

모바일 네트워크 에너지 절감 기술 동향

Trends in Mobile Network Energy-Saving Technology

정수정 (S. Jung, sjjung@etri.re.kr)

지능형스물셀연구실 책임연구원

홍승은 (S.-E. Hong, iptvguru@etri.re.kr)

지능형스물셀연구실 책임연구원

나지현 (J. Na, jhna@etri.re.kr)

지능형스물셀연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

Energy efficiency is an important factor toward sustainable future mobile network systems. As the size of the 5G mobile network system increases, the consumption and costs of energy increase. Accordingly, energy-saving optimization has become a major process in network systems, and various related technologies for energy saving are being developed. We provide a brief review of the technical trends in energy saving in 3GPP 5G & 5G Advanced systems and O-RAN systems. We focus on power models and energy-saving technologies in various resource domains of 3GPP 5G & 5G Advanced systems and energy-saving use cases of O-RAN systems.

KEYWORDS RAN 지능형 제어기, 에너지 절감, 에너지 효율, 전력 상태 모델

1. 서론

모바일 네트워크 시스템의 규모가 커짐에 따라 네트워크 운영 지출(OPEX)이 전체 운영자 비용의 약 25%를 차지하고 있으며, 그중 90%는 에너지 비용에 해당한다[1]. 이에 따라 에너지 효율(EE)은 지속 가능한 모바일 네트워크 시스템에서 매우 중요한 한 요소로 다루어지게 되었다.

현재 운용 중인 5G 네트워크는 기존 4G 대비 4배 이상 에너지 효율적인 것으로 추정되나, 더 넓은 주파수 대역에서 동일한 커버리지를 제공하는 데 더 많은 수의 셀이 필요하고, 더 넓은 대역폭과 더 많은

안테나에 필요한 처리량이 증가하게 되어 에너지 소비(EC)는 약 3배 더 큰 것으로 알려졌다[1]. 또한, 이후 5G Advanced 및 6G 시스템의 경우 대규모의 배터리 기반 IoT 장치들의 연결이 예상되므로 IoT 장치의 에너지 효율도 필수적으로 요구된다. 따라서 에너지 효율적인 모바일 네트워크 시스템을 위한 에너지 절감(ES) 최적화는 5G 시스템 사양의 중요한 한 부분이며, 에너지 절감 효과를 위한 다양한 5G 기술들이 제시되고 있다.

본고에서는 3GPP 5G 및 5G advanced 시스템, O-RAN 시스템을 위해 제시된 에너지 효율 성능 지표들과 다양한 에너지 절감 기술들을 살펴본다.

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2023.J.380203>

* 이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2018-0-01659, 5G NR기반 지능형 오픈 스물셀 기술 개발].



II. 에너지 효율 개요

1. 에너지 효율과 에너지 절감

모바일 네트워크의 에너지 효율은 대상 시스템에서 소비되는 에너지뿐만 아니라 네트워크 레벨에서 측정된 성능(예: 커버리지, 용량 및 지연)을 모두 고려해 결정된다. 즉, 일반적으로 에너지 효율은 성능을 에너지 소비로 나눈 값으로 정의되며, 이에 에너지 효율의 개선은 소모되는 에너지를 줄이거나 네트워크 성능을 개선함으로써 얻어질 수 있다[2].

모바일 네트워크 시스템의 전체적인 사용 에너지를 최소화하는 것을 목표로 하는 에너지 절감을 통해 에너지 효율 개선이 가능하다. 모바일 네트워크 시스템의 최대 에너지 소비는 기지국(BS)에서 발생하며, 특히 AAU에서 소비되는 양이 90%로 알려져 있다. 따라서 기지국의 경우에는 사용 비율이 낮은 슬롯, 프레임, 채널, 캐리어 또는 기지국 전체를 끄는 기술을 통해 에너지 절감이 가능하다. 모바일 네트워크 단말(UE)의 경우에 에너지 절감은 주로 슬립 모드(Sleep Mode) 기술에 의존해 왔다[3].

2. 에너지 효율 성능 지표

ETSI, ITU-T study group 5, 3GPP TSG RAN 등의 표준 개발 단체들은 다양한 인구 통계학적 영역, 부하 시나리오(Load Scenarios) 및 무선 액세스 기술을 고려한 서로 다른 동작 조건에서의 모바일 네트워크 에너지 효율에 대한 성능 지표들(Metrics)을 제시하였다[2,4].

ETSI에서는 먼저 네트워크에서 전달되는 데이터 볼륨(DV: Data Volume)과 해당 데이터 전달에 필요한 기간 관찰된 네트워크 에너지 소비(EC) 사이의 비율로 에너지 효율 EE_{DV} ($EE_{DV} = DV/EC$ [bit/J])을 정의하였다. 다음으로 다양한 배치 시나리오(Dense Urban,

Urban, Sub-urban, Rural, or Deep Rural Areas)를 고려해 기존 정의된 EE_{DV} 를 확장하여 m 번째 배치 시나리오의 에너지 효율($EE_{DV,m}$)과 가중치($PofP_m$)를 이용한 각 배치 시나리오의 에너지 효율들의 가중 합으로 EE_{Total} ($EE_{Total} = \sum_m PofP_m EE_{DV,m} / \sum_m PofP_m$ [bit/J])을 추가로 정의하였다.

3GPP에서는 ETSI에서 정의된 에너지 효율에 트래픽 부하 레벨(l)을 추가 고려하여, m 번째 배치 시나리오의 가중치(b_m)와 트래픽 부하 레벨(l)에 대한 가중치(a_l)를 이용한 에너지 효율 EE_{global} ($EE_{global} = \sum_m \sum_l b_m a_l EE_{DV,m,l}$ [bit/J])을 정의하였다. 또한, 3GPP에서는 에너지 효율을 RAN 범위에서 전체 5G 시스템으로 확장하여 5G 코어 네트워크(5GC) 및 네트워크 슬라이스(Slice)에 대한 에너지 효율을 정의하였다. 에너지 효율 정의에서의 성능이 5G는 사용자 평면 데이터 볼륨(DV), 네트워크 슬라이스의 성능은 네트워크 슬라이스 유형별(eMBB, URLLC, mMTC)로 정의되었다. eMBB 서비스는 기존 EE_{DV} , EE_{Total} , EE_{global} 이 사용될 수 있고, URLLC 서비스의 경우 네트워크 슬라이스의 평균 종단 간 대기 시간(T_{e2e})을 에너지 소비(EC)로 나눈 값의 역수에 해당하는 값인 에너지 효율 $EE_{URLLC,Lat}$ ($EE_{URLLC,Lat} = 1/(T_{e2e}EC)$ [s^{-1}/J])을 정의하였다. 대기 시간과 전송률이 모두 고려되는 URLLC 슬라이스의 경우 또는 운영자가 트래픽 부하가 다른 기간의 슬라이스 에너지 효율을 평가하기 위한 경우를 위해 슬라이스 데이터 볼륨(DV)을 종단 간 대기 시간과 에너지 소비(EC) 사이의 곱으로 나눈 값으로 에너지 효율 $EE_{URLLC,DV,Lat}$ ($EE_{URLLC,DV,Lat} = DV/(T_{e2e}EC)$ [bit/s/J])를 정의하였다. mMTC 서비스의 경우 슬라이스 내의 단말 수(N_{UE})를 관련 에너지 소비(EC)로 나눈 비율 값인 에너지 효율 EE_{mMTC} ($EE_{mMTC} = N_{UE}/EC$ [UE/J])을 정의하였다.

기존 ETSI의 에너지 효율에서 물리적 네트워크 기능(PNF)의 에너지 소비(EC)를 측정하는 방법은

정의했지만, 가상화 네트워크 기능(VNF: Virtualized Network Function)의 에너지 소비를 측정하는 방법은 현재 정의되어 있지 않다. 이에 3GPP SA5는 가상머신(VM: Virtual Machine)의 예상 에너지 소비를 기반으로 이를 추정하는 방법을 정의하였다. Release 17에서 ETSI NFV MANO에서 운영자의 OSS가 얻은 VM의 가상 CPU 사용량만 에너지 소비 추정에 고려되었다.

III. 3GPP 기술 동향

3GPP의 5세대 이동통신 표준인 5G NR는 Release 15를 시작으로 해서 Release 17에서 첫 번째 단계가 완료되었다. 5G의 두 번째 단계는 5G Advanced로 명명되었으며, 그 첫 번째 표준인 Release 18에 대한 논의가 2021년 6월 RAN 워크숍에서 시작되어 현재 진행 중이다. 5G Advanced는 속도와 커버리지, 이동성, 전력 효율성 등을 더 향상하기 위해 5G 시스템 기반을 강화하고 5G를 거의 모든 기기와 구축 사례, 사용 사례로 확대하는 것을 목표로 한다.

에너지 절감과 관련하여 5G NR Release 15에서 여러 에너지 효율적 특성들이 제시되었다. Release 16과 Release 17에서는 Release 15에서 제시된 에너지 효율적 특성을 더욱 향상하기 위해 단말 전력 절감(UE Power Saving) 부분의 성능 개선 관련 작업을 수행하였고, Release 18에서는 네트워크 에너지 절감(Network Energy Saving) 관련 작업을 진행하고 있다.

3GPP 5G NR의 첫 번째 단계에서 에너지 절감을 위해 제시된 기술들을 먼저 살펴보고, 두 번째 단계인 5G Advanced의 현재 논의 중인 에너지 절감 기술들을 다음에서 살펴본다.

1. 5G NR 에너지 절감 기술

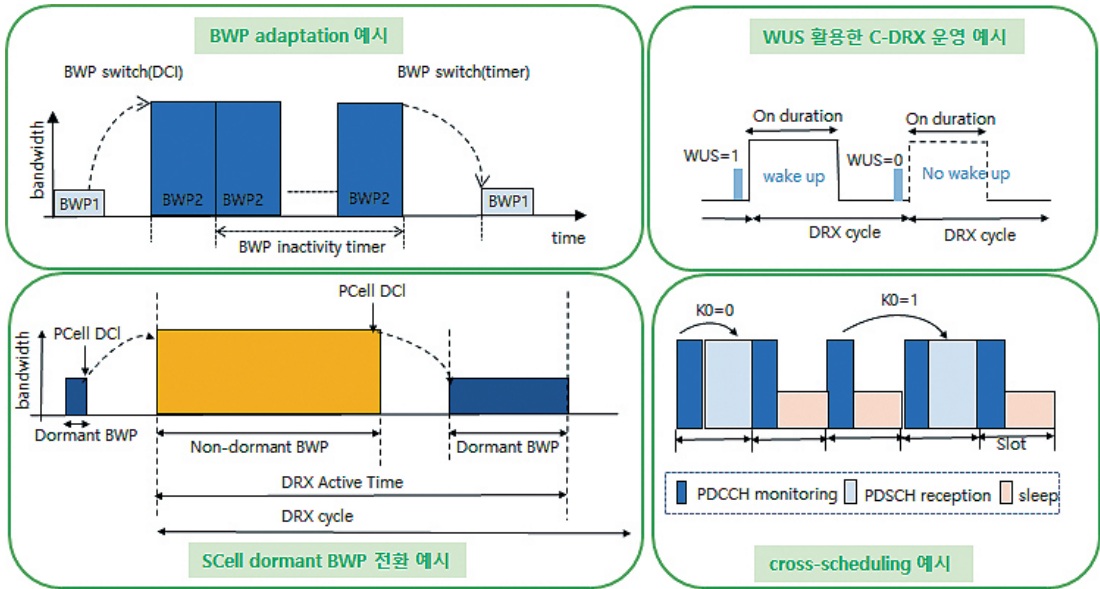
5G NR에서는 에너지 소모를 줄이기 위해 대규모 MIMO(Massive MIMO), 린 캐리어 설계(Lean Carrier Design), 슬립 모드, AI/ML 도입 등이 활용된다[4].

5G NR는 대규모 MIMO를 이용한 빔포밍과 공간 다중화 이득(Spatial Multiplexing Gain)의 활용으로 전송 전력 감소를 통한 에너지 절감이 가능하다.

5G NR는 린 캐리어 설계를 통해 항상 켜져 있는 참조 신호(Always-on Reference Signal)에 의존하지 않도록 설계되어, 더 긴 슬립 주기(Period), 더 높은 슬립 비율(Ratio)로 기지국의 효율적인 슬립 모드 지원을 통한 에너지 절감을 가능하게 한다. 또한, 단말의 데이터 전송률 요구사항이 낮을 경우 SCell 또는 BWP 단위로 비활성화하는 SCell Dormancy, Dormant BWP 등이 기지국 에너지 절감을 위한 기술로 다루어졌으나, 단말 송/수신 동작의 최소화를 위한 단말 에너지 절감 기술들(예: BWP, RRC Inactive State, DRX Mechanism, Control Channel Skipping, WUS, Cross-slot Scheduling 등)이 주로 다루어졌다.

먼저, BWP Adaptation을 이용해 데이터 전송을 위해서는 넓은 BWP를 활성화하고, 전력 절감을 위해서는 좁은 BWP를 활성화한다(그림 1 참고). 전력 효율적인 연결 설정을 지원하기 위해 RRC 비활성 상태(RRC Inactive)에서는 단말의 이전 연결 설정을 재개할 수 있도록 한다. 또한, 연결 상태(RRC Connected)에서의 추가적인 단말 전력 절감을 위한 C-DRX 적용 및 DRX Active Timer 구간 내에서 DL 제어 채널 모니터링을 더 줄이기 위해 PDCCH Monitoring Adaptation 또는 PDCCH Skipping이 고려되었다.

다음으로 DL 제어 채널 형태를 취하는 웨이크업 신호(WUS)는 다음 DRX 주기의 On Duration에서 단말의 데이터 스케줄링 모니터링 필요성 여부를



출처 Reproduced from [5], CC BY 4.0.

그림 1 5G NR 에너지 절감 기술들

알려주기 위한 것이다. 이에 따라 필요한 경우에만 단말이 깨어나도록 하여 전력 소모를 줄일 수 있다. 또한, PDCCH 디코딩 전에 버퍼링하는 것을 줄여 전력 소모를 줄이기 위해 PDCCH와 PDSCH 간의 간격(K_0)과 PDCCH와 PUSCH 간의 간격(K_2)을 정의하고 Cross-slot Scheduling(즉, $K_0 > 0$ 또는 $K_2 > 0$)이 도입되었다(그림 1)[5].

Release 17에서는 에너지 절감에 AI/ML을 활용하기 시작했다. 3GPP RAN에서 수행된 데이터 수집 추가 개선에 관한 연구 항목(SI)에서 AI 기반의 에너지 절감에 관한 연구 결과를 보고하였다. 에너지 절감을 위해 특정 셀의 트래픽 로드 크기가 규정된 값 이하일 경우, 셀을 끄고 새로운 인접 타겟 셀을 단말에 지정할 수 있다(UE offloading). 기존에는 현재의 트래픽 부하 정도에 기반하여 에너지 절감을 위한 결정이 수행되었으나, AI/ML 알고리즘을 사용하면 미래의 에너지 효율이나 트래픽 부하 상태를 예측

할 수 있으므로 이를 활용하여 시스템 성능과 에너지 절감이라는 상반된 문제를 균형 있게 조절하는 것을 의미한다[3].

2. 5G Advanced 에너지 절감 기술

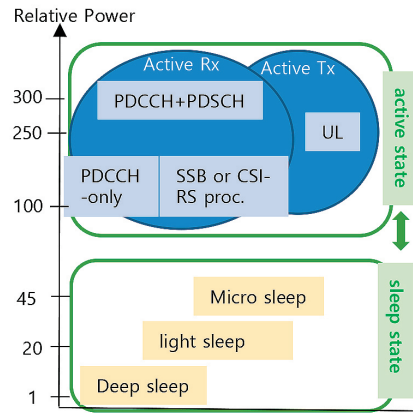
3GPP 5G NR이 항상 켜져 있는 신호에 거의 의존하지 않는 린 캐리어를 기본 구조로 설계되었지만, 5G NR의 점점 더 밀집된 5G 네트워크 배치, 대규모 MIMO, 훨씬 더 큰 대역폭, 더 많은 주파수 대역 지원 등으로 인해 5G NR의 기존 에너지 절감 방안들이 에너지 소비 문제를 해결하기에는 충분하지 않다. 이를 해결하기 위해 3GPP NR Release 18은 새로운 SI인 “NR을 위한 네트워크 에너지 절약에 관한 연구”를 승인하였고, 2022년 12월 해당 연구를 마무리하고[6], 이후 관련 규격별 작업 항목(WI)을 진행하기로 하였다[7].

이 연구의 목적은 기지국(BS)의 네트워크 에너지 소비 모델을 정의하고 평가 방법론(Evaluation Methodology)을 개발하고 핵심 성과 지표(KPI)를 식별하는 것이다. 또한, 대상 배치 시나리오에서 네트워크 에너지 절감을 개선할 수 있는 기술들을 조사하는 것이다.

먼저 새로운 방식으로 인한 이득을 분석하기 위해 5G 네트워크 전력 소비를 정확하게 추정하기 위한 새로운 모델의 필요성에 대한 합의가 이루어졌다. 5G 단말에 대한 전력 소비 모델(그림 2)[8]은 Release 16에서 정의되었으나, 5G의 네트워크 전력 소비 모델이 기존에 정의되어 있지 않아 새롭게 그림 3[6]과 같이 정의되었다. 기지국 전력 소비에 대한 서로 다른 기지국 전력 상태로 구성된 전력 모델은 서로 다른 슬립(Deep Sleep, Light Sleep, Micro Sleep) 및 활성 상태(DL 전송 및 UL 수신 포함)를 포함하는 상대 전력(Relative Power)과 두 가지 유형의 기지국 카테고리(BS cat.1 & cat.2)를 사용하여 성능 평가 목적으로 정의되었다. 기지국 전력을 고정적(Static)인 부분과 가변적(Dynamic)인 부분으로 나누어서 고려하는 스케일링 접근 방식은 시간, 주파수, 공간 및 전력 영역에서 전송자원/구성에 대한 기지국 전력 소비 관계를 반영하여 평가 목적으로 설정되었다.

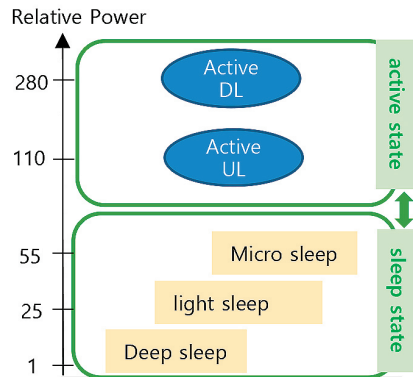
다음으로 사용자에게 적절한 QoS를 제공하면서 시간, 주파수, 공간 및 전력 영역에서 전송을 적응시켜 네트워크 에너지 소비를 절감시킬 잠재적인 기술을 평가하고 분석한다.

대체로 짧은 주기의 변경 사항을 활용하는 시간 영역의 기술로는 SSB/SIB/셀 공통 PDCCH와 같은 DL 공통 신호 및 방송 신호의 전송 패턴 및 UL RACH 주기성/기회를 적응적으로 조절하는 기술, 셀의 낮은 활성/비활성 기간에 단말 특정 자원들(예: CSI-RS)에 대한 시간 기회를 줄이거나 생략하는 기술, 단말이 셀을 활성화와 상태로 전환하여 SSB/



출처 Reproduced with permission from [8].

그림 2 단말 전력 상태 모델(FR1)



출처 Reproduced with permission from [6].

그림 3 기지국 전력 상태 모델(BS cat.1 & set1 FR1)

SIB를 전송하도록 요구하는 WUS 전송 기술, 여러 단말의 DRX 패턴을 정렬/생략하여 셀의 비활성 상태(Cell DTX/DRX)를 연장하고 이를 단말에 알려주는 메커니즘을 제공하는 기술, On-demand SSB/SIB1 전송 및 연관된 캐리어/셀로부터 획득하는 기술이 포함한다(그림 4).

주파수 영역에서는 현재 Intra-band SSB-less SCell 동작을 Inter-band CA로 확대, 단말 그룹 공통 또는 셀 특정 BWP 구성 및 전환을 할 수 있도록 개

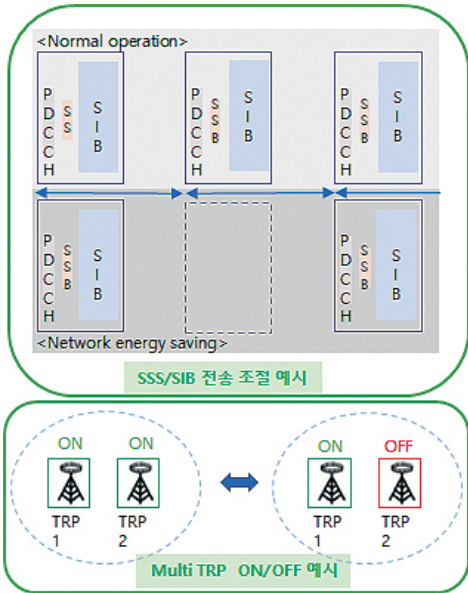


그림 4 5G Advanced 에너지 절감 기술들

선하는 기술, 활성 BWP의 대역폭을 조정하고 동일 BWP에서 계속 동작하도록 그룹 공통 신호를 조정하는 기능의 향상 기술이 포함된다.

공간 영역에서는 채널 및 신호를 송/수신할 때 기지국에서 활성 트랜시버 체인의 수 또는 활성 안테나 패널의 수와 같은 공간 요소들의 동적 적응을 향상되게 하는 기술, 다수 개의 TRP들이 동작 시에 TRP 켜기/끄기 전환을 동적 조정하는 기술이 포함된다(그림 4 참고).

마지막으로 전력 영역에서는 단말의 전원 오프셋 구성을 향상되게 하여 DL 신호 및 채널의 전송 전력 또는 PSD를 동적으로 변경하는 기술, 기지국/단말 왜곡 보상 기술(디지털 전치 왜곡, 단말 사후 왜곡) 등이 논의 중이다.

또한, 5G Advanced는 다양한 네트워크 수준에 적합한 AI/ML 물리 계층 향상 기술을 포함하여 모바일 네트워크에 더 많은 인텔리전스를 도입할 예정이다[9].

IV. 개방형 RAN(O-RAN) 동향

O-RAN은 표준화된 무선 및 베이스밴드 장치를 넘어 RAN을 더 작은 구성 요소들로 분리하고 구성 요소 간 인터페이스를 표준화함으로써 개방형 생태계 구축 및 기술 혁신을 가속한다[10]. O-RAN의 분리 및 가상화 특성은 구성 요소별 에너지 효율성 목표 수립과 기술 개발을 통해 에너지 절감에 도움이 될 수 있다. 특히, O-RAN의 'RAN 지능형 제어기(RIC)' 구조상에서 AI/ML을 통한 자원 및 전력 사용을 최적화할 수 있다. 이에 O-RAN에서의 에너지 절감을 위한 기술들을 살펴본다.

1. O-RAN 아키텍처 개요

그림 5로 제시되는 O-RAN 아키텍처는 RAN과 RIC 간의 상호작용을 가능하게 하는 개방형 인터페이스를 기반으로 한다. RAN은 세 가지의 논리적 기능 유닛들인 O-CU, O-DU 그리고 O-RU로 나뉜다. O-CU는 상위 계층 RAN 프로토콜을 처리하기

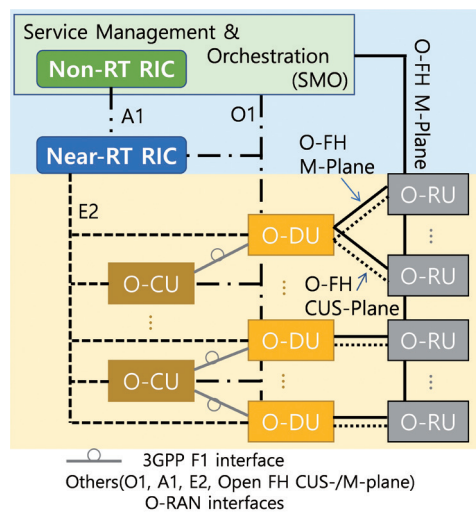


그림 5 O-RAN 아키텍처 및 표준 인터페이스들

위해 개발된 중앙 집중 장치로, 3GPP의 미드홀 F1 인터페이스를 통해 O-DU와 연결된다. O-DU는 무선 링크 제어, 매체 액세스 제어 및 물리 계층 일부를 포함하는 하위 프로토콜 계층을 처리하는 논리 유닛이다. 이들은 프론트홀을 통해 물리 계층 하위 부분을 구현하는 O-RU와 인터페이스한다(‘개방형 프론트홀(O-FH)’ CUS-/M-Plane 인터페이스 세부 내용은 참고문헌 [10] 참고).

RIC는 AI/ML 알고리즘을 통해 자원 할당, 슬라싱, 핸드오버 및 이동성 관리, 스펙트럼 공존, 에너지 효율 등의 RAN 동작을 지능적으로 조정하는데, RAN 제어 루프의 시간 척도에 따라 1초 이상이 소요되는 비-실시간(Non-RT)과 10ms 이상 1초 미만의 근-실시간(Near-RT) RIC 기능 노드들로 구성된다. 비-실시간 RIC는 O-RAN의 ‘서비스 관리 및 오케스트레이션(SMO)’ 기능 노드에 위치하는데, SMO는 O-RU를 제외한 O-RAN 구성 요소들에 대한 관리 인터페이스(O1), 비-실시간 RIC와 근-실시간 RIC 간 연동을 위한 인터페이스(A1), 그리고 O-RU를 직접 관리하는 인터페이스(O-FH M-Plane)를 지원한다. 따라서, 비-실시간 RIC는 SMO가 제공하는 O1 인터페이스를 통해 RAN 데이터를 수집하고 O-CU/O-DU 동작을 제어하며, 필요할 때 O-FH M-Plane 인터페이스를 통해 직접적으로 O-RU를 제어할 수 있다. 반면에 근-실시간 RIC는 A1 인터페이스를 통해 AI/ML 알고리즘 및 제어 정책을 수신하고, E2 인터페이스로 RAN과 관련된 데이터를 수신하고 O-CU 및 O-DU 노드들을 제어하며, 필요할 때 O-DU의 O-FH M-Plane 인터페이스를 통해 O-RU를 간접적으로 제어한다.

2. 에너지 절감 O-RAN 사용 사례

O-RAN 얼라이언스 워킹그룹1에서는 22가지

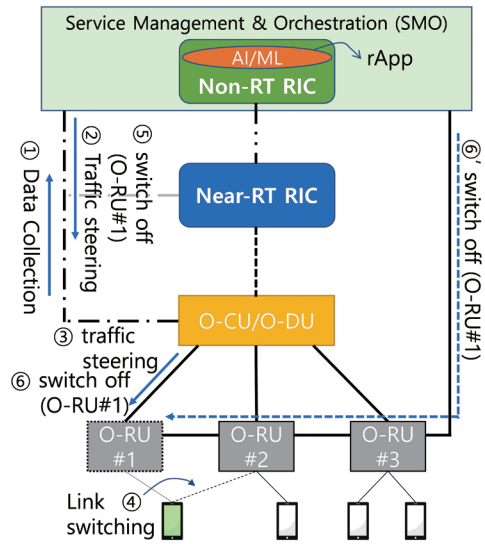


그림 6 캐리어 및 셀 켜기/끄기 전환 사용 사례

의 사용 사례들을 정의하고 있는데, 그중 하나로 O-RAN AI/ML 서비스 및 개방형 인터페이스를 활용하여 서로 다른 시간 척도에서 서로 다른 네트워크 구성 요소를 ‘켜기/끄기 전환(On/Off Switching)’을 통해 최적화된 에너지 절감 솔루션을 도입하고 있다[11]. 에너지 절감 사용 사례는 관여된 제어 및 피-제어 시스템의 시간 척도에 따라, 세 가지 솔루션을 제시한다.

첫 번째 솔루션은 캐리어 및 셀 켜기/끄기 전환이다. 이 솔루션은 제어 및 피-제어 시스템 모두에 대해 비-/근-실시간 척도로 수행될 수 있으며, 하나 이상의 캐리어 또는 주어진 기술의 셀을 켜고 끄는 방식으로 O-CU/O-DU/O-RU 전력 소비를 줄이는 것을 목표로 한다. 그림 6은 비-실시간 척도로 구현되는 캐리어 및 셀 켜기/끄기 전환 사례를 도시한다. SMO에 위치하는 비-실시간 RIC에서 구현되는 AI/ML 모델(이를 rApp이라 함)은 O1 인터페이스를 통해 셀별 및 캐리어별 트래픽 관련 데이터(부하, 사용자 위치, 이동성 등)를 수집하고(①), 또한 O-CU/O-DU의 동작 매개 변수들을 설정하며(②,⑤),

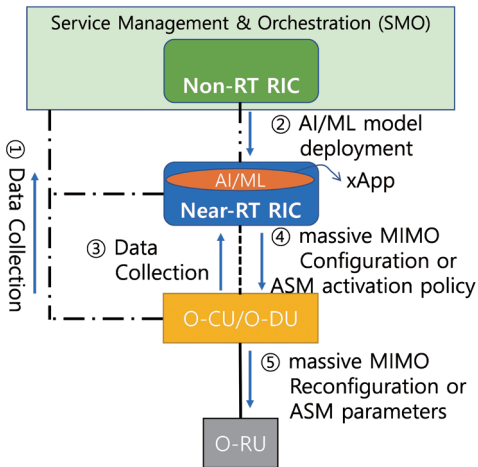


그림 7 RF 채널 켜기/끄기 전환 및 ASM 사용 사례

O-DU의 O-FH M-Plane 인터페이스를 사용하거나(③,⑥) SMO의 해당 인터페이스를 사용하여(⑥) O-RU 켜기/끄기 전환을 설정한다.

두 번째 솔루션은 RF 채널 켜기/끄기 전환으로, 대규모 MIMO를 갖는 O-RU의 특정 RF 채널들을 선택적으로 끄기 전환함으로써 O-RU의 전력 소비를 줄인다. 이 경우에도 비-/근-실시간 척도로 수행될 수 있는데, 그림 7은 근-실시간 RIC에 배치되는 AI/ML 모델(근-실시간 RIC의 AI/ML 모델을 xApp이라 함)의 사례이다. 비-실시간 RIC는 O1 인터페이스를 통해 수집된 데이터(①)를 활용하여 AI/ML 모델을 훈련할 수 있으며, O1 인터페이스를 통해 AI/ML 모델을 근-실시간 RIC에 배치하게 된다(②). 이제 근-실시간 RIC는 E2 인터페이스를 통해 수집되는 데이터(③)에 기반하여 특정 RF 채널의 켜기/끄기 전환을 결정할 수 있으며, E2 인터페이스(④)와 O-DU에 의한 O-FH M-Plane 인터페이스(⑤)를 통해 O-RU 설정을 변경하게 된다.

세 번째 솔루션은 O-RU 켜기/끄기 전환을 심볼, 슬롯, 그리고 프레임 단위의 수준으로 조정할 수 있는 '고급 휴면 모드(ASM)'이다. 이 경우, 제어 시스

템의 시간 척도는 근-실시간으로, 피-제어 시스템의 시간 척도는 실시간 및 근-실시간으로 수행되어야 한다. 이 솔루션의 목적은 대기 시간 측면에서 사용자 QoS 제약을 고려하여 O-RU의 끄기 수준을 최대화하는 것이다. 첫 번째 및 두 번째 솔루션보다는 상대적으로 짧은 시간 주기로 켜기/끄기 전환을 수행해야 함에 따라 AI/ML 모델은 그림 7과 같이 근-실시간 RIC에 배치되어 ASM 정책 및 시스템 구성을 최적화하고, O-DU가 O-FH M-Plane 인터페이스를 통해 O-RU를 실시간으로 제어하게 된다.

3. O-RAN 에너지 절감 개발 동향

TIP(Telecom Infra Project, 글로벌 연결을 발전시키기 위해 인프라 솔루션을 추진하는 회사 및 조직의 글로벌 커뮤니티로 2016년에 설립) 참가 업체인 도이치텔레콤, 오렌지, 텔레포니아, TIM 그리고 보다폰에 의해 결성된 O-RAN MoU Group은 '22년 3월에 O-RAN 기술적 우선순위 개정 문서를 발표하면서 에너지 효율을 특별히 강조하였다[12]. 이 문서를 통해 에너지 효율성이 O-RAN의 모든 도메인을 포함하는 종단 간의 요구사항임을 강조하면서, 전력 효율적 하드웨어, 에너지 효율성을 위한 핵심 성능 지표 및 수집/보고 메커니즘, 에너지 효율성을 향상할 기능들, 에너지 효율성을 최적화하고 자동화할 지능성, O-RAN 구성 요소별 에너지 효율성 목표와 같은 기술 요구사항을 개발하였다. 이는 혁신과 유연성을 촉진하는 O-RAN 아키텍처 이점을 유지하는 동시에 에너지 효율성을 점진적으로 개선하기 위한 목표를 제시한 점에서 의의가 깊다.

한편, 대만의 ITRI는 Pegatron과 협력하여 개발한 5G O-RAN 에너지 절감 사설망 솔루션을 MWC 2022에서 발표한 바 있다[13]. 이 솔루션은 100개의 5G 기지국을 갖춘 스마트공장 사설망에서

구축되어, 스마트 공장의 기계들(단말 장치들)을 서비스 중단 없이 특정 기지국으로 연결함으로써 더 많은 기지국을 최대 절전모드로 전환해 전력 소비를 절감한다. 발표된 바에 따르면, 스마트공장의 월간 전력 절감량은 12,750kWh로 약 37.5가구의 사용량과 맞먹으며, 탄소 배출량으로는 7,060kg에 달한다고 한다. 또한, RIMEDO Labs사는 참고문헌 [14]에서 제안된 무선 환경 지도 및 강화 학습 알고리즘을 O-RAN 아키텍처에 적용하여 셀의 켜기/끄기 전환을 구현하는 AI/ML 모델을 구현하였다[15]. O-RAN 얼라이언스가 개최한 2022년 북미 글로벌 플러그페스트[16]에서는 주니퍼 네트워크와 키사이트의 협력을 통해 5G 에너지 절감 시나리오가 시연되었다. 본 시연에서는 주니퍼의 에너지 절감 rApp 및 SMO O1 설정/관리 서비스와 키사이트의 O-CU/ O-DU 에뮬레이터인 RICtest를 사용하여, O-RAN 에너지 절감 사용 사례의 첫 번째 솔루션을 테스트하였다. 결과적으로, SMO/비-실시간 RIC와 O-CU/O-DU 간의 O1 인터페이스를 통한 트랙픽 부하 수준의 모니터링 및 에너지 절감 기능을 시연하여 5G 에너지 절감을 위한 O-RAN 구성 요소 간의 상호 운용성을 성공적으로 테스트하였다.

V. 결론

에너지 절감은 5G 이후의 모바일 네트워크 시스템의 규모가 커짐에 따라 필요한 에너지 소비의 증가로 인해 그 중요성이 커지고 있다. 3GPP 5G 및 5G advanced 시스템의 새로운 에너지 절감 기술로 인한 이득 분석을 위한 전력 소비 추정용 단말 및 기지국 전력 모델과 시간, 주파수, 공간 및 전력 영역에서 제시된 에너지 절감 기술들, O-RAN 시스템의 기술 개요 및 에너지 절감 사용 사례, 이를 위해 제시된 다양한 에너지 절감 기술들을 살펴보았다.

약어 정리

3GPP	3rd Generation Partnership Project
5GC	5G core
5G NR	5G New Radio
AAU	Active Antenna Unit
AI	Artificial Intelligence
ASM	Advanced Sleep Mode
BWP	BandWidth Part
CA	Carrier Aggregation
C-DRX	Connected mode DRX
CSI-RS	Channel State Information Reference Signal
DRX	Discontinuous Reception
DTX	Discontinuous Transmission
DV	Data Volume
EC	Energy Consumption
EE	Energy Efficiency
eMBB	enhanced Mobile BroadBand
ES	Energy Saving
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
IoT	Internet of Things
ITU-T	International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector
KPI	Key Performance Indicators
MANO	Management ANd Orchestration
ML	Machine Learning
mMTC	massive Machine type Communications
O-CU	O-RAN Control Unit
O-DU	O-RAN Distributed Unit
OPEX	OPerating EXpenses
O-RAN	Open Radio Access Network
O-RU	O-RAN Radio Unit
OSS	Operation Support System
PDCCH	Physical Dedicated Control CHannel
PDSCH	Physical Downlink Shared CHannel
PNF	Physical Network Function
PofP	Percentage of Presence

PSD	Power Spectral Density
PUSCH	Physical Uplink Shared CHannel
RACH	Random Access CHannel
RAN	Radio Access Network
RIC	RAN Intelligent Controller
RRC	Radio Resource Control
RT	Real Time
SCell	Secondary Cell
SI	Study Item
SIB	System Information Block
SMO	Service Management and Orchestration
SSB	Synchronization Signal Block
TRP	Transmission/Reception Point
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communications
VM	Virtual Machine
VNF	Virtualized Network Function
WI	Work Item
WUS	Wake Up Signal

참고문헌

- [1] GSMA, "5G energy efficiencies: Green is the new black," Tech. Rep., Nov. 2020, <https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=54165956&file=241120-5G-energy.pdf>.
- [2] 3GPP TS 28.310 v18.0.0, Energy Efficiency of 5G (Release 18), 2022. 12.
- [3] 예충일, 장갑석, 고영조, "AI의 이동통신시스템 적용," 전자통신동향분석, 제37권 제4호, 2022, pp. 60-69.
- [4] D. Lopez-Perez et al., "A survey on 5G radio access network energy efficiency: Massive MIMO lean carrier design sleep modes and machine learning," IEEE Commun. Surv. Tutor., vol. 24, no. 1, 2022, pp. 653-697.
- [5] Y.N.R. Li et al., "Power saving techniques for 5G and beyond," IEEE Access, vol. 8, 2020.
- [6] 3GPP TR 38.864 v18.0.0, Study on Network energy savings for NR(Release 18), 2022. 12.
- [7] 3GPP RP-223540, New WID: Network Energy Savings for NR, TSG RAN#98e, 2022. 12.
- [8] 3GPP TR 38.840 v16.0.0, Study on User Equipment(UE) power saving in NR(Release 16), 2019. 6.
- [9] I. Rahman et al., "5G evolution toward 5G advanced: An overview of 3GPP Releases 17 and 18," Ericsson Tech. Rev., vol. 2021, no. 14, 2021.
- [10] 이재승, 박재우, 이문식, "개방형 5G 프론트홀 기술 동향," 전자통신동향분석, 제37권 제3호, 2022, pp. 1-10.
- [11] O-RAN WG1, O-RAN Use Cases Analysis Report 9.0, Oct. 2022.
- [12] TIP O-RAN MoU Group, Open RAN Technical Priorities-Focus on Energy Efficiency, Mar. 2022.
- [13] ITRI Media Center, ITRI and Pegatron Exhibit Taiwan's First 5G O-RAN Energy-Saving Private Network Solution at MWC 2022, <https://www.itri.org.tw>
- [14] M. Hoffmann, P. Kryszkiewicz, and A. Kliks, "Increasing energy efficiency of Massive-MIMO network via base stations switching using reinforcement learning and radio environment maps," Comput. Commun., vol. 169, 2021.
- [15] M. Hoffmann, "O-RAN network energy saving: Cell switching On/Off," Dec. 2022, <https://rimedolabs.com/blog/o-ran-network-energy-saving-cell-switching-on-off/>
- [16] <https://plugfestvirtualshowcase.o-ran.org/2022>