

# Open RAN 을 통한 AI enhanced 서비스로 구현하는 재난안전 통신망

한효찬

서원대학교

james.hyochan.han@gmail.com

## Disaster and safety communication network implemented with AI enhanced services through Open RAN

Han Hyochan

Seowon University

### 요 약

재난 발생 빈도와 심각성이 증가함에 따라 효과적인 재난안전 통신망(Disaster and Safety Communication Network, DSCN)의 중요성이 커지고 있다. 기존 TETRA/P25 기반 통신망은 음성 중심이며 광대역 데이터 및 상호운용성 확보에 한계가 있었다. 본 논문은 Open RAN(Open Radio Access Network) 기술을 대안으로 제시한다. Open RAN 은 개방성, 분산화, 가상화, 지능화 원칙에 기반하여 통신망의 유연성, 비용 효율성, 혁신성을 높인다. 특히, RAN Intelligent Controller(RIC)는 AI/ML 기술을 접목하여 통신망 운영 자동화 및 최적화를 가능하게 한다. 본 논문에서는 Open RAN 아키텍처, 특히 RIC 와 AI/ML 기반 애플리케이션(xApp/rApp)을 통해 재난 상황에서 요구되는 초저지연 통신, 동적 자원 할당, 네트워크 복원력 및 상호운용성을 어떻게 향상시킬 수 있는지 분석한다. 또한, Open RAN 기반 DSCN 의 잠재적 이점과 함께 보안, 통합 복잡성 등의 도전 과제와 해결 방안을 논의한다.

### I. 서 론

#### 첨단 재난안전 통신망(DSCN)의 필요성 및 기존 시스템의 한계

자연재해 및 인적 재난 증가로 인해, 재난 상황에서 초기 대응 기관 간 원활하고 신뢰성 있는 통신은 필수적이다. 재난안전 통신망(DSCN)은 높은 신뢰성, 복원력, 보안성, 우선순위 통신, 상호운용성, 초저지연 통신 등의 요구사항을 만족해야 한다.<sup>[1]</sup> 한국의 재난안전 통신망 사업에서도 이러한 요구가 중요하다.<sup>[1]</sup>

그러나 현재 사용되는 TETRA, P25 등 LMR 기반 시스템은 안정적인 음성 통신(PTT) 외에 광대역 데이터 지원이 부족하고<sup>[3]</sup>, 서로 다른 시스템 간 상호운용성 문제("Why Can't We Talk?")가 심각하며<sup>[5]</sup>, 폐쇄적인 구조로 유연성과 확장성이 낮다는 한계를 지닌다.<sup>[4]</sup>

#### Open RAN: 혁신적인 해결책

Open RAN 은 기존 RAN 구조를 개방성, 분산화, 가상화, 지능화 원칙으로 혁신하는 패러다임이다.<sup>[7]</sup> 이는 유연성 및 확장성 증대<sup>[6]</sup>, 비용 효율성 향상 (COTS 활용)<sup>[6]</sup>, 벤더 다양성 및 혁신 촉진<sup>[6]</sup>, AI/ML 기반 지능형 네트워크 운영<sup>[6]</sup> 등의 이점을 제공한다. Open RAN 의 핵심 지능화 요소는 RAN Intelligent Controller (RIC)이다.<sup>[6]</sup> RIC 는 개방형 인터페이스를 통해 RAN 기능을 제어하고 AI/ML 애플리케이션(xApp/rApp)을 탑재하여 DSCN 에 필요한 지능형 서비스를 구현한다.

본 논문은 Open RAN 아키텍처, 특히 AI 강화 RIC 를 활용하여 재난 상황에 필요한 초저지연 및 지능형 통신 서비스를 제공함으로써 효과적인 DSCN 구현 방안을

분석한다. RIC 작동 원리, AI 기반 서비스의 재난 시나리오 적용 사례, 초저지연 메커니즘, 복원력 및 상호운용성 향상 측면을 다룬다.

### II. 본론

#### 1. Open RAN 구조와 RAN Intelligent Controller (RIC)

##### Open RAN 구성 요소 및 RIC 구조

Open RAN 은 기지국 기능을 O-RU (무선 처리), O-DU (실시간 기저대역 처리), O-CU (비실시간 상위 계층 처리)로 분산시킨다.<sup>[6]</sup> 전체 관리는 SMO (Service Management and Orchestration)가 담당하며, 가상화된 기능은 O-Cloud 플랫폼에서 호스팅된다.<sup>[6]</sup> RIC 는 RAN 제어 및 최적화를 담당하는 소프트웨어 플랫폼으로, Non-RT RIC 와 Near-RT RIC 로 구성된다.<sup>[6]</sup>

- Non-RT RIC: SMO 내 위치하며 1 초 이상 단위로 동작. 네트워크 전반 데이터 분석, AI/ML 모델 학습, 정책 수립 및 Near-RT RIC 가이드라인 제공. rApp 탑재.<sup>[6]</sup>
- Near-RT RIC: 네트워크 엣지에 위치하며 10ms~ 1s 단위로 동작. Non-RT RIC 정책 기반으로 RAN 노드 (E2 노드)를 실시간에 가깝게 제어. xApp 탑재.<sup>[6]</sup>

##### 핵심 개방형 인터페이스: A1 및 E2

- A1 인터페이스: Non-RT RIC 와 Near-RT RIC 연결. 정책, AI/ML 모델, 보강 정보 전달.<sup>[8]</sup>
- E2 인터페이스: Near-RT RIC 와 E2 노드(O-CU, O-DU 등) 연결. 실시간 데이터 수집 및 제어 명령 전달. E2 서비스 모델(E2SM) 통해 통신.<sup>[24]</sup>

이 계층적 RIC 구조와 A1/E2 인터페이스는 복잡한 AI 처리와 저지연 제어 요구사항 간의 균형을 맞추며 다양한 시간 척도에 걸친 최적화를 가능하게 한다.<sup>[6]</sup>

## 2. 재난 시나리오를 위한 RIC 기반 AI 강화 서비스

### xApp/rApp 을 통한 AI/ML 통합 및 활용 사례

RIC 플랫폼은 서드파티 xApp/rApp 탑재를 통해 AI/ML 기반 지능형 기능을 구현한다.<sup>[7]</sup> 강화학습(RL), 지도/비지도 학습 등 다양한 AI 기법이 적용될 수 있다.<sup>[6]</sup> 재난 상황에서 AI 기반 서비스는 다음과 같이 활용될 수 있다:

- 동적 자원 할당 및 우선순위 제어: AI 기반 xApp 이 실시간 네트워크 상태와 정책(A1 경우)에 따라 무선 자원을 동적으로 할당하여 긴급 통신(초기 대응자 등) 품질 보장 및 우선 처리.<sup>[29]</sup>
- 지능형 트래픽 스티어링/부하 분산: AI 기반 xApp 이 셀 부하, 신호 품질 등을 분석하여 혼잡/손상된 셀의 트래픽을 가용 셀로 자동 분산.<sup>[9]</sup> RL 기반 스티어링은 처리율 및 스펙트럼 효율 향상.<sup>[11]</sup>
- 예측 기반 QoS/QoE 관리: AI 가 미래 네트워크 상태를 예측하여 파라미터를 선제 조정함으로써 드론 영상 전송, 원격 의료 등 중요 서비스 품질 유지.<sup>[8]</sup>
- 이상 징후 탐지를 통한 복원력/보안 강화: AI 기반 이상 징후 탐지 xApp/rApp 이 장비 고장, 비정상 트래픽, 사이버 공격 등을 실시간 감지하여 신속 대응 및 자동 복구 지원.<sup>[10]</sup>
- 에너지 효율 최적화: AI 가 트래픽 패턴을 분석하여 셀/캐리어 슬립 모드를 제어, 평시 비용 절감 및 재난 시 배터리 기반 기지국 운영 시간 연장.<sup>[33]</sup>

AI/ML 기반 RIC 는 지속적인 데이터 수집(E2)과 분석을 통해 예측 및 이상 감지를 수행하고, 자동화된 제어 루프(A1/E2)를 통해 네트워크를 선제적으로 조정함으로써 재난 상황에서의 대응 효과와 복원력을 크게 향상시킨다.<sup>[8]</sup>

## 3. Open RAN 에서의 초저지연 통신 구현

### DSCN 을 위한 URLLC 요구사항 및 Open RAN 의 역할

재난 현장의 원격 로봇/드론 제어, 원격 의료 지원 등에는 10ms 미만의 초저지연 및 고신뢰도(URLLC) 통신이 필수적이다.<sup>[2]</sup>

- Near-RT RIC (10ms ~ 1s): E2 인터페이스를 통해 QoS 보장, 빠른 핸드오버 등 제어 수행.<sup>[6]</sup>
- dApp (<10ms): URLLC 요구사항 충족을 위해 O-DU/CU 에서 직접 실행되는 dApp 개념 등장. 정밀한 자원 스케줄링, 빔포밍 등 실시간 제어 가능.<sup>[12]</sup> 이는 향후 "Real-Time RIC"의 필요성을 시사한다.
- 엣지 컴퓨팅(MEC): O-DU, Near-RT RIC 등을 네트워크 엣지에 배치하고 MEC 와 연계하여 코어망까지의 전송 지연 단축.<sup>[9]</sup>

Open RAN 은 이러한 계층적 제어(Non-RT RIC > Near-RT RIC > dApp)를 통해 다양한 지연 시간 요구사항에 맞춰 제어 로직을 최적 위치에 배치함으로써 효율적인 저지연 성능을 제공한다.<sup>[12]</sup>

## 4. 재난 통신망 복원력 및 상호운용성 강화

### 복원력 향상

Open RAN 의 가상화 및 클라우드 네이티브 기술:

- 자동 복구: AI 기반 이상 탐지(RIC) 및 SMO 를 통해 장애 감지 시 트래픽 자동 우회 및 예비 가상 기능 신속 활성화.<sup>[10]</sup>
- 자원 풀링: 가상화된 기능이 공유 자원 풀에서 동작하여 노드 장애 시 다른 노드에서 기능 수행.<sup>[8]</sup>
- 배치 유연성: 이동형 O-RU, 드론 기지국 등을 신속 배치하여 커버리지 복구.<sup>[43]</sup>

### 상호운용성 장벽 극복

Open RAN 은 표준화된 인터페이스를 통해 기존 시스템의 상호운용성 문제를 해결할 잠재력을 가진다:

- 표준화된 개방형 인터페이스 (Fronthaul, F1, E1, A1, E2, O1 등): 다양한 장비/소프트웨어 통합 용이.<sup>[6]</sup>
- 소프트웨어 정의 기능: 하드웨어와 분리된 소프트웨어 기능으로 시스템 통합, 업데이트 용이.<sup>[6]</sup>
- PS-LTE/MCX 통합: 3GPP MCX 서비스(MCPTT, MCData, MCVideo 등) <sup>[13]</sup> 통합 기반 제공.

### 기존 시스템(TETRA/P25)과의 비교

Open RAN 기반 DSCN 은 TETRA/P25 대비 광대역 데이터 지원<sup>[3]</sup>, AI 기반 지능형 최적화<sup>[6]</sup>, 초저지연 잠재력<sup>[11]</sup>, 유연성/확장성<sup>[6]</sup>, 상호운용성<sup>[7]</sup> 등에서 우수하다. RIC 의 프로그래밍 가능성은 기술적 상호운용성을 넘어, 기관 간 협력 프로토콜 자동 적용 등 운영적 상호운용성까지 향상시킬 수 있다.<sup>[8]</sup>

## III. 결론

Open RAN 과 AI 기술 융합은 DSCN 에 혁신적 변화를 가져올 잠재력을 지닌다. 개방성과 지능성을 바탕으로 유연성, 효율성, 상호운용성이 향상된 차세대 DSCN 은 효과적인 재난 대응을 지원할 것이다. 보안, 통합, 표준화 등의 도전 과제는 산업계 노력을 통해 해결 중이다.

향후 실시간 제어 기술 성숙(dApp/Real-Time RIC), 재난 특화 AI/ML 애플리케이션 개발, AI 기반 보안 강화, MCX 및 레거시 시스템 연동, 대규모 실증 및 검증, 에너지 효율 심층 연구 등이 필요하다. 지속적인 기술 개발과 협력을 통해 지능적이고 복원력 있는 Open RAN 기반 DSCN 구축을 기대한다.

### 참 고 문 헌

- [1] 행정안전부 (MOIS) - 재난안전통신망 관련 자료 (다수)
- [2] Papers discussing URLLC requirements for PSN/MCC
- [3] Survey/Analysis papers on PSN limitations
- [4] Papers comparing LTE/5G with TETRA/P25
- [5] National Task Force on Interoperability. "Why Can't We Talk?" (Interoperability challenges) 53
- [6] Foundational papers/surveys on Open RAN architecture and benefits
- [7] O-RAN Alliance White Papers / Specifications on Architecture
- [8] Papers detailing RIC functions and xApp/rApp interactions
- [9] Papers discussing MEC integration with RAN for latency reduction
- [10] O-RAN Alliance WG11 Security Threat Modeling / Papers discussing O-RAN security challenges
- [11] Papers discussing O-RAN interfaces (A1, E2) and RIC roles
- [12] Papers discussing dApps / Real-Time RIC concept for <10ms control
- [13] 3GPP. (Specifications related to MCX services) 51