

Постановка задачи разработки приложений xApp для сетей радиодоступа с открытой архитектурой O-RAN

Г. А. Фокин, А. И. Дюдин

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*

grihafokin@gmail.com, atos-svet33@mail.ru

Аннотация. Альянс Open Radio Access Network (O-RAN) предлагает открытую архитектуру, которая подразделяет структуру сети радиодоступа RAN на составные части и поддерживает выполнение конфигурируемой логики управления в режиме, близком к реальному времени, из сторонних приложений, называемых xApps. Несмотря на усилия альянса O-RAN, на сегодняшний день создание приложений xApps остается сложным и трудоемким процессом, осложняемым фрагментированной и/или устаревшей документацией от сообщества O-RAN Software Community (OSC). Данные обстоятельства затрудняют разработку и проверку приложений xApps в сетях с открытой архитектурой O-RAN как академическим сообществом, так и предприятиями реального сектора экономики. Задачей настоящего обзора является анализ предпосылок успешной разработки и экспериментальной апробации приложений xApps для управления экосистемой O-RAN с использованием функциональности компонентов интеллектуальных контроллеров Near Real-Time RAN Intelligent Controller (Near-RT RIC), работающих в режиме, близком к реальному времени.

Ключевые слова: O-RAN, xApps, сеть радиодоступа с открытой архитектурой O-RAN, контроллеры Near-RT RIC

I. ВВЕДЕНИЕ

Современная тенденция в развитии технологий построения и функционирования сетей радиодоступа RAN (Radio Access Network) поколений от 2G GSM до 5G NR связана с разделением аппаратного и программного обеспечения и созданием открытых интерфейсов между ними получила название Open RAN [1]. Следует отличать термин Open RAN от названия команды OpenRAN инициативного проекта Telecom Infra Project (TIP) [2].

В широком смысле TIP представляет собой глобальное сообщество организаций, работающих над разработкой и внедрением открытых 2G, 3G, 4G и 5G RAN-решений с разделением программно-определяемых технологий и аппаратных компонентов, независимых от производителей, т. е. вендеронезависимых. Основанный в 2016 проект TIP быстро превратился в активное сообщество из сотен участников, охватывающих поставщиков услуг, производителей аппаратных комплексов, разработчиков программного обеспечения, системных интеграторов и академические группы.

Также следует обозначить альянс O-RAN Alliance [3], представляющий всемирное сообщество операторов мобильной связи, поставщиков оборудования и услуг, а

также научно-исследовательские и академические учреждения, миссия которых заключается в совершенствовании сетей радиодоступа (СРД) посредством придания им следующих новых свойств: интеллектуальность, открытость, виртуализация сетевых функций и полная совместимость [4], [5].

Задачей настоящего обзора является анализ предпосылок успешной разработки и экспериментальной апробации приложений xApps для управления экосистемой O-RAN с использованием функциональности компонентов интеллектуальных контроллеров Near Real-Time RAN Intelligent Controller (Near-RT RIC), работающих в режиме, близком к реальному времени. В разделе II приводится описание задач альянса O-RAN. В разделе III описываются задачи сообщества OSC. В разделе IV формализуется постановка задачи разработки приложений xApp для сетей радиодоступа с открытой архитектурой O-RAN.

II. АЛЛЯНС O-RAN

Альянс O-RAN предлагает открытую архитектуру, которая разделяет RAN на различные функциональные компоненты, связанные под общим контролем и управлением, которые могут выполнять настраиваемую логику управления через сторонние приложения, предоставляемые, например, консалтинговыми компаниями, операторами мобильных сетей MNO (Mobile Network Operator), сообществом с открытым исходным кодом и новыми участниками рынка [6], [7]. Кроме того, O-RAN предоставляет спецификации, которые дополняют стандарты 3GPP, устанавливая четко определенные открытые интерфейсы для соединения разрозненных компонентов RAN для обеспечения взаимодействия между различными поставщиками [8].

Целью альянса O-RAN является содействие конкуренции и инновациям, предоставление операторам мобильных сетей MNO возможностей создавать более гибкие и экономически эффективные сети, поощрение новых участников и стартапов, а также содействие сотрудничеству между заинтересованными сторонами в отрасли связи и академических кругах с потенциальными выгодами как для операторов мобильной связи, так и для конечных пользователей [9]. Благодаря стандартизации сторонних приложений для управления RAN, концепция O-RAN позволяет реализовать следующие преимущества: 1) способствует развитию инноваций на рынке телекоммуникаций, позволяя операторам мобильной связи развертывать специализированные приложения для настройки своих сетевых операций [10];

2) создает условия для экономии средств за счет конкуренции между поставщиками приложений и между производителями оборудования; 3) гарантирует, что оборудование RAN будет соответствовать перспективным требованиям, поскольку операторы мобильной связи могут тестировать и проверять новые решения и алгоритмы на своей существующей сетевой инфраструктуре [11].

III. СООБЩЕСТВО OSC

Альянс O-RAN объединился с Linux Foundation [12] для создания сообщества OSC (O-RAN Software Community) разработчиков программного обеспечения O-RAN [13]. OSC представляет собой проект с открытым исходным кодом, отвечающий за создание эталонных реализаций компонентов O-RAN, следующих спецификациям O-RAN, и служащий отправной точкой для прототипирования решений O-RAN [14]. OSC поддерживает и распространяет несколько собственных приложений xApps, каждое из которых предоставляет операторам мобильной связи различные функциональные возможности, например, управление контролем доступа пользовательских устройств UE (User Equipment), мониторинг ключевых показателей производительности KPM (Key Performance Measurements) базовых станций eNB (evolved NodeB), обнаружение аномалий трафика и управление трафиком [15]. Кроме того, как академическое сообщество, так и предприятия реального сектора экономики разработали несколько сторонних xApps для тестирования и демонстрации своих решений и алгоритмов на реальных сетях O-RAN [16]–[19]. Несмотря на усилия O-RAN по стандартизации, появление среды разработки программного обеспечения SDK (Software Development Kit) для создания xApps с поддержкой различных языков программирования растущим числом разработчиков из академического сообщества и предприятий реального сектора экономики, все еще находится в зачаточном состоянии.

IV. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ xAPP

С точки зрения реализации, приложения xApps представляют собой очень сложные микросервисы, которые взаимодействуют с несколькими компонентами интеллектуального контроллера сети радиодоступа Near-RT RIC (Near Real-Time RAN Intelligent Controller), работающего в режиме времени, близкого к реальному, через самые разные интерфейсы прикладного программирования API (Application Programming Interface) и протоколы, затрудняя создание прототипов xApps [11]. Существующие работы по разработке xApps рассматривают частные подходы, например, управление потоками данных между компонентами O-RAN [16], взаимодействие с базовыми станциями [17], не предоставляя описания контекста обо всех функциях и возможностях, доступных для разработчиков xApp. Кроме того, некоторые аспекты разработки xApps все еще проходят активную стандартизацию. Более того, документация по созданию приложений xApps оказывается распределенной на OSC ресурсах Wiki и Gerrit; при этом многочисленные руководства быстро устаревают по мере развития проекта OSC. Отсутствие консолидированных и актуальных руководств является достаточно известной проблемой в сообществе разработчиков, что приводит к появлению частных инициатив, предлагающих учебные курсы для

удовлетворения потребности в доступной документации по разработке O-RAN и xApp [20]–[22]. В конечном счете, отсутствие единой документации и всеобъемлющих руководств, доступных сообществу, создает барьеры для новых игроков на рынке телекоммуникаций и увеличивает затраты на разработку и тестирование своих xApps как академическим сообществом, так и предприятиями реального сектора экономики [1].

Целью данной работы является постановка задачи разработки приложений xApp для сетей радиодоступа с открытой архитектурой O-RAN посредством решения следующих частных задач: 1) создание русскоязычного руководства с инструкциями по разработке, управлению и оценке приложений xApps, поддерживая разработчиков xApp от теории к практике; 2) анализ теории и практики построения и функционирования O-RAN с использованием xApp в OSC; 3) описание контекста и функциональности компонентов Near-RT RIC для xApps с практическими примерами для демонстрации их использования; 4) формализация удачных практик и проблем разработки xApps и их тестирования в сквозных сценариях [23]. Структура описанной постановки задачи разработки приложений xApp представлена на рис. 1 [1].



Рис. 1. Постановка задачи разработки приложений xApp

В настоящей работе рассматривается анализ состояния проблемы, представленный в [1], который сопровождается онлайн-репозиторием [23], содержащим вспомогательные материалы, используемые в руководстве, а именно, файлы дескриптора и схемы xApp, примеры исходных кодов и представления документов на языке Python для описания абстрактного синтаксиса данных ASN. 1 (Abstract Syntax Notation One), используемого моделью взаимодействия открытых систем OSI (Open Systems Interconnection). Далее планируется проанализировать теоретические основы O-RAN, его архитектуры и компонентов Near-RT RIC. Затем планируется проанализировать детали реализации

O-RAN, основы контейнеров для разработки xApps с обзором текущих основных и сторонних xApps. Далее планируется привести описание архитектуры xApp и интерфейсов, а также описать порядок разработки xApps с помощью файлов конфигурации и схемы. Затем планируется описать жизненный цикл приложений xApp с порядком взаимодействия с контроллером Near-RT RIC для управления xApps. В заключение планируется формализовать стратегии отладки и методы проверки работы xApps и порядок тестирования их интерфейсов, а также экспериментально апробировать с использованием плат программно-конфигурируемого радио SDR (Software Defined Radio) [24]–[27].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Santos J.F., Huff A., Campos D., Cardoso K.V., Both C.B., DaSilva L.A. Managing O-RAN Networks: xApp Development from Zero to Hero // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2025. doi: 10.1109/COMST.2025.3539687
- [2] Telecom Infra Project. [Электронный ресурс] URL: <https://telecominfraproject.com/> (Дата обращения 16.04.2025).
- [3] O-RAN Alliance. [Электронный ресурс] URL: <https://www.o-ran.org/> (Дата обращения 16.04.2025).
- [4] Bonati L., Polese M., D'Oro S., del Prever P.B., Melodia T. 5G-CT: Automated Deployment and Over-the-Air Testing of End-to-End Open Radio Access Networks // IEEE Communications Magazine. 2025. Vol. 63. № 1. PP. 155-160.
- [5] Li X. et al. Integrating nApps in 5G for Verticals: Architecture Innovation and Technology Enablers // IEEE Communications Magazine. 2025. Vol. 63. № 1. PP. 161-167.
- [6] A. Garcia-Saavedra and X. Costa-Pérez, "O-RAN: Disrupting the Virtualized RAN Ecosystem," in IEEE Communications Standards Magazine, vol. 5, no. 4, pp. 96-103, December 2021
- [7] Garcia-Saavedra A., Costa-Pérez X. O-RAN: Disrupting the Virtualized RAN Ecosystem // IEEE Communications Standards Magazine. 2021. Vol. 5. № 4. PP. 96-103.
- [8] D'Oro S., Bonati L., Polese M., Melodia T. OrchestRAN: Network Automation through Orchestrated Intelligence in the Open RAN // IEEE INFOCOM 2022 - IEEE Conference on Computer Communications, London, United Kingdom, 2022. PP. 270-279.
- [9] Niknam S. et al. Intelligent O-RAN for Beyond 5G and 6G Wireless Networks // 2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Rio de Janeiro, Brazil, 2022. PP. 215-220.
- [10] Bonati L., Polese M., D'Oro S., Basagni S., Melodia T. Intelligent Closed-loop RAN Control with xApps in OpenRAN Gym // European Wireless 2022; 27th European Wireless Conference, Dresden, Germany, 2022. PP. 1-6.
- [11] Polese M., Bonati L., D'Oro S., Basagni S., Melodia T. Understanding O-RAN: Architecture, Interfaces, Algorithms, Security, and Research Challenges // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2023. Vol. 25. № 2. PP. 1376-1411.
- [12] The Linux Foundation. [Электронный ресурс] URL: <https://www.linuxfoundation.org/> (Дата обращения 16.04.2025).
- [13] O-RAN Software Community. [Электронный ресурс] URL: <https://o-ran-sc.org/> (Дата обращения 16.04.2025).
- [14] Bimo F.A. et al. OSC Community Lab: The Integration Test Bed for O-RAN Software Community // 2022 IEEE Future Networks World Forum (FNWF), Montreal, QC, Canada, 2022. PP. 513-518.
- [15] Current xApps. [Электронный ресурс] URL: <https://lf-o-ran-sc.atlassian.net/wiki/display/RICA/Current+xApp> (Дата обращения 16.04.2025).
- [16] Hoffmann M. et al. Open RAN xApps Design and Evaluation: Lessons Learnt and Identified Challenges // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2024. Vol. 42. № 2. PP. 473-486.
- [17] Kouchaki M., Marojevic V. Actor-Critic Network for O-RAN Resource Allocation: xApp Design, Deployment, and Analysis // 2022 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Rio de Janeiro, Brazil, 2022. PP. 968-973.
- [18] Kist M., Santos J.F., Collins D., Rochol J., DaSilva L.A., Both C.B. AIRTIME: End-to-End Virtualization Layer for RAN-as-a-Service in Future Multi-Service Mobile Networks // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2022. Vol. 21. № 8. PP. 2701-2717.
- [19] Bonati L., D'Oro S., Polese M., Basagni S., Melodia T. Intelligence and Learning in O-RAN for Data-Driven NextG Cellular Networks // IEEE Communications Magazine. 2021. Vol. 59. № 10. PP. 21-27.
- [20] TIP Academy. Open RAN Curriculum. [Электронный ресурс] URL: <https://www.tip.academy/open-ran-curriculum> (Дата обращения 16.04.2025).
- [21] Intelify University. O-RAN Hands-on Training. [Электронный ресурс] URL: <https://courses.intelify.com/courses/o-ran-hands-on-training> (Дата обращения 16.04.2025).
- [22] Rimedo Labs. Wireless Technical Courses. [Электронный ресурс] URL: <https://rimedolabs.com/training> (Дата обращения 16.04.2025).
- [23] J.F. Santos. xApp Development from Zero to Hero: Online Resources. [Электронный ресурс] URL: https://github.com/santos-j/xapp_development_zero_to_hero (Дата обращения 16.04.2025).
- [24] Волгушев, Д.Б. Модельно-ориентированный синтез систем радиосвязи на основе программно-конфигурируемого радио / Д.Б. Волгушев, А.В. Киреев, Г.А. Фокин // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей в 2 т. 2015 Т. 1. С. 50-53.
- [25] Фокин Г.А. Современные тенденции в области программно-конфигурируемого радио // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Сборник научных статей: в 4 томах. 2017. С. 271-276.
- [26] Фокин Г.А. Принципы и технологии цифровой связи на основе программно-конфигурируемого радио: обзор современных тенденций в области создания комплекса подготовки специалистов // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 1. С. 78–94.
- [27] Фокин Г.А., Дюдин А.И. Экспериментальное исследование зависимости модуляционно-кодирующих схем MCS от индикатора качества канала CQI в лабораторных условиях с использованием SDR макета радиolini eNB-UE в среде srsRAN // Экономика и качество систем связи. 2024. № 4 (34). С. 66-80.