

개방형 5G 프론트홀 기술 동향

Technological Trends in Open 5G Fronthaul

이재승 (J.S. Lee, jasonlee@etri.re.kr) 무선분산통신연구실 책임연구원/전문위원
박재우 (J.W. Park, pj153k@etri.re.kr) 무선분산통신연구실 책임연구원/기술총괄
이문식 (M.S. Lee, moonsiklee@etri.re.kr) 무선분산통신연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

Traditional centralized radio access network architecture used for 4G is based on Option 8, a functional split between PHY and RF. This option is commonly used with a fronthaul interface based on common public radio interface (CPRI) specifications; however, the increased data rates in 5G make this option impractical because of the fronthaul interface's high bandwidth requirement. Since CPRI specifications have many vendor-specific options, achieving multi-vendor interoperability becomes challenging. Open RAN (O-RAN) Alliance is developing novel open fronthaul interface specifications based on the functional split Option 7-2x, one of the intra-PHY split options, to relax the bandwidth requirement of the fronthaul interface and achieve multi-vendor interoperability. This article provides a brief overview of the various functional split options for 5G fronthaul that have been reported so far and existing fronthaul technologies. Further, the technological trends in the 5G open fronthaul interface is discussed, focusing on the O-RAN Alliance specifications under standardization.

KEYWORDS O-RAN Alliance, 개방형 프론트홀 인터페이스(Open Fronthaul Interface), 오픈랜(Open RAN)

1. 서론

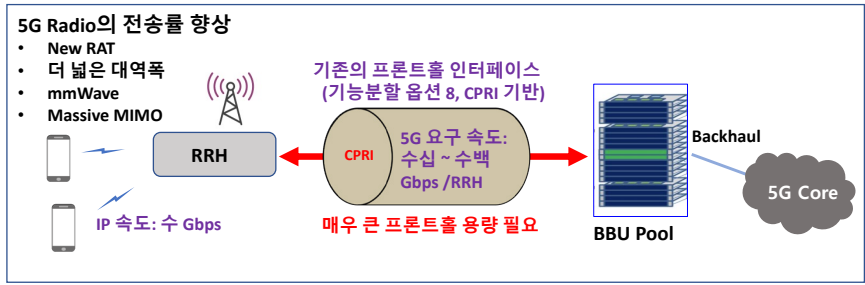
기존 4G에서 사용되던 C-RAN(Centralized RAN) 구조는 PHY와 RF 사이를 나누는 기능 분할 옵션 8을 기반으로 하고 있으며, CPRI(Common Public Radio Interface)[1] 기반의 프론트홀 인터페이스가 널리 사용되고 있다. 5G에서는 더 넓은 대역폭, mmWave, Massive MIMO 지원 등을 통해 기존 4G

에 비해 데이터 전송률이 대폭 향상되었으며, 기능 분할 옵션 8 기반의 기존 C-RAN 구조를 사용하여 5G 서비스를 제공하려면 CPRI 기반 프론트홀 인터페이스에서 수백 Gbps 급의 전송률이 요구된다는 문제점이 발생한다[2]. 그림 1은 이러한 기존 C-RAN 구조의 한계를 나타낸 것이다.

5G 서비스에서 요구되는 프론트홀 인터페이스에 대한 높은 전송률 요구사항을 완화시키기 위해서는

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2022.J.370301>

* 이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2019-0-01360, 동적 기능분할을 지원하는 개방형 기지국 분산 유닛(DU) 기술 개발].



출처 Reproduced from [3], 공공누리 2유형.

그림 1 기존 C-RAN 구조의 한계

기존에 사용되던 기능 분할 옵션 8이 아닌 보다 상위에서의 기능 분할 옵션을 기반으로 한 RAN(Radio Access Network) 구조를 고려해야 한다. 또한 기존 CPRI 규격은 많은 벤더 고유 옵션들을 포함하고 있으며, 이로 인해 벤더들 간의 호환성 문제를 가지고 있어 이를 해결할 수 있는 개방형 프론트홀 기술이 필요하다[3].

이와 같은 요구사항을 만족시키기 위해 3GPP에서 다양한 기능 분할 옵션들(기능 분할 옵션 1~8)에 대한 논의가 진행되었으며, O-RAN(Open Radio Access Network) Alliance에서는 intra-PHY 기능 분할 옵션 중의 하나인 옵션 7-2x를 기반으로 새로운 개방형 프론트홀 인터페이스 규격을 개발하고 있다.

본고에서는 5G 프론트홀을 위해 논의되어 온 기능 분할 옵션들 및 기존 프론트홀 기술들을 간단하게 살펴보고, O-RAN 참조 구조에 대해 알아보며, O-RAN Alliance의 프론트홀 규격[4,5]을 중심으로 개방형 5G 프론트홀 기술 동향에 대해 기술하고자 한다.

II. 프론트홀 기능 분할 옵션

3GPP에서는 5G 프론트홀 인터페이스에 대한 높은 전송률 요구사항을 완화시키기 위해 다양한 기

능 분할 옵션들에 대한 논의를 진행하였으며, 최상위 분할 옵션인 기능 분할 옵션 1부터 최하위 분할 옵션이며 기존 CPRI 인터페이스 기반의 RAN 구조에서 사용되는 옵션 8까지 논의가 진행되었다[6].

3GPP의 기능 분할 옵션 1은 RRC와 PDCP 사이의 분할, 옵션 2는 PDCP와 High-RLC 사이의 분할(즉, PDCP와 RLC 사이의 분할), 옵션 3은 High-RLC와 Low-RLC 사이의 분할(즉, intra-RLC 분할), 옵션 4는 Low-RLC와 High-MAC 사이의 분할(즉, RLC와 MAC 사이의 분할), 옵션 5는 High-MAC과 Low-MAC 사이의 분할(즉, intra-MAC 분할)이다.

3GPP의 기능 분할 옵션 6은 Low-MAC과 High-PHY 사이의 분할(즉, MAC과 PHY 사이의 분할), 옵션 7은 High-PHY와 Low-PHY 사이의 분할(즉, intra-PHY 분할), 옵션 8은 Low-PHY와 RF 사이의 분할(즉, PHY와 RF 사이의 분할)이다.

하위 계층 분할에서 상위 계층 분할로 갈수록 프론트홀에 대한 대역폭 요구사항은 완화되지만, 제어 신호 전달 오버헤드가 커지고 RU(Radio Unit)의 구현 복잡도 및 처리 부담이 커지며, 새로운 기능 추가 및 확장 시 DU(Distributed Unit)뿐만 아니라 RU까지 업그레이드해야 하기 때문에 하위 계층 분할에 비해 상위 계층 분할은 상대적으로 기능 확장이 어려워진다. 이러한 사항들을 고려하여 다양한 기능

분할 옵션들이 논의되었다.

3GPP에서는 이와 같은 기능 분할 옵션들에 대한 논의 결과를 상위 계층 분할(HLS: Higher Layer Split, 기능 분할 옵션 1~5에 해당)과 하위 계층 분할(LLS: Lower Layer Split, 기능 분할 옵션 6~8에 해당)로 나누어 정리하였다.

2017년 4월 3GPP에서 상위 계층 분할은 옵션 2(PDCP와 High-RLC 사이의 분할)를 선택하는 것으로 결정되었으며, 3GPP는 상위 계층 분할을 위해 F1 인터페이스를 정의하였고, 이를 3GPP 규격 TS 38.470~TS 38.475에 구체적으로 명시하였다. F1 인터페이스는 CU(Central Unit)와 DU(Distributed Unit) 사이의 인터페이스이며, 이는 미드홀 인터페이스에 해당한다.

3GPP의 하위 계층 분할은 옵션 6(MAC과 PHY 사이의 분할)과 옵션 7(intra-PHY 분할), 옵션 8(PHY와 RF 사이의 분할, 기존 CPRI 기반 구조에 해당)이 있으며, 옵션 7은 PHY 내부의 어느 단계를 분할하는지에 따라 옵션 7-1, 7-2, 7-3 등으로 더욱 세분화된 옵션이 존재한다. 이 중 구체적으로 어느 옵션을 선택할지는 3GPP 내에서는 결정되지 않았다.

3GPP에서는 하위 계층 분할의 경우 l s-CU(Lower Layer Split Central Unit), l s-DU(Lower Layer Split Distributed Unit)라는 용어를 사용하며, 각각 CU(Central Unit)/DU(Distributed Unit) 및 RU(Radio Unit)에 해당한다. O-RAN에서는 O-CU(O-RAN Control Unit), O-DU(O-RAN Distributed Unit) 및 O-RU(O-RAN Radio Unit)라는 용어를 사용하며, 각각 CU(Central Unit), DU(Distributed Unit), RU(Radio Unit)에 해당한다.

DU와 RU 사이의 인터페이스는 Fx 인터페이스라고 불리기도 하며, 3GPP의 하위 계층 분할에서 l s-CU와 l s-DU 사이의 인터페이스이고, 이는 프론트홀 인터페이스에 해당한다.

하위 계층 분할 옵션 6은 MAC과 PHY 사이의 분할로, PHY 및 RF가 l s-DU에 위치하고, MAC, RLC, PDCP 등 상위 계층 기능들은 l s-CU에 위치한다.

intra-PHY 분할 옵션 중의 하나인 하위 계층 분할 옵션 7-3은 다운링크의 경우에만 적용할 수 있는 옵션으로, PHY 기능들 중에서 Coding, Rate Matching, Scrambling 등은 l s-CU에 위치하고, 나머지 하위 PHY 기능들은 l s-DU에 위치한다.

하위 계층 분할 옵션 7-2의 경우, 다운링크에 대해서는 IFFT, CP 추가, 리소스 매핑, 프리코딩 기능 등의 하위 PHY 기능들은 l s-DU에 위치하고, 나머지 상위 PHY 기능들은 l s-CU에 위치한다. 업링크에 대해서는 FFT, CP 제거, 리소스 디매핑 기능 등의 하위 PHY 기능들은 l s-DU에 위치하고, 나머지 상위 PHY 기능들은 l s-CU에 위치한다.

하위 계층 분할 옵션 7-1의 경우, 다운링크에 대해서는 IFFT, CP 추가 기능 등의 하위 PHY 기능들이 l s-DU에 위치하고, 나머지 상위 PHY 기능들은 l s-CU에 위치한다. 업링크에 대해서는 FFT, CP 제거 기능 등의 하위 PHY 기능들은 l s-DU에 위치하고, 나머지 상위 PHY 기능들은 l s-CU에 위치한다 [6].

O-RAN 프론트홀 인터페이스는 intra-PHY 분할 기반이며, 3GPP 하위 계층 분할 옵션 7-2를 변형한 옵션 7-2x를 사용하고, 이에 대한 세부사항은 V장에서 기술한다.

III. 프론트홀 관련 주요 표준 기술

이 장에서는 프론트홀 관련 표준 기술로 CPRI[1], eCPRI[2], O-RAN 프론트홀 인터페이스 [4]에 대해 간략하게 기술한다. 그림 2는 세 가지 프론트홀 기술 간의 차이점 및 프로토콜 스택을 비교,

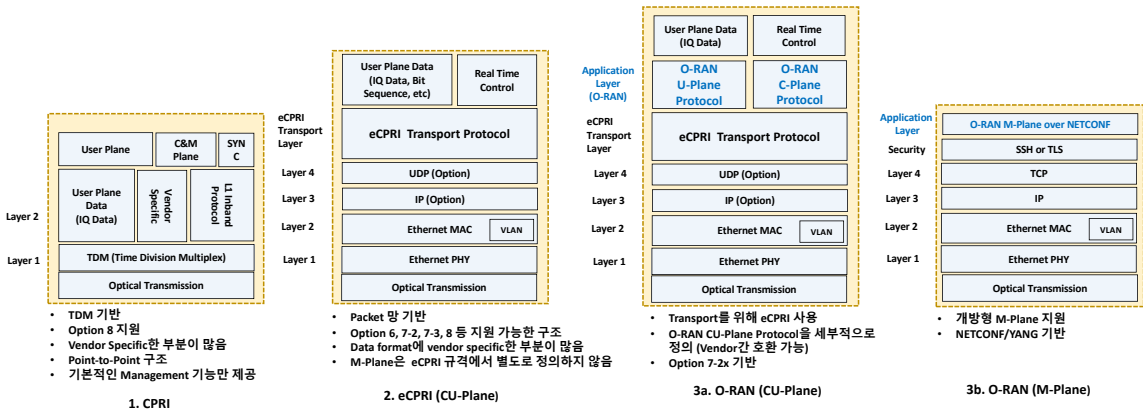


그림 2 프론트홀 기술 간의 차이점 및 프로토콜 스택 비교

요약한 그림이다.

1. CPRI

CPRI(Common Public Radio Interface)[1]는 DU (Digital Unit)와 RU(Radio Unit) 사이의 주요 신호 연동 인터페이스 규격으로, 기존 4G의 C-RAN 구조에서는 기능 분할 옵션 8 형태로 CPRI 기반의 프론트홀 인터페이스를 주로 사용하였다. CPRI 포럼에서 에릭슨, 화웨이, NEC, 노텔, 알카텔, 루슨트, 노키아 등의 주도로 개발되었으며, 안테나 시그널이 TDM 형태로 전달되는 방식을 사용하고, Point-to-Point 구조를 지원한다. DU와 RU는 CPRI 인터페이스를 통해 사용자 평면 데이터, CPRI 제어 및 관리 데이터, 동기 정보 등을 교환하며, 사용자 평면 데이터는 베이스밴드 디지털 IQ 스트림 형태로 CPRI Basic Frame 내의 IQ Data Block에 포함되어 전달되고, 제어 및 관리 데이터는 CPRI Basic Frame 내의 Control Word를 통해 전달된다. CPRI 표준 규격에는 Vendor Specific한 부분이 많아 멀티 벤더 간 호환에 문제가 있으며, 기본적인 관리 기능만 제공한다[3].

2. eCPRI

eCPRI(enhanced Common Public Radio Interface)[2]는 CPRI 포럼에서 개발한 패킷 기반 프론트홀 인터페이스로 에릭슨, 화웨이, NEC, 노키아 등이 참여하여 개발하였다. CPRI와는 다르게 UDP/IP, 이더넷 등 패킷 전송망을 기반으로 한다. O-RAN 프론트홀 인터페이스에서도 eCPRI를 트랜스포트 프로토콜로 사용하고 있다.

eCPRI에서 정의한 프로토콜을 통해 사용자 평면 데이터(IQ 데이터, 비트 시퀀스 등), 실시간 제어 정보 등을 전달할 수 있으며, 동기화, 제어 및 관리, 연결 유지 등에 대한 프로토콜은 eCPRI에서 별도로 정의하지 않고 기존의 PTP(Precision Time Protocol), SyncE(Synchronous Ethernet), SNMP(Simple Network Management Protocol), 이더넷 OAM(Operations, Administration, and Maintenance) 등을 사용할 수 있고, 이에 대한 세부사항은 eCPRI 규격 범위 밖으로 규정하고 있다.

CPRI가 기능 분할 옵션 8만 지원할 수 있는 것에 반해, eCPRI는 다양한 PHY 기능 분할 옵션들

(옵션 6, 7-2, 7-3, 8 등)을 지원할 수 있다. 하지만 데이터 포맷에 Vendor Specific한 부분이 많아 멀티 벤더 간 호환에 문제가 있으며, eCPRI를 위한 별도의 M-Plane(관리 평면)은 정의되어 있지 않다[3].

3. O-RAN 프론트홀 인터페이스

O-RAN(Open Radio Access Network) Alliance에 서는 5G 기술의 프론트홀 인터페이스에 대한 높은 전송률 요구사항을 완화하고 멀티 벤더 간의 호환성을 제공할 수 있는 개방형 프론트홀 인터페이스 규격[4,5] 개발을 진행 중이다. O-RAN Alliance의 WG4(Open Fronthaul Interfaces Working Group)에서 intra-PHY 분할 옵션에 해당하는 하위 계층 분할 옵션 7-2를 변형한 기능 분할 옵션 7-2x를 기반으로 한 개방형 프론트홀 인터페이스 규격을 개발 중이며, C-Plane(제어 평면) 및 U-Plane(사용자 평면) 메시지를 전송하기 위한 트랜스포트 프로토콜로 eCPRI를 Mandatory로 사용한다.

O-RAN 프론트홀 인터페이스 규격에서는 eCPRI 위에서 동작하는 O-RAN 프론트홀 인터페이스 C-Plane(제어 평면) 및 U-Plane(사용자 평면) 프로토콜을 세부적으로 정의하여 멀티 벤더 간 호환이 가능하며, S-Plane(동기 평면), 개방형 M-Plane(관리 평면) 규격도 함께 제공한다. S-Plane에서는 PTP 및 SyncE를 사용하고, M-Plane은 NETCONF(Network Configuration Protocol)[7]를 기반으로 하며, NETCONF는 M-Plane 메시지 전송을 위해 TCP/IP, 보안을 위해 SSH(Secure Shell) 혹은 TLS(Transport Layer Security)를 사용한다. 또한 O-RAN 프론트홀 M-Plane에서는 데이터 모델링 언어로 YANG(Yet Another Next Generation) [8]을 사용한다.

O-RAN 프론트홀 인터페이스 기술에 대한 보다 세부적인 사항은 V장에서 기술한다.

V. O-RAN Alliance 참조 구조

2018년 xRAN 포럼과 C-RAN Alliance가 합쳐져 O-RAN Alliance가 설립되었으며, AT&T, NTT DOCOMO, Verizon, KT, SKT, LGU+, 노키아, NEC, 삼성전자, 에릭슨 등 334개에 달하는 글로벌 통신사들과 장비 제조사들이 참여 중이다. O-RAN Alliance는 개방형이고 지능적이며 가상화되고 완전히 상호운용 가능한 RAN 기술 표준을 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

O-RAN 참조 구조[9]에는 AI/ML 기반으로 무선 자원을 더욱 효율적으로 관리할 수 있는 지능형 RAN Controller(RIC: RAN Intelligent Controller)가 도입되었다. RIC는 Non-real-time RIC와 Near-real-time RIC로 기능이 분리되며, Non-real-time RIC는 RAN 정책 관리, RAN 분석 등을 수행하고, 기계 학습 트레이닝 모델을 만들어 A1 인터페이스를 통해 Near-real-time RIC에 제공한다. Near-real-time RIC는 A1 인터페이스를 통해 Non-real-time RIC로부터 제공받은 정책 및 트레이닝 모델을 기반으로 실시간에 가까운 향상된 무선 자원 관리 기능을 수행한다. Near-real-time RIC는 E2 인터페이스를 통해 측정 데이터 수집 및 제어 기능을 수행한다. Non-real-time RIC의 기능은 rApp이라고 불리는 개방형 표준 API 기반의 응용을 통해 확장 가능하며, Near-real-time RIC의 기능은 xApp이라고 불리는 개방형 표준 API 기반의 응용을 통해 확장 가능하다 [9]. Non-real-time RIC는 WG2(Non-real-time RAN Intelligent Controller and A1 Interface Workgroup)에서 규격 개발을 담당하고 있으며, Near-real-time RIC는 WG3(Near-real-time RIC and E2 Interface Workgroup)에서 규격 개발을 담당하고 있다.

O-RAN 참조 구조에서는 O-Cloud 도입을 통한 RAN 가상화를 지원하며, Near-real-time RIC,

O-CU, O-DU 등에 대해 RAN 하드웨어와 소프트웨어를 분리하여 각각을 다른 업체로부터 공급받아 사용할 수 있도록 한다. O-Cloud는 WG6(Cloudification and Orchestration Workgroup)에서 규격 개발을 담당하고 있다[10].

O-RAN 참조 구조에서 SMO(Service Management and Orchestration)는 O-RAN 구성 요소들에 대한 관리 인터페이스(O1), Non-real-time RIC에 대한 인터페이스(A1), O-Cloud 관리 인터페이스(O2)를 지원한다. O1 인터페이스 규격 개발은 WG10(OAM Workgroup)에서 담당하고 있다[10].

O-CU는 C-Plane(O-CU-CP: RRC 및 PDCP-C 기능 포함)과 U-Plane(O-CU-UP: SDAP 및 PDCP-U 기능 포함)이 분리되어 있으며, E1 인터페이스로 서로 연결되고, 3GPP 규격의 F1/W1/E1/X2/Xn 인터페

이스를 지원한다. WG5(Open F1/W1/E1/X2/Xn Interface Workgroup)에서는 F1/W1/E1/X2/Xn 인터페이스를 위한 멀티 밴더 프로파일 규격을 개발하고 있다[10].

O-DU는 RLC, MAC, High-PHY 기능을 포함하고 있으며, O-RU는 Low-PHY 및 RF 기능을 포함하며, WG4(Open Fronthaul Interfaces Workgroup)에서는 O-DU와 O-RU 사이의 프론트홀 인터페이스 규격인 Open Fronthaul CUS-Plane 및 M-Plane 규격을 개발하고 있다[4,5].

이밖에 WG1(Use Cases and Overall Architecture Workgroup)은 O-RAN 전체 구조 및 Use Case 정의를 담당하고 있으며, WG7(White-box Hardware Workgroup)은 화이트박스 기반의 개방형 기지국의 하드웨어에 대한 참조 디자인을 개발 중이고, WG8(Stack Reference

표 1 O-RAN Alliance의 각 WG별 담당분야

WG 이름	담당분야
WG1(Use Cases and Overall Architecture Workgroup)	O-RAN 전체 구조 및 Use Case 정의, 각 WG별 표준화 역할 배분
WG2(Non-real-time RAN Intelligent Controller and A1 Interface Workgroup)	RAN에 대한 비실시간(Non-real-time) 지능형 무선 자원 관리, 상위 레이어 절차 최적화 및 정책 최적화 등을 지원하는 Non-real-time RIC 및 AI/ML 모델 제공과 피드백 수집을 위한 A1 인터페이스 개발
WG3(Near-real-time RIC and E2 Interface Workgroup)	RAN 구성 요소 및 자원을 실시간에 가깝게(Near-real-time) 제어하고 최적화할 수 있는 Near-real-time RIC 및 E2 인터페이스 개발
WG4(Open Fronthaul Interfaces Workgroup)	멀티 밴더 간 호환이 가능한 개방형 프론트홀 인터페이스(O-DU와 O-RU 사이의 인터페이스 규격) 개발
WG5(Open F1/W1/E1/X2/Xn Interface Workgroup)	F1/W1/E1/X2/Xn 인터페이스를 위한 멀티 밴더 프로파일 규격(O-CU 및 O-DU 사이의 인터페이스와 관련된 프로파일) 개발
WG6(Cloudification and Orchestration Workgroup)	Near-real-time RIC, O-CU, O-DU 등에 대해 RAN 하드웨어와 소프트웨어를 분리하여 RAN 가상화를 실현할 수 있도록 하기 위한 클라우드 플랫폼에 대한 참조 구조 개발
WG7(White-box Hardware Workgroup)	화이트박스 기반의 개방형 기지국의 하드웨어 참조 디자인 개발
WG8(Stack Reference Design Workgroup)	O-CU 및 O-DU를 위한 소프트웨어 구조 및 참조 디자인 개발
WG9(Open X-haul Transport Workgroup)	이더넷 인터페이스 기반의 프론트홀, 미드홀, 백홀에서의 전송 기술을 담당하며 PON, xWDM, DOCSIS 등에 대한 기술 요구사항, 아키텍처 등을 정의
WG10(OAM Workgroup)	관리 인터페이스인 O1 인터페이스 OAM(Operation Administration Maintenance) 규격 개발

Design Workgroup)은 O-CU 및 O-DU를 위한 소프트웨어 구조 및 참조 디자인 개발을 담당하고 있다. WG9(Open X-haul Transport Workgroup)은 인터넷 인터페이스 기반의 프론트홀, 미드홀, 백홀에서의 전송 기술을 다루고 있는 워킹 그룹이다[9]. 표 1은 앞서 기술한 O-RAN Alliance의 각 Workgroup별 담당 분야를 요약한 것이다[9-11].

V. O-RAN 프론트홀 기술 내용

1. O-RAN 기능 분할 구조

O-DU는 다수의 O-RU를 제어할 수 있으며, O-DU와 O-RU는 실시간 제어 정보 및 사용자 데이터를 프론트홀 인터페이스를 통해 송수신한다. O-DU는 3GPP의 IIs-CU에 해당하며, O-RU는 3GPP의 IIs-DU에 해당한다.

O-RAN WG4에서는 3GPP의 하위 계층 분할 옵션 7-2를 변형한 기능 분할 옵션 7-2x를 기반으로 프론트홀 규격을 개발하고 있다.

기능 분할 옵션 7-2x에서는, 다운링크에서는 OFDM Phase 보상, IFFT 및 CP 추가, 디지털 빔포밍 기능 등은 O-RU에 포함되며, 다운링크의 나머지 PHY 기능들(Resource Element Mapping, Layer Mapping, Modulation, Scrambling, Rate Matching 및 Coding 등)은 O-DU에 포함된다. U-Plane(사용자 평면) 데이터는 RE(Resource Element)/PRB(Physical Resource Block) 기반으로 프론트홀 인터페이스를 통해 전달된다. 프론트홀 인터페이스를 통해 데이터 전달 시 옵션으로 IQ 압축을 적용할 수도 있다[4].

다운링크에서는 프리코딩 기능이 O-RU에서 수행되는지의 여부에 따라 카테고리 A와 카테고리 B로 나뉜다. 프리코딩이 O-RU에서 수행되지 않고 O-DU에서 수행되는 옵션을 카테고리 A라고 하며(옵션 7-2a), 프리코딩이 O-DU에서 수행되지 않고

O-RU에서 수행되는 옵션을 카테고리 B(옵션 7-2b)라고 한다.

업링크에서는 OFDM Phase 보상, FFT 및 CP 제거, 디지털 빔포밍 기능은 O-RU에 포함되며, 업링크의 나머지 PHY 기능들(Resource Element Demapping, Equalization, Demodulation, Descrambling, Rate Dematching 및 Decoding)은 O-DU에 포함된다[4].

기능 분할 옵션 7-2x를 기반으로 하는 O-RAN 프론트홀 인터페이스는 기존의 CPRI보다 상위에서 기능 분할을 함으로써 5G의 프론트홀 인터페이스에 대한 높은 데이터 전송률 요구사항을 완화시킬 수 있다. 또한 U-Plane 데이터를 프론트홀 인터페이스를 통해 전송할 때 Resource Element/Physical Resource Block 기반으로 전송하여 데이터 매핑이 단순화되고 관련 제어 시그널을 줄일 수 있다. 또한 많은 기능을 O-DU에 뮌으로써 새로운 기능을 소프트웨어 업그레이드만으로도 제공 가능하다.

2. 프론트홀 메시지 전송 절차

O-RAN 프론트홀에서 전송되는 C-Plane 메시지는 스케줄링 정보, 빔포밍 정보 등의 제어 정보를 전달하고, U-Plane 메시지는 IQ 데이터를 전달하며, S-Plane 관련 데이터는 타이밍 및 동기 정보를 전달한다.

C-Plane 메시지를 전송하는 주목적은 사용자 데이터 처리에 필요한 제어 정보(U-Plane 메시지 관련 처리 명령, 스케줄링 정보, 빔포밍 관련 파라미터 등)를 전달하기 위함이다. C-Plane 메시지들은 관련 U-Plane 메시지들보다 먼저 전송되어 해당 U-Plane 메시지들에 대한 제어 정보를 전달한다.

하나의 C-Plane 메시지가 여러 개의 U-Plane 메시지에 대한 제어 정보를 전달할 수도 있으며, 한 OFDM 심볼을 위해 여러 개의 U-Plane 메시지들

이 전송될 수도 있다. 예를 들어, 다운링크 전송 시에 O-DU가 O-RU에게 다수의 다운링크 심볼 #M, #M+1, ..., #N의 처리에 필요한 C-Plane 메시지를 먼저 전송한 후, 해당 심볼 #M, #M+1, ..., #N에 대한 IQ 데이터를 포함하는 다수의 다운링크 U-Plane 메시지들을 순차적으로 전송할 수 있다. 업링크 전송 시에는 O-DU가 O-RU에게 다수의 업링크 심볼 #M, #M+1, ..., #N의 처리에 필요한 C-Plane 메시지를 먼저 전송한 후, O-DU가 O-RU로부터 해당 심볼 #M, #M+1, ..., #N에 대한 IQ 데이터를 포함하는 다수의 업링크 U-Plane 메시지들을 순차적으로 수신할 수 있다.

3. O-RAN 프론트홀 메시지 구조

그림 3은 O-RAN 프론트홀에서 사용되는 C-Plane 메시지의 일반적인 구조를 요약하여 나타낸 것이다[3].

C-Plane 메시지는 Two-layered header approach를 사용하며, 첫 번째 레이어는 eCPRI Transport Header를 포함하고, 두 번째 레이어는 제어를 위해 필요한 필드들을 포함하는 O-RAN Application Layer이다.

eCPRI Transport Header는 메시지 타입(IQ 데이터 메시지/제어 메시지 구분), 특정 Data Flow 식별을 위

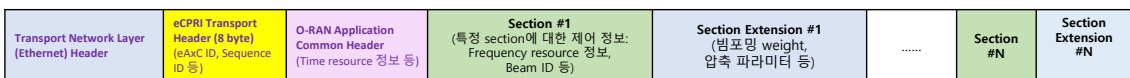
한 eAxC(extended Antenna-Carrier) ID 정보, Sequence ID 정보 등을 포함한다.

O-RAN Application Common Header에는 특정 C-Plane 메시지와 연관된 Time Resource 정보(Frame ID, Subframe ID, Slot ID, Start Symbol ID 등) 및 Section Type 등에 대한 정보가 포함된다[4].

C-Plane 메시지에는 다수의 Section 및 Section Extension들이 포함될 수 있다. 각각의 Section은 동일한 Beam ID를 사용하는 등 공통적으로 처리될 수 있는 특정 범위의 U-Plane Data Symbol/PRB들에 대한 제어 정보들을 포함한다. 각 Section에는 Section ID 및 해당 Section이 적용되는 Frequency Resource 정보(Starting PRB, Number of PRB 등), 사용하는 Beam ID 정보 등이 포함된다. Section Extension은 C-Plane Section에 대한 추가 정보를 포함할 수 있으며, 사용하는 빔포밍 Weight, 압축 Parameter 등을 포함할 수 있다[4].

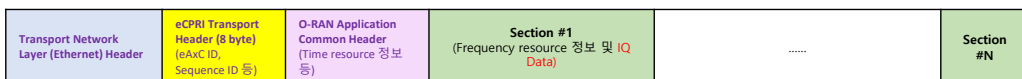
그림 4는 O-RAN 프론트홀에서 사용되는 U-Plane 메시지의 일반적인 구조를 요약하여 나타낸 것이다[3]. U-Plane 메시지의 각 Section에는 IQ Data가 포함되어 전송되며, eCPRI Transport Header, O-RAN Application Header 등의 구조는 일부 필드를 제외하고는 그림 3의 C-Plane 메시지와 유사하다.

eCPRI Transport Header의 eAxC ID를 통해 전송



출처 Reproduced from [3], 공공누리 2유형.

그림 3 O-RAN 프론트홀 C-Plane 메시지 구조



출처 Reproduced from [3], 공공누리 2유형.

그림 4 O-RAN 프론트홀 U-Plane 메시지 구조

되는 U-Plane 메시지와 연관된 Data Flow를 식별할 수 있고, Section ID를 통해 U-Plane 메시지의 특정 Section과 연관된 C-Plane 메시지의 제어 정보를 찾아 해당 데이터를 처리할 수 있다.

4. O-RAN 프론트홀 M-Plane

O-RAN 프론트홀 M-Plane은 원격에서의 O-RU 초기화 및 설정, 관리 기능을 제공한다. M-Plane은 NETCONF/YANG[7,8]을 기반으로 하는 개방형 인터페이스를 사용하며, Start Up Installation, 소프트웨어 관리, Configuration 관리, 성능 관리, Fault 관리, 파일 관리 등을 지원한다.

O-RAN 프론트홀 M-Plane 구조는 Hierarchical Model과 Hybrid Model 두 가지가 있다. Hierarchical Model의 경우 O-RU는 O-DU에 의해서만 직접 관리되며 O-DU와 SMO(Service Management and Orchestration) 사이의 인터페이스가 존재할 수 있으나, SMO가 직접 O-RU를 관리하지 않고 반드시 O-DU를 거쳐 관리해야 하는 구조이다. Hybrid Model의 경우, O-DU와 O-RU 사이의 인터페이스 이외에 추가적으로 SMO와 O-RU 간에 직접적인 논리적인 인터페이스가 존재한다. Hybrid Model을 사용할 경우, O-RU에 대한 소프트웨어 관리, 성능 관리, Configuration 관리, Fault 관리 등을 SMO가 직접 수행할 수도 있다[5].

Start Up Installation은 Transport 계층 초기화 및 M-Plane 연결 설정, O-RU 정보 수집, CU-Plane Transport 연결 설정, U-Plane 설정 등을 포함한다. Transport 계층 초기화 과정에서는 DHCP 절차를 수행하면서 O-RU 식별, VLAN Discovery, O-RU에 대한 IP 주소 할당, NETCONF 클라이언트 Discovery 등을 수행하게 된다. 그 다음 NETCONF Call Home 절차를 진행하여 NETCONF 클라이언트가

O-RU와 SSH 연결 및 NETCONF 세션을 설정하여 M-Plane 연결 설정을 완료하게 된다. M-Plane 연결 설정 후 NETCONF 클라이언트는 O-DU와 O-RU 사이의 CU-Plane Transport 연결 설정 및 U-Plane 설정 등을 수행할 수 있다[5].

소프트웨어 관리 기능은 O-RU의 소프트웨어 다운로드, 설치, 유효성 확인, 활성화 등을 원격에서 수행할 수 있도록 해 준다. 성능 관리 기능은 O-RU 동작의 최적화를 위해 NETCONF 클라이언트가 O-RU 동작 관련 측정, 카운터 정보 수집 등을 할 수 있도록 해 주며, O-RU가 측정 결과를 파일로 저장하고 해당 파일을 주기적으로 업로드하게 하는 방식과 NETCONF Notification 기능을 사용해 O-RU가 주기적으로 NETCONF 클라이언트에게 측정 결과를 Notification 형태로 전달하는 방식을 사용할 수 있다. Fault 관리 기능은 O-RU에서 발생한 Fault에 대한 Alarm Notification을 NETCONF 클라이언트에 전송할 수 있도록 해 주고, 파일 관리 기능은 NETCONF 클라이언트가 원격에서 O-RU에게 특정 파일을 업로드 혹은 다운로드할 수 있도록 해 준다. 파일 관리 기능에서는 반드시 sFTP를 사용해 파일을 전송해야 한다[5].

VI. 결론

본고에서는 O-RAN Alliance의 프론트홀 인터페이스 기술을 중심으로 개방형 5G 프론트홀 기술 동향에 대해 살펴보았다. 개방형 5G 프론트홀 기술은 5G 서비스에서 요구되는 프론트홀 인터페이스에 대한 높은 전송률 요구사항을 완하시켜주고 멀티 벤더 간의 호환성 문제를 해결할 수 있어 향후 수요가 급증할 것으로 예상되어 이에 대한 적극적인 기술 개발이 이루어져야 한다. 또한 O-RAN Alliance WG4에서는 Shared Cell, Shared O-RU, 업링크 전

송 성능 향상을 위한 기술 등에 대한 표준 규격을 지속적으로 개발하고 있으며, 이에 대한 빠른 표준화 대응도 필요할 것으로 판단된다.

용어해설

오픈랜 특정 벤더 혹은 하드웨어에 종속되지 않은 공개된 표준 인터페이스 기반의 장비들로 상호 호환이 가능하도록 RAN을 구성할 수 있는 기술

프론트홀 이동통신의 무선 접속망에서 DU(Digital Unit)와 RU(Radio Unit) 사이를 연결하는 링크

약어 정리

BBU	BaseBand Unit
CPRI	Common Public Radio Interface
C-Plane	Control Plane
C-RAN	Centralized Radio Access Network
eCPRI	enhanced Common Public Radio Interface
HLS	Higher Layer Split
LLS	Lower Layer Split
M-Plane	Management Plane
NETCONF	Network Configuration Protocol
O-CU	O-RAN Control Unit
O-DU	O-RAN Distributed Unit
O-RAN	Open Radio Access Network
O-RU	O-RAN Radio Unit
PRB	Physical Resource Block
PTP	Precision Time Protocol
RIC	RAN Intelligent Controller
RRH	Remote Radio Head

SMO	Service Management and Orchestration
SYNCE	Synchronous Ethernet
S-Plane	Synchronization Plane
U-Plane	User Plane
YANG	Yet Another Next Generation

참고문헌

- [1] CPRI Specification V7.0, Common Public Radio Interface (CPRI); Interface Specification, 2015.
- [2] eCPRI Specification V1.2, Common Public Radio Interface: eCPRI Interface Specification, 2018.
- [3] 5G 포럼, "개방형 5G 프론트홀 시장 전망 및 산업계 활성화 방안," 2021.
- [4] O-RAN Alliance Working Group 4(Open Fronthaul Interfaces WG), "Control, user and synchronization plane specification 8.0," 2021.
- [5] O-RAN Alliance Working Group 4(Open Fronthaul Interfaces WG), "Management plane specification 8.0," 2021.
- [6] 3GPP TR 38.801 V14.0.0, Study on New Radio Access Technology: Radio Access Architecture and Interfaces, 2017.
- [7] IETF, RFC 6241, Network Configuration Protocol (NETCONF), 2011.
- [8] IETF, RFC 7950, The YANG 1.1 Data Modeling Language, 2016.
- [9] O-RAN Alliance Working Group 1, "O-RAN architecture description 3.0," 2021.
- [10] O-RAN Alliance White Paper, "O-RAN use cases and deployment scenarios," 2020.
- [11] O-RAN Alliance White Paper, "O-RAN: Towards an open and smart RAN," 2018.