

O-RAN 기반 개방형 5G 프론트홀 인터페이스

안병준 한국전자통신연구원 표준연구본부 책임연구원

1. 머리말

5G 이동통신 서비스를 하려면 각 이동통신사는 전국망 규모로 수많은 5G 이동통신 기지국을 설치해야 한다. 5G에서 사용하는 3.5GHz 및 28GHz 고주파수 대역은 회절성이 낮고 직진성이 강해서 LTE보다 전파 도달거리가 짧다. 따라서 도심 인구 밀집 지역에서는 4G/LTE 때보다 더 많은 기지국을 촘촘히 설치해야 한다. 문제는 무선 속도 증가 및 MIMO 도입에 따른 프론트홀 용량 증대, 광선로 추가 증설의 필요성 등으로 이동통신 사업자들의 기지국 설치비용 및 운용비용이 늘어났다는 것이다.

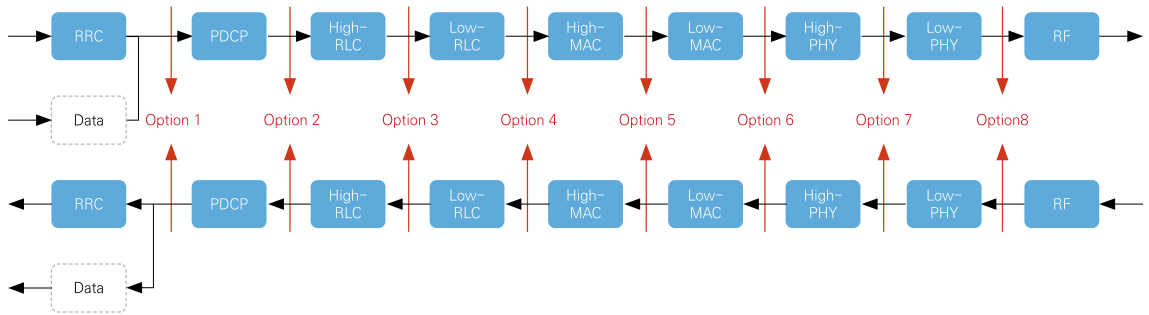
이러한 문제를 해결하려는 방안으로 5G 무선접속망 구조에서는 기지국을 집중기지국장치(Central Unit, CU)와 분산기지국장치(Distributed Unit, DU)로 분리하였다. 그리고 [그림 1]에서 보는 바와 같이 CU와 DU에 8가지 기능분리 옵션들(3GPP TR38.801[1])을 선택적으로 적용하여 다양한 구조를 띠는 개방

형 기지국 구조([그림 2] 참조)를 지원하게 하였다. 8가지 기능분리 옵션 중에서 상위계층 기능분리인 ‘옵션 2’는 3GPP에서 F1 인터페이스로 표준화되었다. 하위계층 기능분리인 ‘옵션 7’은 세계적인 이동통신사들을 중심으로 결성된 O-RAN(Open-Radio Access Network) 얼라이언스에서 물리계층 내부기능을 분리하여 안테나 장치(Radio Unit, RU)와 DU 간을 연결하는 프론트홀 인터페이스 규격(O-RAN.WG4.CUS.0[2])으로 개발하였다.

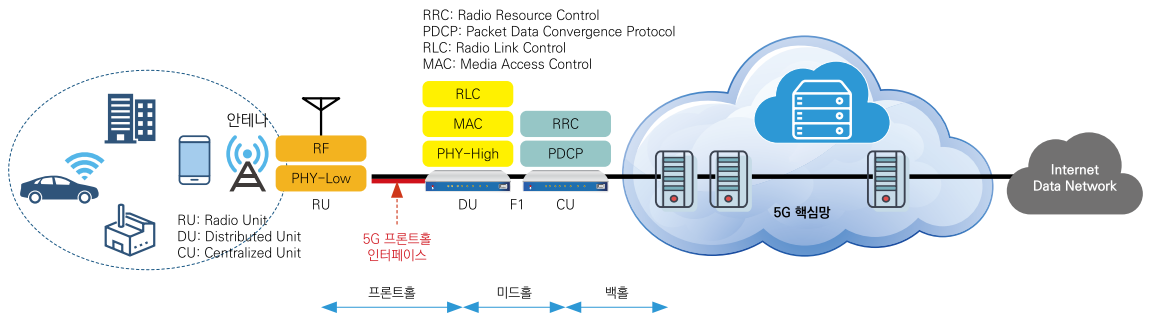
2. O-RAN 기반 개방형 5G 프론트홀 인터페이스

2.1 개요

O-RAN 규격[2]은 5G 물리계층 기능을 분리하여 개방형 프론트홀을 구축하는 데 필요한 인터페이스의 구조, 제어 평면, 사용자 평면 및 동기화 평면 등에 관련된 표준을 규정한다. 이 규격은 다양한 개방형 프론트홀 도입 환경에 대응



[그림 1] CU-DU 기능분리 옵션들 <3GPP TR38.801>



[그림 2] 개방형 5G RAN 구조 및 프론트홀 인터페이스

하기 위한 범용 표준이다. 따라서 O-RAN 규격 [2]에 기술된 모든 경우의 수에 해당하는 기능 및 성능을 지원하는 장비를 개발은 무척 어렵다.

따라서 본 표준에서는 국내 환경 및 요구사항을 고려하여 국내 개방형 5G 프론트홀 장비 개발 및 도입 시에 우선해야 하는 사양의 구현 방식을 정의한다. 즉, 데이터 압축, 빔포밍 지정 및 시각 동기화 등과 관련하여 O-RAN 규격[2] 중 국내 환경에서 선호되는 방식과 지연관리를 위한 시간 변수를 만족하는 O-DU와 O-RU 조합의 선택 범위를 기술한다.

2.2 데이터 압축

2.2.1 고려사항

5G NR(New Radio)에서는 LTE보다 많은 프론트홀 용량이 필요하다. 따라서 프론트홀 용

량을 줄이기 위하여 중앙 집중화된 O-DU와 사이트에 분산된 O-RU 사이의 기능을 분리 (Function split)한다. 그러나 O-DU와 O-RU 간 전달되는 IQ 데이터에 대한 압축 기술을 도입하여 프론트홀 용량을 추가로 줄여야 한다.

IQ 데이터 압축을 위해 고려해야 할 요구사항은 아래 기술한 바와 같이 크게 3가지가 있다.

2.2.1.1 프론트홀 용량

100MHz의 반송파 대역폭과 256QAM을 기준으로 압축 이후 하나의 10Gbps 광 링크에 다운링크 8 레이어 및 업링크 4 레이어를 수용할 수 있어야 한다. 프론트홀 용량은 사용자 평면, 제어 평면 및 전송 오버헤드를 모두 포함한다.

2.2.1.2 EVM (Error Vector Magnitude) 열화

압축 및 복원에 따른 추가 EVM 손실은 0.2%

〈표 1〉 변조 방식별 EVM

PDSCH 변조 방식	요구 EVM
QPSK	17.5%
16QAM	12.5%
64QAM	8%
256QAM	3.5%

※ PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)

〈표 2〉 데이터 압축 방식별 프론트홀 용량, EVM 열화, 추가 지연 시간

	프론트홀 용량	EVM 열화	추가 지연 시간
Block Floating Point Compression	~20Gbps	~0.5%	> 1μs
Block Scaling Compression	~20Gbps	~0.5%	> 1μs
μ-Law Compression	~20Gbps	~0.5%	> 1μs
Modulation Compression	< 8Gbps	0%	< 50ns (단방향)

※ 가수 (Mantissa) 12bit 가정

이내여야 한다. 단, 압축 기능을 포함한 최종 EVM은 3GPP TS 38.104[4]를 만족해야 한다 (<표 1> 참조).

2.2.1.3 추가 지연 시간

압축 및 복원에 따른 단방향 추가 지연 시간은 1μs 이하가 권고된다.

2.2.2 데이터 압축 방식

이종 제조사의 O-DU와 O-RU를 연동하기 위해서는 O-DU와 O-RU에서 동일한 압축 방법을 적용해야 한다.

참고로, 각각의 압축 방법에 맞는 프론트홀 용량, EVM 열화 및 추가 지연 시간의 대략적인 값은 <표 2>와 같다. 프론트홀 용량은 100MHz의 반송파 대역폭과 256QAM을 기준으로 다운링크 8 레이어 및 업링크 4 레이어를 전송하는 데 필요한 용량이다.

본 표준에서는 O-RAN 규격[2]의 데이터 압축 방식 중에서 O-DU와 O-RU 간 호환성을 보장하기 위해 적용하는 압축 방법을 다음과 같이

정의한다.

- O-DU와 O-RU는 무압축 및 블록 플로팅 포인트 압축(Block floating point compression)을 필수 지원한다.
- 무압축(No compression)의 경우 비트폭은 16비트를 지원해야 한다.
- 블록 플로팅 포인트 압축의 경우 1 PRB(12 subcarrier) 단위로 적용하며, 가수 (mantissa)의 비트폭은 9, 12, 14비트를 지원해야 한다.

변조 압축(Modulation compression)은 프론트홀 용량, EVM 열화 및 추가 지연 시간 모두 우수한 성능을 제공하지만 다운링크에만 적용 가능하다. 그러므로 프론트홀의 용량이 다운링크에 의해 제약이 생기는 경우에는 변조 압축을 사용할 것을 권고한다.

2.3 빔포밍 지정(Beamforming indication)

안테나가 위치한 O-RU에서 각 안테나 소자에 빔포밍을 적용하여 신호가 방사된다. 이 때문에 스케줄러가 위치한 O-DU로부터 O-RU에 빔포밍 지정 정보를 제공해야 한다.

O-RAN 규격[2]의 빔포밍 지정 방식 중에서 국내 이동통신망 환경 및 사업자 요구사항을 반

〈표 3〉 최대 전송망 지연 시간 100 μ s를 보장하는 최소 지연 상위 범주 조합*

거리[km]	T12max, T34max (us)	요구 EVM											
20	100	BZ	CY	DX	EW	FV	GU	HT	IS	JR	KQ	LP	MO

※ 〈표 3〉에 명시된 변수는 O-RAN 규격[2]의 표 B-6를 따른다.

〈표 4〉 동적 거리 범위 20km를 보장하는 송수신 윈도우의 하위 범주 조합*

동적 거리 범위 [km]	20	수신 윈도우										
		0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
		0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10	0.08	0.06	0.04	0.02	0.00
		송신 윈도우										

※ 〈표 4〉에 명시된 변수는 O-RAN 규격[2]의 표 B-10을 따른다.

영하여 합의된 개방형 5G 기지국 도입 시 우선 적용대상 방식은 다음과 같다.

- 사전정의의 빔포밍(Predefined-beam beamforming) 방식은 모든 O-DU 및 빔포밍을 지원하는 O-RU에서 필수로 지원한다.
- 가중치 기반 동적 빔포밍(Weight-based dynamic beamforming) 방식은 모든 O-DU와 실시간 빔포밍을 지원하는 O-RU에 대해서 필수로 하되, 가중치 기반 동적 주파수 영역(Weight-based dynamic frequency-domain) 방식과 가중치 기반 동적 시간 영역(Weight-based dynamic time-domain) 방식을 권고한다.
- 또한, 효율적인 프론트홀 용량 사용이 필요한 경우에는 가중치 기반 동적(Weight-based dynamic) 방식과 유사한 성능을 갖는 채널 정보 기반(Channel-information-based) 방식을 사용할 것을 권고한다.

2.4 지연 관리

물리계층 내 기능분리를 지원하는 5G NR 장비를 고려한 국내 프론트홀망은 광선로만 전송하는 방식, 광선로와 수동소자인 광학필터를 이용한 파장분할다중화 방식, 파장분할다중화 방식에 파장변환 기능을 붙인 복합형 파장분할다중화 방식으로 구성된다. 그러므로 프론트홀망 지연은 광선로 길이에 따라 결정된다. 이때 집중형 및 가상화 무선접속망(Centralized/Cloud-RAN) 구조를 지원할 수 있도록 O-DU와 O-RU 사이의 프론트홀망 전송거리는 20km 이상이 되어야 하며 100 μ s의 지연이 발생한다.

파장변환 기능에 의한 지연 변화량은 0.5 μ s보

다 작아 프론트홀망 전송 거리를 고려할 경우 무시할 만한 수준으로 프론트홀망 지연은 광선로 길이에 1km당 5 μ s의 지연시간을 곱해서 결정한다.

2.4.1 지연 관리 방식

국내 프론트홀망을 고려하여, 본 표준이 제안하는 지연 관리 방식은 다음과 같다.

2.4.1.1 사전 정의된 지연 관리 변수를 이용하는 방법

O-DU와 O-RU 사이의 20km 이상 전송거리를 요구하는 국내 프론트홀망 구성을 고려할 때, 각각 하향과 상향의 최대 전송망 지연 시간은 100 μ s이다. 이를 지원할 수 있도록 O-RAN 규격[2]의 표 B-6를 참조하여 선택된 상위 범주 조합은 <표 3>과 같다.

O-DU와 O-RU 사이의 프론트홀망이 광선로 직접 연결, 점대점 파장 분할 다중접속(WDM) 연결, 점대다점 복합형 파장분할다중접속(WDM) 연결인 국내 프론트홀망 구성을 고려할 때, 각각 하향과 상향의 최대 전송 거리 변화량은 20km이다. 이를 지원할 수 있도록 O-RAN 규격[2]의 표 B-10을 참조하여 선택한 하위 범주 조합은 <표 4>와 같다.

2.4.1.2 지연관리 변수를 직접 측정하는 방법 (Measured Transport Method)

최대 전송 지연 변수 값은 측정된 값에 전송망의 서비스 수준 협약서(SLA, Service Level Agreement)에 정의된 최대 허용 전송 변화량(PDVmax)을 더하여 결정한다. 따라서 O-DU와 O-RU 사이의 프론트홀 망이 광선로 직접 연결, 점대점 파장 분할 다중접속(WDM) 연결, 점대다점 복합형 파장분할다중접속(WDM) 연결인 국내 프론트홀망 구성을 고려할 때, 최대 허용 전송 변화량(PDVmax)은 각각 하향과 상향의 최대 전송 거리 변화량인 20km를 시간으로 계산한 100 μ s이다.

2.5 동기화

O-DU와 O-RU는 O-RU에서 시간과 주파수가 동기화된 RF 신호를 송출하기 위해서 O-DU와 O-RU 장비 간 시각 동기화를 담당한다. 이때 O-DU와 O-RU 간 전송구간인 프론트홀을 구성하는 이더넷 네트워크를 통해서 주파수, 위상 및 시간 동기 신호를 전송할 수 있어야 한다. 국내 통신사업자마다 기지국 배치 방식, 프론트홀망 구조, 동기화 품질에 대한 요구사항이 서로 다르기 때문에 이를 고려하여 5G NR 장비의 동기화를 위한 동기화 토폴로지와 프로파일을 다음과 같이 정의한다.

동기화 토폴로지의 경우, O-RAN 규격[2]의 동기화 토폴로지(Synchronization topology) 중에서 국내 이동통신 사업자의 기지국 배치와 프론트홀 구조를 고려해야 한다. 이때 O-DU와 O-RU가 직결(Point-to-point)되거나 혹은 이더넷 스위치를 통해서 연결되어야 하고 O-DU가 O-RU를 직접 동기화하는 동기화 토폴로지 구성 C1(Configuration C1)과 동기화 토폴로지 구성

C2(Configuration C2)를 필수적으로 지원해야 한다.

동기화 프로파일의 경우, O-RAN 규격[2]의 동기화 프로파일(Synchronization profiles) 중에서 프론트홀망을 구성하는 모든 이더넷 스위치가 PTP를 지원하는 완전한 타이밍 지원(Full timing support)(ITU-T G.8275.1[5])은 필수적으로 해야 한다. 또한 프론트홀망을 구성하는 이더넷 스위치 중 일부가 PTP를 지원하지 않는 부분적 타이밍 지원(Partial timing support)(ITU-T G.8275.2[6]) 및 SyncE, GNSS 기반 동기화는 선택적으로 해야 한다.

3. 맺음말

본 표준은 개방형 5G 기지국 장비 구현에 필요한 안테나 장치(RU)와 분산기지국장치(DU)를 연결하는 개방형 프론트홀 인터페이스의 데이터 압축, 빔포밍 지정, 지연 관리, 동기화 등을 정의한다. 이는 국내 이동통신망 환경에서 필요한 사항들을 고려한 것이다.

본 표준의 제정은 개방형 기지국을 도입하기 위해 국내에서 이동통신 3사가 합의를 통해 표준화한 최초의 사례이다. 이는 앞으로 5G 기지국 장비 시장의 개방화를 통해 이동통신 사업자와 제조사 간 새로운 생태계를 조성하는 데 기여할 것이다. 또한 5G 장비 시장을 개척하고 활성화해 국내 관련 업계의 경쟁력을 한층 강화하는 중요한 계기가 될 것이다. TTA

참고문헌

- [1] 3GPP TR38.801, Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces (Release 14), 2017. 3.
- [2] O-RAN.WG4.CUS.0, O-RAN Fronthaul Working Group; Control, User and Synchronization Plane Specification, v03.00, 2020. 3.
- [3] TTAK.LO-06.0518, O-RAN 기반 개방형 5G 프론트홀 인터페이스, 2020. 6.
- [4] 3GPP TS38.104, NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 16), 2020. 6.
- [5] ITU-T G.8275.1, 'Precision time protocol telecom profile for phase/time synchronization with full timing support from the network', Amendment 2, 2018
- [6] ITU-T G.8275.2, 'Precision time protocol telecom profile for time/phase synchronization with partial timing support from the network', Amendment 2, 2018

주요 용어 풀이

- **O-RAN**(Open-Radio Access Network) **얼라이언스**(Alliance): 개방형 기지국 오픈소스 개발 및 규격 개발을 진행하는 국제 얼라이언스로 전 세계 75개 통신사업자 및 장비 제조사들이 참여하고 있음, www.o-ran.org
- **O-DU**(Lower Layer Split Central Unit): O-RAN 규격에서 정의하는 논리적 노드로서 O-RU 동작을 제어하기 위한 eNB/gNB 기능 제공.
- **O-RU**(O-RAN Radio Unit): O-RAN 규격에서 정의하는 논리적 노드로서 안테나의 물리계층 하위 기능 제공