

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

요약

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 RAN은 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 DSCN의 잠재적 이점과 함께 보안, 통합 복잡성 등의 도전 과제와 해결 방안을 논의한다.

I. 서론

첨단 재난안전 통신망(DSCN)의 필요성 및 기준 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.^[1] 한국의 재난안전 통신망 사업에서도 이러한 요구가 중요하다.^[1]

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

Open RAN: 혁신적인 해결책

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

본 논문은 Open RAN 아키텍처, 특히 AI 강화 RIC를 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 RAN은 기지국 기능을 O-RU (무선 처리), O-DU (실시간 기저대역 처리), O-CU (비실시간 상위 계층 처리)로 분산시킨다.^[6] 전체 관리는 SMO (Service Management and Orchestration)가 담당하며, 가상화된 기능은 O-Cloud 플랫폼에서 호스팅된다.^[6] RIC는 RAN 제어 및 최적화를 담당하는 소프트웨어 플랫폼으로, Non-RT RIC와 Near-RT RIC로 구성된다.^[6]

- Non-RT RIC: SMO 내 위치하며 1초 이상 단위로 동작. 네트워크 전반 데이터 분석, AI/ML 모델 학습, 정책 수립 및 Near-RT RIC 가이드라인 제공. rApp 탑재.^[6]
- 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.^[6]

핵심 개방형 인터페이스: A1 및 E2

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

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

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.^[7] 강화학습(RL), 지도/비지도 학습 등 다양한 AI 기법이 적용될 수 있다.^[6] 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 경유)에 따라 무선 자원을 동적으로 할당하여 긴급 통신(초기 대응자 등) 품질 보장 및 우선 처리.^[29]
- 지능형 트래픽 스티어링/부하 분산: AI 기반 xApp 이 셀 부하, 신호 품질 등을 분석하여 혼잡/손상된 셀의 트래픽을 가용 셀로 자동 분산.^[9] RL 기반 스티어링은 처리율 및 스펙트럼 효율 향상.^[11]
- 예측 기반 QoS/QoE 관리: AI가 미래 네트워크 상태를 예측하여 파라미터를 선제 조정함으로써 드론 영상 전송, 원격 의료 등 중요 서비스 품질 유지.^[8]
- 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.^[10]
- 에너지 효율 최적화: AI가 트래픽 패턴을 분석하여 셀/캐리어 슬립 모드를 제어, 평시 비용 절감 및 재난 시 배터리 기반 기지국 운영 시간 연장.^[33]

AI/ML 기반 RIC는 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.^[8]

3. Open RAN에서의 초저지연 통신 구현

DSCN을 위한 URLLC 요구사항 및 Open RAN의 역할

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

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

Open RAN은 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.^[12]

4. 재난 통신망 복원력 및 상호운용성 강화

복원력 향상

Open RAN의 가상화 및 클라우드 네이티브 기술:

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

상호운용성 장벽 극복

Open RAN은 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.^[6]
- 소프트웨어 정의 기능: 하드웨어와 분리된 소프트웨어 기능으로 시스템 통합, 업데이트 용이.^[6]
- PS-LTE/MCX 통합: 3GPP MCX 서비스(MCPTT, MCData, MCVideo 등) ^[13] 통합 기반 제공.

기존 시스템(TETRA/P25)과의 비교

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

III. 결론

Open RAN과 AI 기술 융합은 DSCN에 혁신적 변화를 가져올 잠재력을 지닌다. 개방성과 지능성을 바탕으로 유연성, 효율성, 상호운용성이 향상된 차세대 DSCN은 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.

참고 문헌

- [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