

네트워크 에너지 절감을 위한 O-RAN E2SM-CCC xApp 구현에 관한 연구

홍승은

한국전자통신연구원

iptvguru@etri.re.kr

A Study on the O-RAN E2SM-CCC xApp Implementation for Network Energy Saving

Seung-Eun Hong

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

요약

본 논문에서는 개방형 무선 접속 네트워크 (O-RAN)의 '근-실시간 RAN 지능형 제어기 (near-Real-Time RAN Intelligent Controller, nRT-RIC)'에서 '셀 구성 및 제어 (Cell Configuration and Control)' E2 서비스 모델을 기반으로 '네트워크 에너지 절감 (Network Energy Saving, NES)'을 지원하기 위한 xApp 구현을 제안한다. 제안하는 xApp은 E2 노드의 'RAN 구성 구조 (RAN Configuration Structure, RCS)' 및 주요 성능 데이터를 구독하고 E2 노드의 on/off 제어와 안테나 마스킹 제어를 수행함으로써 무선 자원의 에너지 효율을 향상시킬 수 있다. 또한 gRPC 기반 server/client 인터페이스를 제공하여, 향후 AI/ML 기반 NES xApp들로부터 전달되는 다양한 NES RCS에 대한 제어 명령을 수신하고 이를 E2 노드로 전달할 수 있도록 확장성을 고려한 구조를 갖는다.

I. 서론

최근 O-RAN 연합에 의해 개발 중인 오픈랜 아키텍처 및 그 표준들은 기능 분리 및 가상화 특징과 AI/ML 지원으로 인해 단순화된 네트워크 관리 및 향상된 무선 자원 관리 이점을 제공한다 [1]. 한편, 모바일 네트워크 시스템의 규모가 확장함에 따라 네트워크 운영 지출(OPEX)이 전체 운영자 비용의 약 25%를 차지하고 있으며 그중 90%는 에너지 비용에 해당한다 [2]. 이에 따라 O-RAN을 지속 가능하고 에너지 효율적인 모바일 네트워크 운영의 선두 주자로 자리매김하고자, O-RAN 연합에서는 NES 최적화 기능을 가장 중요한 유즈-케이스들 중의 하나로 고려하고 있다 [3],[4].

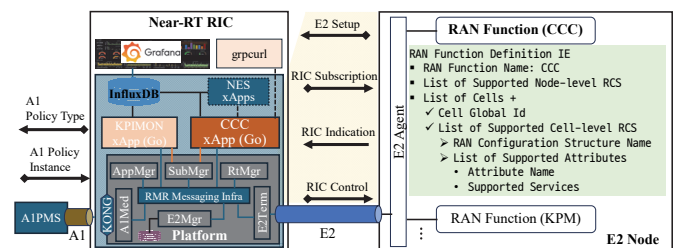
O-RAN 연합은 리눅스 재단과 협력하여 O-RAN 소프트웨어 커뮤니티 (OSC)를 설립하였고, OSC는 프로토타이핑 제공 목적의 일환으로 nRT-RIC 플랫폼과 xApp 개발 프레임워크를 배포하고 있다 ('25년 12월, M-릴리스) [5]. 비록, 현재까지 배포한 xApp들로, 주요 성능 측정(KPM) 모니터링, UE 이상 감지, QoE 예측, 트래픽 스티어링, E2SM-RC 등이 있으나 [6], NES 기능을 위한 xApp들은 제공하고 있지 않다.

본 논문에서는, E2SM-CCC [4] 규격에 기반하여 nRT-RIC 플랫폼과 xApp 개발 프레임워크를 사용하는 NES 기능 지원 xApp을 개발한다. E2 노드 기능을 제공하는 Viavi RIC 테스터 [7]를 사용하여 개발한 xApp과 연동하고 NES 기능을 검증한다.

II. NES 기능 지원 E2SM-CCC xApp 구현

E2 인터페이스를 통해 NES 기능을 구현하기 위해서는 E2SM-CCC 규격 [4]을 따라야 한다. 다른 E2SM 규격들이 ASN.1 부호화를 사용하는 반면에, 해당 규격은 JSON 문법을 사용한다. 또한, 다른 규격들과 달리 RAN 구성과 관련된 속성들을 표준화하는 RCS 데이터 모델을 정의하여, RAN 동작을 제어 및 최적화한다. NES를 위한 RCS는 모두 셀-수준으로 정의되며, 다음과 같다.

- O-CESManagementFunction : 셀의 on/off 동작을 제어하는 RCS

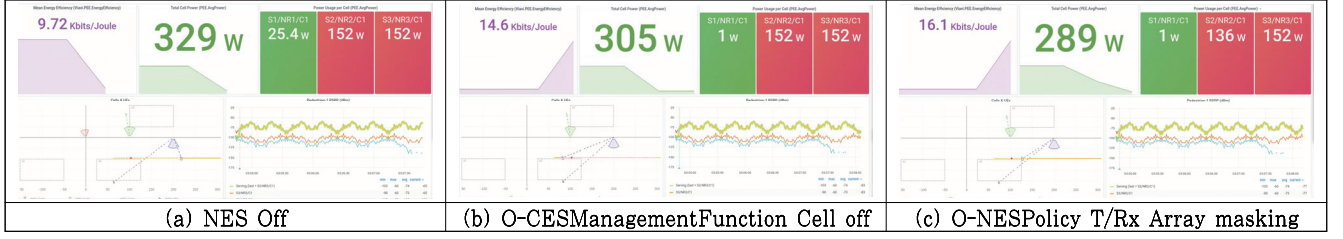


<그림 1. 시스템 모델>

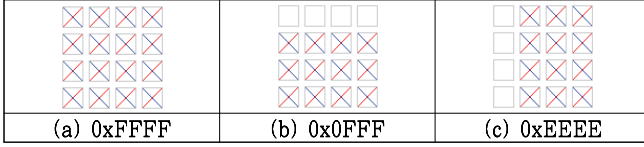
- O-NESPolicy : O-RU의 Tx/Rx Array를 선택적으로 on/off하는 TRXControl과 시간 축 상의 자원 사용을 서브프레임/슬롯/심볼 단위 까지 제어할 수 있는 고급-절전-모드(ASM)를 지원하는 RCS로, 최근에는 깊은-동면 모드도 지원하도록 확장 중에 있음
- O-CellIDTXDRXConfig : 활성 구간과 그 뒤의 비-활성 구간으로 구성되는 시간 구간의 주기적 반복을 규정하는 RCS
- O-PRBBlankingPolicy : 시간-주파수의 2차원 자원 공간에서 부분적인 자원들을 off할 수 있도록 하는 RCS

본 논문에서는 O-CESManagementFunction RCS를 사용하여 특정 셀의 on/off를 제어하고 또한 O-NESPolicy의 TRXControl 모드를 사용하여 Tx/Rx Array를 선택적으로 on/off한다. 상기 RCS들만을 활용하는 것은 [7]에서 제공하는 E2 노드들이 지원하는 RCS 제한에 따른 것이다.

그림 1은 E2SM-CCC xApp 구현 및 검증을 위한 시스템 모델을 도시하고 있다. nRT-RIC은 OSC의 RIC 플랫폼과 본 논문에서 Go 언어로 구현한 KPIMON xApp과 CCC xApp (xasb로 명명함)들로 구성되며, Non-RT RIC의 기능 모듈인 'A1 정책 관리 시스템 (A1PMS)'과 A1 인터페이스로 연결되고, E2 노드와는 E2 인터페이스로 연결된다. E2 노드는 상기한 두 xApp 기능 테스트를 위해 CCC 및 KPM RAN Function을 지원한다. nRT-RIC은 E2 Setup에서 노출되는 CCC/KPM Function 정보



<그림 2. O-CESManagementFunction 및 O-NESPolicy RCS 사용을 통한 NES 동작 결과>



<그림 3. 4x4 안테나 배열의 마스킹에 따른 안테나 배열 그림>

```
root@OSC:~/OSC# kubectl get pods -A
```

NAMESPACE	NAME	READY	STATUS
kube-system	calico-kube-controllers-658958974b-4ngmj	1/1	Running
kube-system	calico-node-jgp2l	1/1	Running
kube-system	coredns-76f75df574-2nj8v	1/1	Running
kube-system	coredns-76f75df574-dtn7p	1/1	Running
kube-system	etcd-osc	1/1	Running
kube-system	kube-apiserver-osc	1/1	Running
kube-system	kube-controller-manager-osc	1/1	Running
kube-system	kube-proxy-n5r2f	1/1	Running
kube-system	kube-scheduler-osc	1/1	Running
my-grafana	grafana-5fcc5f6986-4s64f	1/1	Running
ricinfra	deployment-tiller-ricapp-676dfd8664-x5gzf	1/1	Running
ricinfra	nfs-ganesha-1-nfs-server-provstioner-0	1/1	Running
ricinfra	tiller-secret-generator-h4l52	0/1	Completed
ricplt	deployment-ricplt-aimediator-64fd4bf64-v5xfx	1/1	Running
ricplt	deployment-ricplt-alarmanager-7d47d8f4d4-6jwcv	1/1	Running
ricplt	deployment-ricplt-appmgr-79848f94c-kxlgj	1/1	Running
ricplt	deployment-ricplt-e2mgr-648779559b-k5t7r	1/1	Running
ricplt	deployment-ricplt-e2tern-alpha-5f6c6fb94d-r59xv	1/1	Running
ricplt	deployment-ricplt-jaegeradapter-7489d97555-65qzg	1/1	Running
ricplt	deployment-ricplt-oimediator-76c4646878-dlczd	1/1	Running
ricplt	deployment-ricplt-rtmgr-6556c5bc7b-b92kt	1/1	Running
ricplt	deployment-ricplt-submgr-67889d4db9-ndmgd	1/1	Running
ricplt	deployment-ricplt-vespangr-78666549b-sdggf	1/1	Running
ricplt	r4-influxdb-influxdb2-0	1/1	Running
ricplt	r4-infrastructure-kong-7576f45794-s22w4	2/2	Running
ricplt	r4-infrastructure-prometheus-alertmanager-64f9876d6d-z6vkt	2/2	Running
ricplt	r4-infrastructure-prometheus-server-bcc8cc897-5lk4d	1/1	Running
ricplt	statefulset-ricplt-dbaas-server-0	1/1	Running
ricxapp	ricxapp-kpimon-go-766744b777-jt2lg	1/1	Running
ricxapp	ricxapp-xasb-774f9ddbff-p6p9x	1/1	Running

<목록 1. 본 논문에서 구현한 nRT-RIC의 k8s pod 목록>

```
root@OSC:~/OSC# kubectl get svc -n ricxapp -l app=ricxapp-xasb
```

NAME	TYPE	CLUSTER-IP	EXTERNAL-IP	PORT(S)
service-ricxapp-xasb-grpc-server	ClusterIP	10.108.142.89	<none>	50051/TCP
service-ricxapp-xasb-http	ClusterIP	10.101.111.74	<none>	8080/TCP
service-ricxapp-xasb-rest	ClusterIP	10.111.83.168	<none>	9090/TCP
service-ricxapp-xasb-rmr	ClusterIP	10.98.140.118	<none>	4560/TCP, 4561/TCP

<목록 2. 본 논문에서 구현한 E2SM-CCC xApp (xasb) 쿠버네티스 서비스 목록>

를 식별하고, KPI 및 RCS를 각각 구독 요청하여 주기적으로 KPI 및 필요한 RCS 정보를 수신하게 된다. 구독한 KPI/RCS 정보에 기반하여 NES 제어를 위한 RIC Control 메시지를 E2 노드에게 전송하게 된다. 제안하는 xApp의 기능 검증에 위해, 세 개의 셀 (O-RU)과 세 개의 UE들을 배치하는 토폴로지를 고려하는데, 그림 2에서 볼 수 있듯이, 첫 번째 셀에는 어떠한 UE도 연결되지 않고 두 번째 셀에는 고정 UE가, 그리고 세 번째 셀에는 두 개의 UE가 연결된다.

그림 2에는 NES 동작 결과가 도시되어 있는데, (a)에는 NES가 적용되기 전에 전체 에너지 효율, 네트워크 총 소모 전력, 그리고 세 개의 셀에서 각각 소비되는 전력을, (b)에는 O-CESManagementFunction RCS를 사용하여 첫 번째 셀을 Off한 결과를, (c)에는 추가로 O-NESPolicy RCS를 사용하여 두 번째 셀의 4x4 안테나 배열에서 첫 행의 4개 안테나를 off한 결과를 도시한다. NES 기능 적용에 따라 에너지 효율은 높아지고 소모 전력은 낮아짐을 알 수 있다. 그림 3에는 안테나 마스킹에 따른 안테나 배열 그림을 도시하고 있다.

목록 1과 목록 2는 각각 본 논문에서 사용한 nRT-RIC의 쿠버네티스 pod 목록과 xasb의 서비스 목록을 도시한다. kube-system 및 ricinfra에 속한 pod들과 데이터 시각화를 위한 grafana pod, OSC에서 배포한 ricplt pod들, 그리고 자체 개발한 ricxapp을 구성하는 kpimon과 xasb pod로 구성됨을 알 수 있다. 목록 2를 통해 xasb xApp은 외부 NES xApp들을 지

원하는 grpc-server 기능, xApp 관리를 위한 http 기능, 그리고 메시지 전달 기능을 지원하는 rmr 기능을 지원하고 있음을 알 수 있다. 마지막으로, 아래 구문은 grpcurl을 사용하여 xasb의 grpc server에게 O-NESPolicy RCS로 CCC Control을 전송할 때 사용하는 JSON 파일의 한 예제이다.

```
{
  "ranName": "gnbd_001_001_123456_2",
  "RICControlHeaderData": { "ControlStyle": 2 },
  "RICControlMessageData": {
    "cells": [ {
      "configs": [ {
        "name": "O-NESPolicy",
        "oldValues": { "antennaMask": "1111111111111111" },
        "newValues": { "antennaMask": "0000111111111111" }
      } ]
    } ],
    "RICControlAckReqVal": "ACK_REQUIRED"
  }
}
```

III. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 E2SM-CCC 규격에 기반한 NES 지원 xApp을 구현하고 지능형 네트워크 에너지 관리로의 확장을 고려한 구조를 제시하였다. 향후 연구로는 AI/ML 알고리즘을 적용한 Active Sleep Mode(ASM) 기반 에너지 절감 xApp을 구현하고, 트래픽 특성과 서비스 요구사항을 고려한 지능형 제어 성능을 분석할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00225468, 오픈랜 지능화를 위한 무선지능화 제어기술개발)

참고 문헌

- [1] M. Polese, *et al.*, "Understanding O-RAN: Architecture, Interfaces, Algorithms, Security, and Research Challenges," *IEEE Commun. Surv. Tuto.*, vol. 25, no. 2, pp.1376-1411, Apr. 2023.
- [2] GSMA, "5G Energy Efficiencies: Green is the New Black," *Tech. Rep.*, Nov. 2020
- [3] O-RAN white paper, "Potential Energy Savings Features in O-RAN By the Sustainability Focus Group (SUGF)," Jan. 2025.
- [4] O-RAN.WG3.TS.E2SM-CCC-R004-v06.00, "E2 Service Model Cell Configuration and Control," *Technical Specification*, Jun. 2025.
- [5] J. F. Santos et al., "Managing O-RAN Networks: xApp Development From Zero to Hero," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol 28, 2026.
- [6] S.-E Hong et al., "Design of Interpretable and Enhanced Anomaly Detection xApp for Traffic Steering in O-RAN," *In. IEEE PIMRC2025*, Sep. 2025.
- [7] TeraVM AI RAN Scenario Generator (RSG) - User Guide, Release v2.6, 2025