

ns3-ORAN: Uma Implementação do Open-RAN para o Simulador ns-3

Gabriel de C. Ferreira¹, Priscila Solís Barreto¹,
Eduardo A. P. Alchieri¹ e Paulo H. P. de Carvalho²

¹Departamento de Ciência da Computação (CIC)
Universidade de Brasília (UnB) – Brasília – DF – Brasil

²Departamento de Engenharia Elétrica (ENE)
Universidade de Brasília (UnB) – Brasília – DF – Brasil

{gabriel.carvalho,pris,alchieri}@unb.br, paulo@ene.unb.br

Abstract. *The Open-RAN (O-RAN) brings more competitiveness to the mobile infrastructure marked with the disaggregation of the Radio Access Networks (RANs). Standardized interfaces and RAN Intelligent Controllers (RICs) allow for the interoperability of different hardware and software providers. In spite of that, the architecture and implementation complexity and the development of control and optimization applications for the RICs are challenged slowing the deployment. In this paper, we present a module for the prototyping of RIC applications for an O-RAN network in the ns-3 network simulator.*

Resumo. *A Open-RAN (O-RAN) torna o mercado móvel mais competitivo através da desagregação das Redes de Acesso via Rádio (RANs). Interfaces padronizadas e Controladores Inteligentes da RAN (RICs) permitem a interoperabilidade entre diferentes fornecedores de hardware e de software. No entanto, a complexidade da arquitetura, das implementações e do desenvolvimento de aplicações para controle e otimização dos RICs atrasam sua implantação. Neste trabalho, apresentamos um módulo para prototipação e desenvolvimento de aplicações para RICs de uma rede O-RAN no simulador de redes ns-3.*

1. Introdução

A arquitetura de redes móveis 5G foi impulsionada pelo crescimento das nuvens, micro-serviços, containerização e virtualização. Componentes de hardware foram substituídos por componentes virtualizados em software com protocolos padronizados não proprietários. Esses componentes são gerenciados por uma infraestrutura de gerenciamento e orquestração, que pode ser proprietária ou não [3GPP 2018a].

Porém, alguns elementos importantes das redes móveis que compõem a RAN, sua orquestração e seu gerenciamento continuaram sem padronização. Isto significa que cada fabricante implementou sua solução proprietária. A concentração do mercado de equipamentos e soluções de software em poucos fornecedores causou preocupação de diversos governos, companhias e população. Para aumentar a competitividade do mercado, a O-RAN Alliance¹ propôs uma arquitetura e interfaces padronizadas, chamada de O-RAN,

¹<https://www.o-ran.org>

afim de promover a desagregação horizontal da RAN e permitir a interoperabilidade de equipamentos e software de vários fornecedores [Polese et al. 2022].

A O-RAN deve transformar o mercado de telecomunicações, aumentando a competição e inovação, além de reduzir o Custo Total de Propriedade (TCO em inglês) [Wypiór et al. 2022]. No entanto, existem desafios técnicos, incluindo a complexidade de implementação e impacto no desempenho da rede, bem como a necessidade de estabelecer fornecedores confiáveis. Um ponto forte de interesse de pesquisa na O-RAN são os controladores inteligentes da RAN, os RICs, que usam microsserviços para implementar políticas de otimização e de controle, através de regras lógicas ou fluxos de trabalho baseados em aprendizagem de máquina para tomada de decisões [O-RAN Alliance 2022a].

As especificações da O-RAN ainda estão sendo aprimoradas conforme problemas práticos são identificados na infraestrutura de testes [Polese et al. 2022]. As plataformas de experimentação disponíveis ainda estão em desenvolvimento e muitos pesquisadores utilizam ambientes de simulação de baixa fidelidade ou plataformas parcialmente adaptadas à arquitetura O-RAN, dificultando a sua extensibilidade [Bonati et al. 2022, Polese et al. 2022]. Existem também emuladores, que são mais complexos e tem alto custo computacional, restringindo seu uso acadêmico [Solis et al. 2022].

Visando preencher esta lacuna, este trabalho propõe um conjunto de adaptações para o simulador de redes ns-3 [CTTC 2014] com protocolos definidos pela O-RAN Alliance, permitindo o desenvolvimento de funcionalidades dos controladores inteligentes da RAN de quasi-tempo real (Controlador Inteligente da RAN de quasi-tempo real (near-RT RIC)) e seus microsserviços (Aplicações do near-RT RIC (xApps)). Como contribuição científica, é apresentada a arquitetura e implementação de um ambiente de simulação de código aberto, permitindo o rápido desenvolvimento e avaliação de xApps para o near-RT RIC, de acordo com as especificações O-RAN.

O restante deste artigo está organizado em cinco seções: Motivação e Problema (Seção 2), Arquitetura O-RAN (Seção 3), Simulador Proposto (Seção 4), Demonstração e Resultados (Seção 5) e Conclusões e Trabalhos Futuros (Seção 6).

2. Motivação e problema tratado pela ferramenta

Existe uma clara barreira de aprendizagem para adquirir as competências necessárias para se executar e gerenciar as soluções de O-RAN de código aberto, seguida dos requisitos computacionais e de memória no caso de emulação, além da indisponibilidade de simuladores de código aberto. Tais barreiras e dificuldades se refletem nas pesquisas acadêmicas até o momento [Solis et al. 2022, Lacava et al. 2022].

Recentemente, foi apresentada a versão inicial de um módulo que serve de interface entre um near-RT RIC da O-RAN Software Community, implementação de referência da O-RAN Alliance, e uma RAN do simulador ns-3 [Lacava et al. 2022], com o objetivo de reduzir a barreira de acesso à pesquisa com O-RAN.

Diferentemente de [Lacava et al. 2022], a ferramenta aqui proposta implementa o near-RT RIC e os xApps dentro da simulação. Isto permite que a arquitetura seja compreendida mais facilmente quando comparado as alternativas com emulação. Há também uma maior separação dos componentes O-RAN e como eles interagem com os componentes da rede *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*. Além disto, o desenvolvimento

dos componentes em uma única simulação, linguagem de programação e máquina, agiliza o desenvolvimento, depuração, testes e experimentação com xApps, bem como facilita a análise do impacto das políticas implementadas na rede móvel.

3. Arquitetura O-RAN, seus protocolos e serviços

Uma RAN 3GPP é composta por eNodeBs no 4G e gNodeBs no 5G [3GPP 2018a]. Durante a expansão do 4G, os fabricantes desagregaram estes elementos em duas unidades: uma que processa pacotes e sinais (BBU), e outra que efetivamente transmite o rádio (RRU). Essa desagregação permitiu que um único BBU se comunicasse com diversos RRUs, reduzindo custos de equipamentos e permitindo melhor uso dos recursos de rádio em células atendidas por uma BBU. Essa arquitetura ficou conhecida como RAN Centralizada (C-RAN), e foi concebida através de interfaces proprietárias [Habibi et al. 2019]. Com a transição do 4G para o 5G, a BBU foi desagregada em duas partes: Unidade Centralizada (CU) e Unidade Distribuída (DU), cuja as interfaces e camadas da pilha de rede onde ocorre a desagregação foram padronizadas pelo 3GPP [Habibi et al. 2019].

A O-RAN escolheu o split funcional 7-2x, que segrega a camada física (*PHY*) em duas partes (*High PHY* e *Low PHY*). Criou um padrão para o enlace *fronthaul*, que liga o *Low PHY* ao rádio (*RF*) [O-RAN Alliance 2022a]. Também criou interfaces de controle, monitoramento e gerenciamento dos elementos da RAN 3GPP [3GPP 2018b]. Finalmente, definiu dois controladores inteligentes para o controle e a otimização da rede.

A Figura 1 mostra em seu topo o Serviço de Orquestração e Gerenciamento (SMO em inglês) da rede, responsável por gerenciar instâncias de Funções de Rede Virtualizadas (VNFs em inglês). Dentro do SMO, está o Controlador Inteligente da RAN de não-tempo real (non-RT RIC). Abaixo do SMO, se encontra o near-RT RIC, que se conecta tanto a elementos legados da RAN 3GPP [3GPP 2018a] (esquerda), quanto aos elementos desagregados (direita).

O near-RT RIC gerencia a RAN 3GPP por meio de políticas implementadas por micros serviços chamados de xApps, que atuam por meio da interface E2 em uma escala de tempo entre 10 milissegundos e 1 segundo. Os xApps otimizam o *Handover* (HO), monitoram os enlaces de rádio, gerenciam mobilidade de usuários, balanceiam carga de tráfego de dados, atualizam políticas de fatiamento de rede, realizam *traffic steering* e gerenciamento de interferências em um ciclo fechado de controle e retroalimentação entre near-RT RIC e nós E2 na arquitetura O-RAN [O-RAN Alliance 2022a].

Os ciclos de controle fechados na arquitetura O-RAN são compostos por uma sequência de procedimentos elementares especificados pelo protocolo [O-RAN Alliance 2022c]. O primeiro é o E2 Node Configuration Update, onde um nó E2 registra seus serviços disponíveis no near-RT RIC [O-RAN Alliance 2022c]. O segundo é o RIC Subscription, onde o RIC subscreve a eventos partindo de um serviço de um dos nós E2 [O-RAN Alliance 2022c]. O terceiro é o RIC Control, onde o Near-RT entrega uma ordem de controle para um nó E2, decidida através de políticas internas implementadas por xApps [O-RAN Alliance 2022c]. O último procedimento é o *RIC Indication*, onde os nós E2 podem transportar dados coletados sobre UEs ou célula, ou requisitar que o RIC faça uma decisão de controle em seu lugar [O-RAN Alliance 2022c].

O ciclo de troca de mensagens para transferência de controle executado pela mensagem RIC Control é mostrado na Figura 2, onde se repete para os mais diversos tipos de

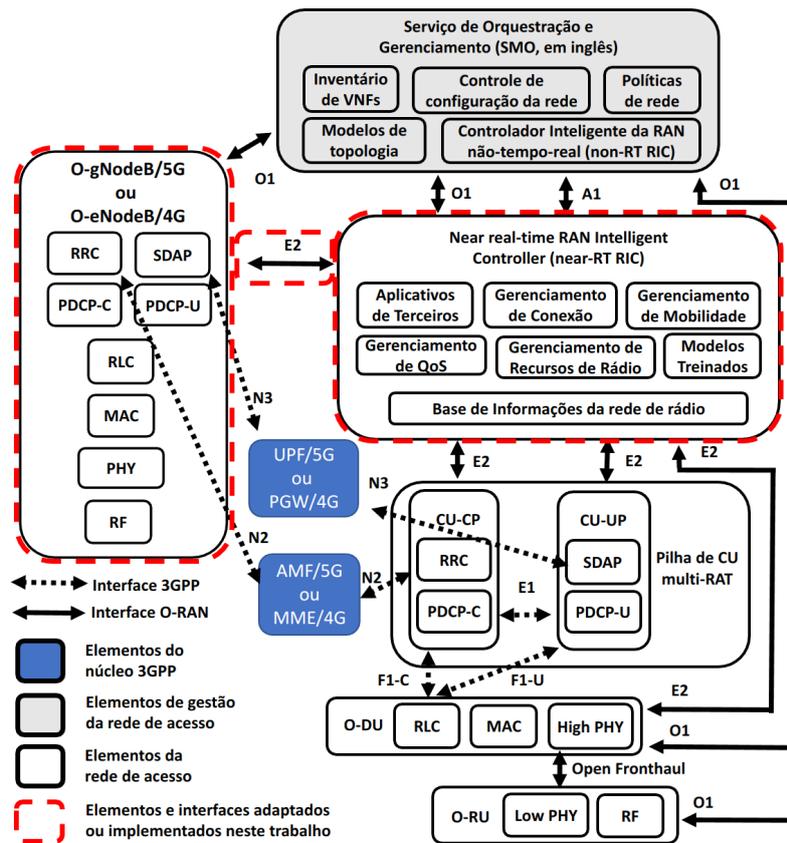


Figura 1. Blocos Lógicos de uma RAN legada com O-RAN (esquerda) e uma RAN desagregada com O-RAN (direita). Elementos adaptados e implementados neste trabalho estão ressaltados por tracejados longos em vermelho.

serviços registrados onde o near-RT RIC e seus xApps tomam decisões de controle que tipicamente seriam tomadas por um elemento da RAN 3GPP, como um eNodeB, gNodeB, CU ou DU [O-RAN Alliance 2022b].

4. Arquitetura e principais funcionalidades

O simulador ns-3 é distribuído por padrão com a pilha 4G/LTE, suportada pela O-RAN. A pilha do eNodeB foi adaptada com pontos de coleta de métricas de desempenho e pontos de transferência de controle. Estes pontos só são ativos caso uma aplicação E2 Node esteja presente no eNodeB, transformando-o em um O-eNodeB compatível com a O-RAN. A aplicação E2Node implementa a interface E2, que permite comunicação do eNodeB com o near-RT RIC. A implementação da aplicação near-RT RIC é feita através da mesma classe, que se comporta de maneira distinta baseada no seu identificador, e foi instalada no gateway SGW, conforme a Figura 3.

Foram implementados parcialmente 5 dos 12 procedimentos elementares do Protocolo de Aplicação E2 (E2AP) [O-RAN Alliance 2022c]: RIC Subscription, RIC Subscription Delete, RIC Control, E2 Node Configuration Update, RIC Indication. Foram implementados 11 dos 27 tipos de mensagens previstos para os procedimentos implementados. Estes são suficientes para a implementação de ciclos de controles fechados em cenários de simulação simples com um único near-RT RIC e topologia da RAN estática.

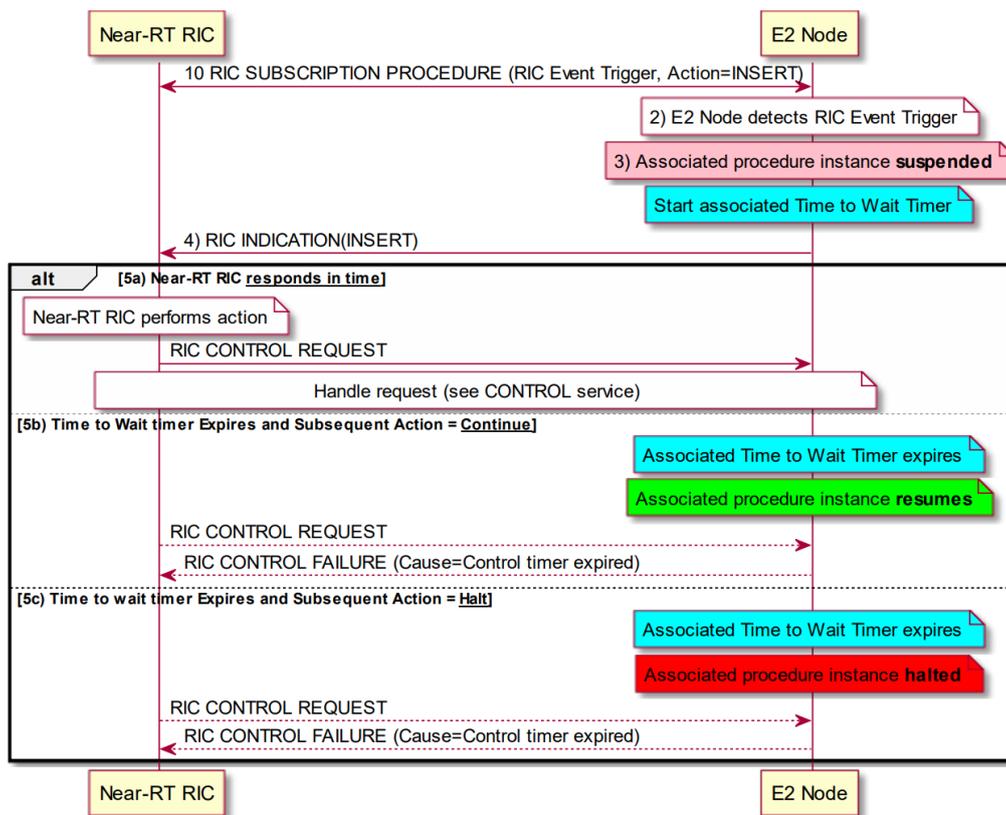


Figura 2. Diagrama de troca de mensagens entre near-RT RIC e nó E2 (E2 Node em inglês) do protocolo E2AP [O-RAN Alliance 2022b]

A ordem de implementação de novas funcionalidades para a implementação de um novo ciclo de controle fechado é mostrada na Figura 4. Para demonstrar a funcionalidade da ferramenta e verificar seu funcionamento, foi implementado o serviço de *handover* incondicional, que também requer um conjunto de métricas disponíveis para a tomada de decisões. A primeira etapa é a implementação dos pontos de coleta de Métricas Chave de Desempenho (KPMs) mínimos requeridos pelo serviço que se pretende implementar, de acordo com a O-RAN Alliance [O-RAN Alliance 2022d] e 3GPP [3GPP 2017]. Foram acrescentados pontos de coleta de KPMs na camada RRC (Controle de Recursos de Rádio) do LTE. Nestes pontos foram coletadas as métricas de qualidade do canal (RSRP, RSRQ), que são transmitidas periodicamente para o near-RT RIC subscrito.

A segunda etapa na Figura 4 é a implementação dos pontos de troca de controle. No *handover*, este ponto está localizado na camada RRC. É o ponto a partir do qual um nó E2, através do envio de uma mensagem RIC Indication, pode requerer o controle do RIC, que faz sua decisão e a retransmite de volta em forma de uma mensagem do tipo RIC Control Request, contendo sua decisão. O ponto de troca de controle então pode interromper o procedimento, caso tenha sido rejeitado pelo near-RT RIC, ou pode executá-lo, conforme mostrado na Figura 2.

A terceira etapa é a codificação da mensagem do tipo RIC Indication, conforme especificado [O-RAN Alliance 2022e], requisitando a intervenção do near-RT RIC. No caso do *handover* incondicional, a mensagem enviada pelo nó E2 conterá o identificador do aparelho alvo e uma possível célula de destino. A quarta etapa é implementar no near-

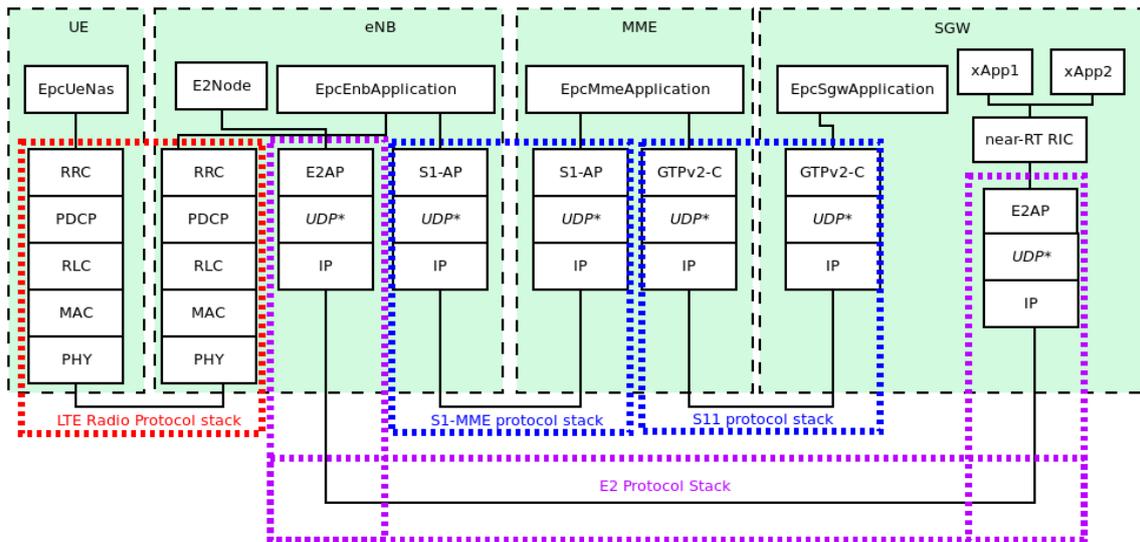


Figura 3. Pilha adaptada do 4G/LTE do ns-3 com suporte à O-RAN.

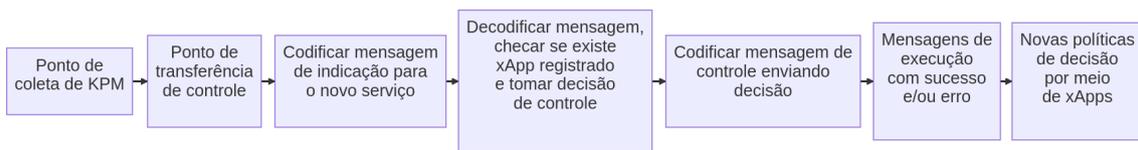


Figura 4. Ordem de implementação dos componentes para a adição de um novo ciclo de controle fechado.

RT RIC a decodificação do RIC Indication, a tomada de decisão para o serviço e o envio da mensagem do tipo RIC Control Request [O-RAN Alliance 2022e]. No *handover*, o RIC seleciona a célula mais apropriada para um dado dispositivo baseado nas medições de potência recebidas através dos KPMs coletados.

Quando um nó E2 requisita o controle do near-RT RIC, ele tipicamente sugere uma decisão. Por padrão, essa sugestão é sempre aceita pelo near-RT RIC, permitindo que o nó E2 continue operando como se fosse independente. Este padrão, porém, pode ser modificado pela política interna implementada por um xApp. Na implementação proposta, um xApp é composto de uma função que executa a política interna e uma terminação de Interface de Programação de Aplicação (API). Quando o xApp é criado, ele registra um par chave-valor, contendo a chave com o caminho da terminação, que representa os serviços de controle da RAN previstos no Modelo de Serviço E2 de Controle da RAN (E2SM-RC), e o valor com um ponteiro para uma função com a política do xApp.

A quinta etapa da Figura 4 consiste na codificação da mensagem do tipo RIC Control Request com os conteúdos da decisão. No *handover*, os conteúdos são a rejeição ou não do pedido de controle, mais a célula de destino para qual o dispositivo móvel deve ser migrado. A sexta etapa da Figura 4 está relacionada com capturar e notificar ao near-RT RIC se o procedimento executado no ponto de transferência de controle do nó E2, a partir da decisão do near-RT RIC, foi concluído com sucesso ou não. Isto é feito a partir das mensagens RIC Control Acknowledge e RIC Control Failure [O-RAN Alliance 2022c].

Por fim, a sétima e última etapa é a implementação de novas políticas de decisão

por meio de xApps. Neste caso, podem ser utilizadas estratégias de treinamento por reforço, ou uso de métricas além das requeridas para tomadas de decisão mais complexas.

É importante salientar que ordens de controle podem partir diretamente do near-RT RIC [O-RAN Alliance 2022b], sem a necessidade de uma mensagem RIC Indication. Para isto, um xApp pode executar suas políticas internas e periodicamente disparar eventos para envio destas ordens, conforme for necessário para se atingir objetivos mensuráveis pelas métricas de qualidade observadas [O-RAN Alliance 2022b].

5. Demonstração

A demonstração da ferramenta executa o procedimento de *handover* mediado pelo near-RT RIC, utilizando as políticas diversas de tomada de decisão implementada em xApps, através do modelo de serviço E2SM-RC. Serão mostradas as diferenças dos *handovers* iniciados pela célula e os iniciados por xApps. As decisões serão tomadas com base nas medições de potência recebida pelos UEs (RSRQ), fornecidas através da assinatura destas métricas pelo near-RT RIC, adquiridas via o modelo de serviço Modelo de Serviço E2 de Métricas Chave de Desempenho (E2SM-KPM). A demonstração permite que as funcionalidades desenvolvidas na ferramenta viabilizem o desenvolvimento pelos usuários de novos xApps para redes O-RAN. A demonstração requer uma tela e um computador.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou uma ferramenta de simulação para a implementação de novos xApps para redes O-RAN. Como trabalhos futuros, planeja-se implementar o non-RT RIC e seus microsserviços (*rApps*), de maneira a implementar políticas de otimização de maior prazo e um ciclo de controle cognitivo, com treinamento federado distribuído entre diversos near-RT RICs, conforme os objetivos declarados pela O-RAN Alliance.

O código-fonte, manual e vídeo da ferramenta desenvolvida neste trabalho estão disponíveis em https://gabrielcarvfer.github.io/NS3/ns3_ORAN/.

Agradecimentos

Este projeto foi apoiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com recursos da Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991, no âmbito do PPI-SOFTEX, coordenado pela Softex e publicado Residência em TIC 08, DOU 01245.014045/2022-75.

Também foi apoiado pela ANATEL, através do TED OpenRAN com a UnB, e pela FAP-DF, através do projeto PLEDESIR, Processo SEI 00193-00002224/2022-13.

Referências

- 3GPP (2017). Performance measurements Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) - 3GPP TS 32.425 version 14.1.0 Release 14. https://www.etsi.org/deliver/etsi_TS/132400_132499/132425/14.01.00_60/ts_132425v140100p.pdf. Accessed: 2022-10-04.
- 3GPP (2018a). 5G - NG-RAN Architecture description - 3GPP TS 38.401 version 15.2.0 Release 15. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138400_138499/138401/15.02.00_60/ts_138401v150200p.pdf. Accessed: 2022-10-04.

- 3GPP (2018b). 5G - System Architecture for the 5G System - 3GPP TS 23.501 version 15.3.0 Release 15. https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123500_123599/123501/15.03.00_60/ts_123501v150300p.pdf. Accessed: 2022-10-04.
- Bonati, L., Polese, M., D’Oro, S., Basagni, S., and Melodia, T. (2022). Openran gym: Ai/ml development, data collection, and testing for o-ran on pawr platforms. *Computer Networks*, page 109502.
- CTTC (2014). The LENA ns-3 LTE Module Documentation. [Online; accessed 28-February-2018].
- Habibi, M. A., Nasimi, M., Han, B., and Schotten, H. D. (2019). A comprehensive survey of ran architectures toward 5g mobile communication system. *IEEE Access*, 7:70371–70421.
- Lacava, A., Polese, M., Sivaraj, R., Soundarajan, R., Bhati, B. S., Singh, T., Zugno, T., Cuomo, F., and Melodia, T. (2022). Programmable and customized intelligence for traffic steering in 5g networks using open ran architectures. *arXiv:2209.14171*.
- O-RAN Alliance (2022a). O-RAN Architecture Description v07.00. <https://orandownloadsweb.azurewebsites.net/download?id=310>. Accessed: 2022-12-13.
- O-RAN Alliance (2022b). O-RAN Near-Real-time RAN Intelligent Controller Architecture & E2 General Aspects and Principles 2.02. <https://orandownloadsweb.azurewebsites.net/download?id=262>. Accessed: 2022-10-04.
- O-RAN Alliance (2022c). O-RAN Near-Real-time RAN Intelligent Controller, E2 Application Protocol (E2AP) 2.02. <https://orandownloadsweb.azurewebsites.net/download?id=165>. Accessed: 2022-10-04.
- O-RAN Alliance (2022d). O-RAN Near-Real-time RAN Intelligent Controller, E2 Key Performance Metrics Service Model (E2SM-KPM) 2.02. <https://orandownloadsweb.azurewebsites.net/download?id=264>. Accessed: 2022-10-04.
- O-RAN Alliance (2022e). O-RAN Near-Real-time RAN Intelligent Controller, E2 RAN Control Service Model (E2SM-RC) 1.02. <https://orandownloadsweb.azurewebsites.net/download?id=265>. Accessed: 2022-10-04.
- Polese, M., Bonati, L., D’oro, S., Basagni, S., and Melodia, T. (2022). Understanding o-ran: Architecture, interfaces, algorithms, security, and research challenges. *ArXiv*, abs/2202.01032.
- Solis, P., Ferreira, G. C., Jr., R. G. S., and de Carvalho, P. H. P. (2022). Uma análise do open RAN e os desafios da sua experimentação em plataformas de código aberto. In *Anais do XL Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais*. Sociedade Brasileira de Telecomunicações.
- Wypiór, D., Klinkowski, M., and Michalski, I. (2022). Open ran—radio access network evolution, benefits and market trends. *Applied Sciences*, 12:1–18.