을 Rel-17의 공식 WI로 선정하였

표 1. TR 38.821, NTN 솔루션<sup>[3]</sup>

Table 1. TR 38.821, NTN Solutions.

Issue			Solution
Physical/MAC	DL synchronization	Doppler shift, long delay	Pre-/Post-compensation of Doppler shift, common offset
	UL synchronization (TA, RACH)	TA variation, long delay, long procedure (4-step RA)	Common timing/frequency offset, use of UE/Satellite position information, 2-step random access, Enhanced PRACH formats/preamble sequences
	UL scheduling	Long delay	SR/BSR/Grant procedure optimization
Retransmission issue	HARQ	Long delay, need more HARQ processes	UL HARQ ACK disabling, UL retransmission disabling
RLC/PDCP	Timer	Long delay	Longer timers: <i>t-Reassembly</i> , <i>discardTimer</i> , <i>t-Reordering</i>
	SN	Large window size	Longer RLC/PDCP SN
Mobility	Tracking area	Frequent TA change	Handover, TAU, Paging

다. Rel-17에서는 중요성, 시급성 등을 고려해 여러 가능한 NTN 시나리오 중에서 다음의 4가지 제한된 환경을 가정하고, RAN1(physical), RAN2(MAC(medium access control) / RLC(radio link control) / PDCP(packet data convergence protocol), Idle/connected control, mobility), RAN3(NG-RAN 구조), RAN4(RRM(radio resource management)) 위킹 그룹에서 무선 액세스 상세 규격을 제정 중이다<sup>[7]</sup>.

- FDD(frequency division duplexing)
- Earth-fixed tracking areas with Earth-fixed and moving cells
- UEs with GNSS(global navigation satellite system) capabilities
- Transparent payload satellite
- Handheld devices in FR1(frequency range 1)
- VSAT(very small aperture terminal) devices with external antenna in FR2(frequency range 2)

최초 3GPP에서 고려하였던 NTN 시나리오는 참고문헌 [2], 참고문헌 [3]에서 언급된 바와 같이 가능한 시나리오들을 모두 고려하였고, 이를 토대로 최종 4가지 제한된 시나리오 환경을 선별하였다.

비지상 망은 우주/항공 환경 특성 상 긴 지연시간 한계 때문에 time-critical한 TDD(time division duplexing)보다는 FDD를 적용하는 경우가 많아 3GPP NR-NTN의 첫 번째 규격 단계에서는 FDD 환경을 가정하였다. 그러나 규격 상 TDD가 NR-NTN 환경에서 아예 배제되는 것은 아니다<sup>[7]</sup>.

비지상 망에서 기지국은 위성이나 HAPS(high altitude platform station) 형태이므로 지상 망과 달리 기지국 자체가 계속해서 움직이고, 이에 따라 생성된 빔 커버리지 또한 지표면에서 계속해서 움직인다. 이에 위성은 지표면 상의 지역에 최대한 맞추어 빔을 쏘아 일정 커버리지 빔을 형성하거나(earth-fixed beam=steerable beam), 위성의 움직임과 상관없이 일정 방향으로 빔을 쏘아 움직이는 빔(earth-moving beam)을 형성한다. 그러나 3GPP 지상 망에서의 셀 개념(위성에서의 빔 개념에 대비되는 것)은 지표면 지역에 따라 고정된 형태이고, 이를 기준으로 단말의 이동성 관리를 하기 때문에 이를 비지상 망에 반영하

기 위해 여러 방안이 고려되었고<sup>[3]</sup>, Rel-17에서는 잦은 Tracking Area Update를 막을 수 있도록 지표면 상의 Tracking Area는 지표면 상의 지역에 맞추어 형성하고 위성의 빔 형태에 따라 다르게 Tracking Area Update하는 방식으로 정의하였다.

위성의 종류도 초기 SI에는 Transparent, Re-generative 위성 둘 다 고려되었으나, 규격 제정의 시급성 및 복잡성을 고려하여 Rel-17에서는 주파수 변환 및 증폭 기능만을 지원하는 Transparent 위성으로 한정하였다.

디바이스의 경우, 단말의 장거리 전송에 따른 감쇄 영향 및 수용 가능 배터리 용량을 고려해서 이동형 단말은 FR1 주파수 영역을, 고정형 단말은 FR2 주파수 영역을 지원하는 시나리오를 선정하였다.

### III. 지상/비지상 통신 단말 모뎀 소프트웨어 구조

#### 3-1 지상 프로토콜 스택

3GPP NTN 규격이 NR 기반으로 정해지는 만큼 NTN을 지원하는 단말 소프트웨어를 구현하기 위해서는 지상 NR 규격의 프로토콜 스택 구조를 이해해야 한다. 그림 3은 3GPP에서 정의한 5G NR 프로토콜 스택 구조이다<sup>[9]</sup>.

단말과 gNB 기지국 사이에는 무선 액세스를 위한 AS(access stratum) 계층인 Layer 1(L1), Layer 2(L2), Layer 3(L3)가 존재하고 다음과 같다.

- Layer 1(L1): PHY(physical)
- Layer 2(L2): MAC, RLC, PDCP, SDAP(service data adaptation protocol)
- Layer 3(L3)-RRC(radio resource control)

무선 자원 관리를 위한 제어 평면은 RRC를 통해 L1, L2의 파라미터를 구성, 관리한다. 패킷 데이터를 전달하는 데이터 평면은 제어 평면에서 정한 규칙에 따라 무선 베어러(RB: radio bearer) 별, 논리 채널(logical channel) 별, 매 시간 물리 계층에서 전송 요청한 길이 만큼의 전송 블록(TB: transport block)을 구성하여 전달한다<sup>[9]</sup>.

단말과 NG(next generation) 핵심 망(CN: core network) 사이에는 핵심 망 서비스를 위한 NAS(non-access stratum)

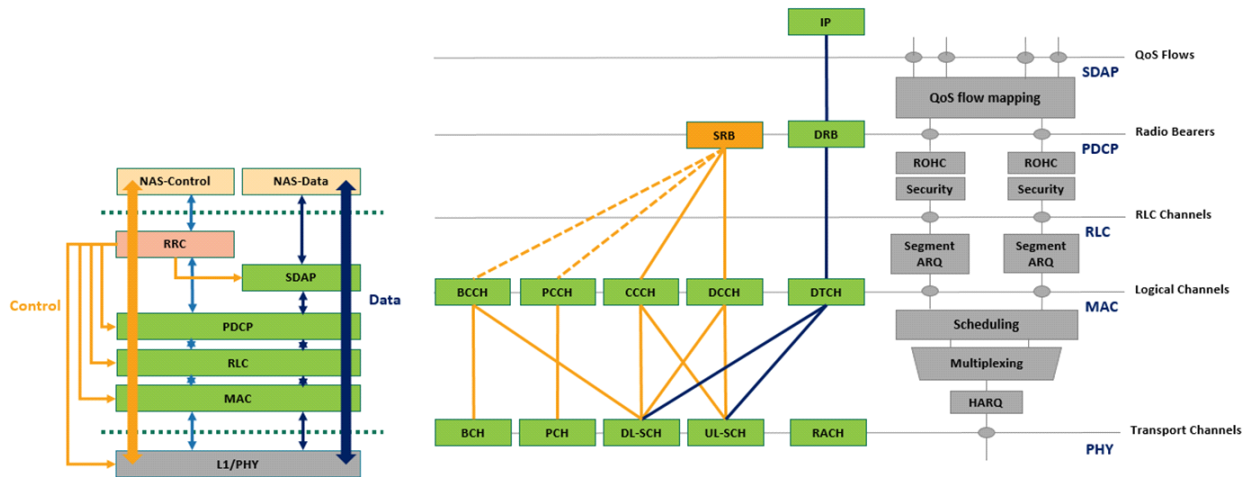


그림 3. 5G NR 프로토콜 스택 구조  
Fig. 3. 5G NR protocol stack architecture.

계층인 MM(mobility management)과 SM(session management)이 존재하고, 각각 다음의 기능을 수행한다.

- MM(mobility management): 이동성 관리
- SM(session management): 세션 관리

5G NR이 도입되면서 4G(fourth generation)에서 변화된 가장 큰 변화는 단말 및 무선 환경의 요구사항에 따라 물리 자원을 다르게 적용할 수 있는 유연성 확보이다. 이에 따라 물리 계층의 Subcarrier Spacing, 사용 대역폭, 하향 링크, 상향 링크의 비율도 필요에 따라 적절하게 선택할 수 있다. 특히 Dynamic TDD 방식은 한정된 자원으로 최대한 많은 유저의 요구사항을 만족시킬 수 있어 현재 5G NR을 지원하는 대부분의 통신 사업자가 TDD 방식을 채택하는 근거가 된다. 반면에 NTN은 긴 지연시간을 가지는 우주/항공 환경을 고려하여 FDD 방식을 우선 고려한다. 5G NR 규격 자체가 FDD, TDD 둘 다 지원하고 동일 액세스 망을 통한 동시 FDD, TDD 지원도 가능하도록 정의하고 있으므로 지상, 비지상 망에서 다른 이중통신모드(duplex mode)를 활용하는 것은 3GPP 5G 규격에 영향을 미치지 않는다. 규격상 이 기종 이중통신모드를 사용하는 경우, RRC configuration 및 상향 링크, 하향 링크의 타이밍 핸들링 동작 부분에 영향을 미치므로 실제 구현 시

RRC, L1에서의 차이를 예상할 수 있다.

### 3-2 지상/비지상 프로토콜 스택

앞 절의 지상 NR 프로토콜 스택 설명과 앞 장의 비지상 NTN 규격 설명을 베이스로 정리하면 NTN 프로토콜 스택도 전체적인 구조가 NR과 동일하다는 결론에 도달한다. 단, NTN 규격에 따른 변형된 프로시저, 파라미터 등의 반영이 필요하다.

따라서 지상/비지상 둘 다 지원하는 프로토콜 스택 소프트웨어 설계 시 NR 기반으로 설계를 하되, NTN에서 변형된 부분을 지원할 수 있도록 해당 기능이 구현된 부분을 유연한 구조로 설계한다면 다수의 소프트웨어 구성 요소를 재활용할 수 있다는 결론에 도달한다.

그림 4(b)는 이러한 기준으로 설계된 지상/비지상 통신 모뎀 소프트웨어 구조의 개략도로 RRC의 NR/NTN configuration 관리 및 MAC의 HARQ operation에 대한 상세 그림을 포함하고 있다. 비교를 위해 그림 4(a)에 분리 소프트웨어의 개략적인 구조도도 함께 표기하였다. 지상/비지상 통합 프로토콜 스택 소프트웨어에서 가장 큰 영향을 받는 MAC의 경우(물리 계층을 제외하고), NTN에서 추가된 상향링크 feedback disabling, 상향링크 retransmission disabling이 HARQ process 별로 적용 가능하도록 하고, Random Access 과정도 2-step, 4-step으로 유연하게

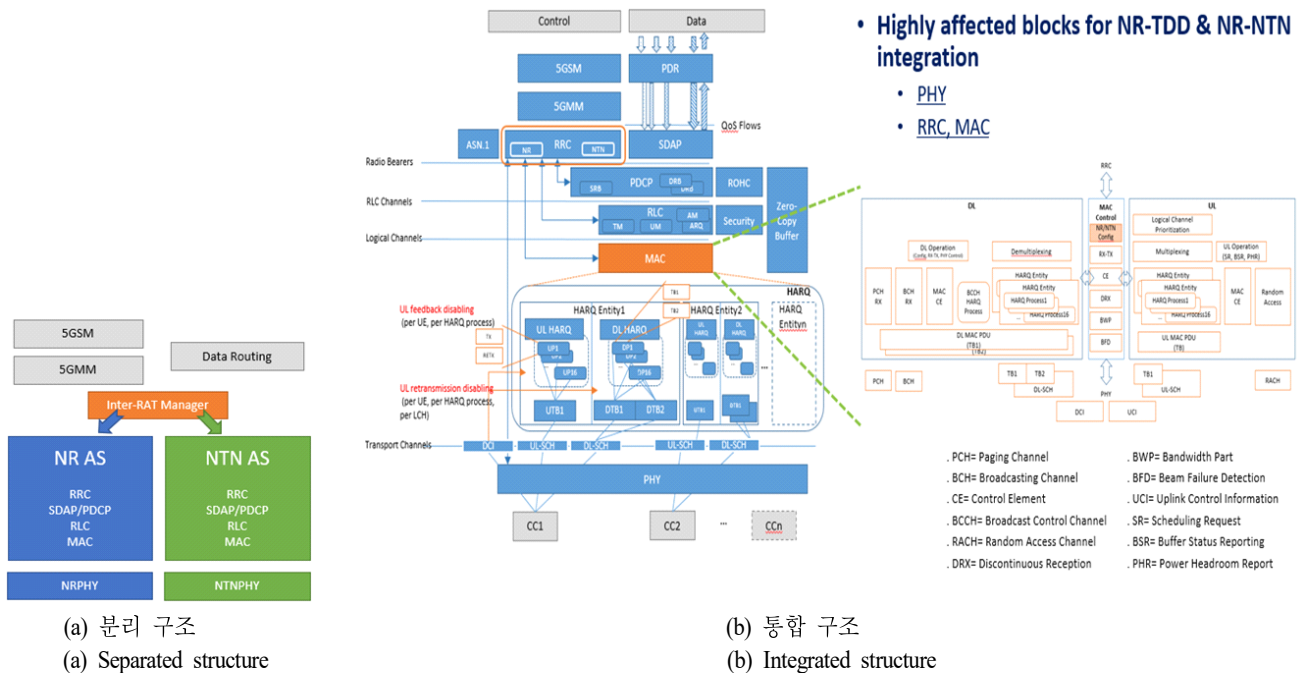


그림 4. 지상/비지상 단말 모뎀 프로토콜 스택 소프트웨어 구조  
Fig. 4. TN/NTN terminal modem protocol stack software structure.

변경 적용될 수 있도록 구조를 설계한다. 그 외 주요 추가 기능 역시 RRC-MAC-PHY의 상호 제어가 가능한 구조 즉, MAC 내 제어 평면의 분리 및 RRC, PHY 인터페이스의 일원화를 통해 기능 설정 및 구현 관리할 수 있다(그림 4(b)의 MAC 상세 구조도).

지금까지의 내용을 전체적으로 정리하면, 3GPP Rel-16 SI 규격 기준, NR 규격을 베이스로 세부 구현 방식을 변경, 적용하는 형태로 NTN 프로토콜 스택 소프트웨어 구현이 가능하고, 이를 바탕으로 동일한 구조에서 NR/NTN 둘 다 지원하는 프로토콜 스택 소프트웨어도 구현 가능한 것으로 귀결된다.

일반적으로는 무선 액세스 종류에 따라 다른 프로토콜 스택 소프트웨어를 구현하고, 여러 이 기종 무선 액세스의 동시 지원이 필요할 경우, 듀얼 또는 멀티플 스택 구조로 소프트웨어를 구성한다. 실제 동작에서는 현재 동작 중인 액세스용 소프트웨어만 구동되고, 다른 액세스용 소프트웨어는 대기 상태가 된다. 이는 메모리 측면과 소프트웨어 코드 개발/유지보수 관리 측면에서 낭비이지만 무선 액세스 종류에 따라 프로토콜 스택 규격이 다르게

정의되는 특성상 따로 구현하고 적용할 수밖에 없는 상황이다. 그러나 지상/비지상 단말의 경우, 3GPP 규격 안으로 통합되고 NR을 기준으로 변이 적용된 형태로 NTN 규격이 정리되고 있으므로, 이 기종이지만 동일하게 활용할 수 있는 부분과 반드시 다르게 구현해야 하는 부분을 적절히 세분하고, 차이가 있는 부분의 활용이 쉽도록 유연하게 구현한다면 동일한 소프트웨어 상으로도 최소한의 추가 구현으로 여러 액세스 망을 구성할 수 있는 장점을 가질 수 있다. 또한 규격 전체 중 일부 기능만을 포함하는 단말의 경우(예를 들면, 단말 모뎀에 연결되는 RF (radio frequency), 특성-FR1/FR2, 대역폭-에 따라 적용되는 기능이 다른 단말)를 위해서 기능에 따라 추가하고 삭제하는 것을 유연하게 할 수 있도록 세분화의 정도를 정밀하게 하여 소프트웨어를 설계하는 것도 중요하다. 소프트웨어 기능의 세분화 정도는 실제 구현 후 활용 분석을 통해 계속해서 적절히 조절하도록 수정 보완도 해야 한다. 일부는 세분화 정도에 따라 오히려 자원 낭비를 초래할 수 있으므로 시스템 설계 전 미리 세운 정량적인 규칙을 가지고 판단하고 수정 설계해야 할 것이다. 예를 들면 동



일 기능의 코드가 얼마나 자주 활용되는지에 따라 함수나 모듈로의 분리 방안 규칙과 같은 것이 그것이 될 수 있다.

예를 들어, 5G NR/NTN에서 성능에 영향을 미치는 가장 큰 팩터인 L2/L3 프로코콜 스택과 L1/PHY의 시간 관계도는 그림 5와 같이 정리할 수 있다 (단, 그림에서는 이

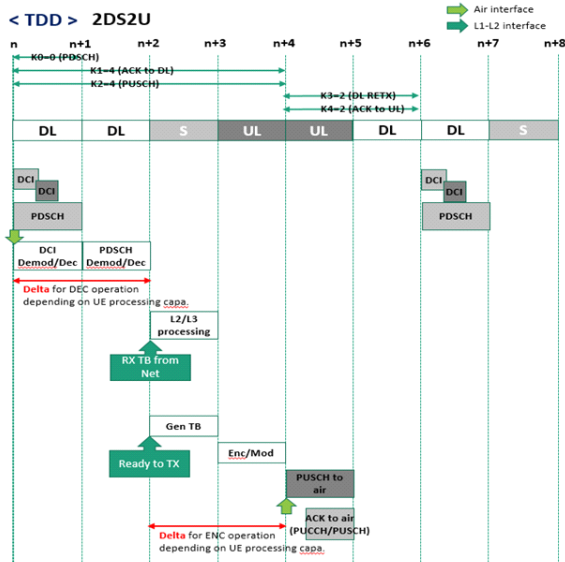


그림 5. L2/L3-L1/PHY 시간 관계도 예제

Fig. 5. Example of L2/L3-L1/PHY timing relationship.

해를 쉽게 하기 위해 각 블록 동작 시간을 슬롯 단위로 그렸으나, 실제 5G NR 규격에 따르면 블록 동작의 허용 시간이 심볼 단위로 더 짧아진다). 시간 관계도에 언급된 공통 팩트인 **Delta** 부분을 주목해서 보자. 이는 무선 데이터 처리 시 물리 계층의 ENC/DEC(encoder/decoder), MOD/DEMODO(modulation/demodulation)에 해당하는 시간 및 L2/L3 처리 시간을 고려하여 정해진 값으로 이를 미리 계산, 선정하여 시간 스케줄러에서 핸들링하는 형태로 구현하면 NR/NTN, TDD/FDD 여부와 상관없이 동일 구조의 프로토콜 스택 소프트웨어를 완성할 수 있음을 알 수 있다. 시간 민감도는 무선 액세스 고유의 특성으로 **Delta**시간을 줄이기 위해서 짧은 시간 내에 더 많은 처리가 가능하도록 높은 클럭의 CPU(central processing unit) 코어를 여러 개 동시 활용할 수 있는 고사양의 하드웨어를 도입하거나, 일부 반복 동작을 하드웨어로 직접 로직화 하는 식의 하드웨어의 도움을 받아 해결할 수도 있다. 그러나 시간 자체는 줄이고 늘리고 하더라도 일정 시간 필요한 **Delta** 팩터를 미리 가정하고 설계하므로 다른 무선 액세스 시스템 임에도 소프트웨어 시간 관계도 상으로는 동일한 팩터가 되는 것이다. 이러한 공통 팩터를 뽑아 내어 기능 및 절차를 세분화하고 공통 설계하는 것이 통합 소프트웨어에서 핵심으로 고려해야 하는 사항이다.

표 2에 지금까지 논의된 통합 소프트웨어 구현의 장단

표 2. 이 기종 무선 액세스 소프트웨어 구현 방안 장단점

Table 2. Advantages and disadvantages of implementing various types of wireless access software.

Per each wireless access technology	Advantages	Disadvantages
Integrated method (proper for integrated standard orientation)	Efficient resource utilization (economic effectiveness-time, physical resources, maintenance management) → Basic actions (SYNC, RX/TX) that must be performed in wireless access are characterized by similar order/procedure and are therefore applicable to other access environments	Difficulty reflecting individual wireless access characteristics. → It can be overcome by subdividing and implementing it so that flexibility is secured, but it is difficult to establish a standard for subdividing (quantitative rules must be established before design/implementation). → Requires backward/forward compatibility support by access technology
Separated method (traditional way)	Possible to optimize software design/implementation for individual wireless access characteristics. → High degree of freedom in development without considering compatibility	Waste of time, physical resources, unnecessary redundant use of resources, and difficulty in maintenance management. → Required redundant implementation of similar functions. All codes of same functions need to be corrected in case of an error.



점을 정리하였다. 여러 장단점이 있으나 규격이 통합되어 가는 방향성 측면(6G 통합 시스템(network of networks))에서 무선 액세스 별 소프트웨어 구조를 적절히 튜닝하는 통합 소프트웨어 방식으로 구현해 가는 것이 새로운 시스템 구현에 이득을 가져다 줄 수 있다. 단, 세분화 기준 및 공통 팩터 산출은 추가로 고려되어야 하는 사항으로 소프트웨어 구현의 숙련도와 연관되는 부분이다. 그러나 소프트웨어 구현의 반복작업을 고려할 때 시간이 흐름에 따라 계속해서 정량적 기준에 따라 상향 업그레이드 되므로 미래에는 더욱 개선된 소프트웨어로 정리될 것을 예상할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 3GPP에서 논의 중인 지상(TN), 비지상(NTN) 규격 동향, 이를 기반으로 한 단말 모뎀 소프트웨어 구현 시 고려해야 할 사항 및 전체 통합 소프트웨어 구조에 대해 정리하였다. NR 규격을 베이스로 NTN 규격이 정의되었으므로 지상/비지상 통합 소프트웨어도 TN 지원 소프트웨어 기준으로 일부 특정 기능의 세부 구현 방식을 변경, 적용하는 형태로 NTN 지원이 가능함을 충분히 확인할 수 있었다. 무선 액세스 별 각기 다른 프로토콜 스택 소프트웨어를 구현하고, 실제 활성화된 액세스 용 소프트웨어만을 구동하는 기존 방식이 아닌 통합된 소프트웨어 구조를 활용함으로써 자원 재활용 및 개발 구현/관리 시간 절감의 효과를 누릴 수 있다. 통합된 기능 별 세분화 부분은 정량적 기준을 통해 계속해서 업그레이드하여 중단에는 최적화된 소프트웨어에 이를 수 있는 장점도 가질 수 있다. 또한 이는 무선 액세스 관련 규격들이(예를 들어, V2X), 3GPP 표준 하에 모여 하나의 규격으로 통합되어 가는 추세에도 부합한다<sup>[1]</sup>(3GPP, Rel-16, Rel-17).

지금까지 3GPP에서는 NTN 설계를 기존 NR을 최대한 활용하면서 NTN 특성을 반영하여 변경 부분을 최소화하는 형태로 진행하였다. 이는 NTN을 NR에 통합(integration)하는 형태의 진화를 고려하는 것이지, NTN에 최적화(optimization)된 형태의 진정한 망 통합(unification)을 지향하는 것이 아니다. 이러한 관점에 대해서 3GPP도 공감하고 있으나 5G NR을 베이스로 변경 설계하고자 한 가

정 하에서는 다른 무선 액세스 특성을 충분히 적용하기 어려운 점 등을 들어 Rel-20(2025년)부터 새로이 진행되는 6G에서나, 최적화가 가능할 것이란 예측을 내놓고 있다<sup>[10]</sup>. Rel-20 이전 Rel-18, Rel-19의 “5G Advanced”에서는 3GPP가 지향하는 방향으로의 규격 연구 노력을 진행하고, 이후 이 기종 액세스 망 간의 진정한 통합을 위한 6G 규격을 본격 연구할 것으로 예상된다. 단, 현재의 3GPP 표준 하에서 여러 무선 액세스 방식이 통합되어 제정 관리되는 방향성 만은 동일하게 유지될 것이다.

3GPP 규격이 업데이트되어 진정한 지상/비지상 망이 통합될 때, 망 측면과 더불어 단말 솔루션 측면에서도 여러 변화가 필요할 것이다. 이에 맞추어 단말 하드웨어/소프트웨어 솔루션 설계도 다르게 적용되어야 하므로, 이에 유연하게 대처할 수 있는 소프트웨어가 필요하다. 이에 본 논문에서 제시한 방안을 토대로 규격 변화에 맞는 유연성이 적용될 부분에 대한 추가 고찰이 지속되어야 한다.

#### References

- [1] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project." Available: <https://www.3gpp.org>
- [2] *Study on new radio(NR) to support non-terrestrial networks (release 15)*, 3GPP TR 38.811, v15.1.0, Jun. 2019.
- [3] *Solutions for NR to support non-terrestrial networks (release 16)*, 3GPP TR 38.821, v16.2.0, Dec. 2019.
- [4] *Study on using satellite access in 5G: Stage 1(release 16)*, 3GPP TR 22.822, v16.0.0, Jun. 2018.
- [5] *Service requirements for the 5G system: Stage 1(release 16)*, 3GPP TS 22.261, v16.6.0, Dec. 2018.
- [6] *Study on architecture aspects for using satellite access in 5G(release 17)*, 3GPP TR 23.737, v17.0.0, Dec. 2019.
- [7] *Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)*, RP-210908, WID NR-NTN for Rel-17 v5.0, 3GPP RAN #91e, Mar. 2021.
- [8] X. Lin, S. Rommer, S. Euler, E. A. Yavuz, and R. S. Karlsson, "5G from space: An overview of 3GPP non-terrestrial networks," *IEEE Communications Standards Magazine*, Oct. 2021.

- [9] *NR and NG-RAN overall description: Stage 2(release 16)*, 3GPP TS 38.300, v16.0.0, Dec. 2019.
- [10] 5GIA, "European vision for the 6G network ecosystem,"

Jun. 2021. Available: <https://5g-ppp.eu/european-vision-for-the-6g-network-ecosystem/>

김 미 경 [에이피위성(주)/실장]

<https://orcid.org/0000-0002-5752-2083>



1999년 2월: 아주대학교 전기전자공학부 (공학사)

2001년 3월: 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 (공학석사)

2010년 1월: 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 공학박사 수료

2017년 5월~현재: 에이피위성(주) 위성통

신SW실 실장

[주 관심분야] 5G, 6G, 이동통신, 위성통신, 소프트웨어, 모뎀