
Белая книга «Техническая архитектура Edge Native»

Соавторы

Китайская академия информационно-телекоммуникационных технологий (CAICT)	Лаборатория Purple Mountain Laboratories
Научно-исследовательский институт компании China Mobile (China Mobile Research Institute)	Электростанция Циндао, Шаньдунской энергетической компании Государственной электросетевой корпорации Китая
Научно-исследовательский институт компании China Telecom (China Telecom Research Institute)	Компания ROOTCLOUD Internet Technology Co., Ltd.
Научно-исследовательский институт компании China Unicom (China Unicom Research Institute)	Шанхайский филиал компании XENIRO Co., Ltd.
Пекинское подразделение компании DALU Robotech Technology Co., Ltd.	Сианьский университет электронных наук и технологий (Xidian University)
Научно-исследовательский институт промышленного интеллекта компании Haier, Циндао (Haier Institute of Industrial Intelligence)	Компания YunEx Co., Ltd. (Нанкин)
Huawei Technologies Co., Ltd.	Компания 99cloud Co., Ltd.

Предисловие

По мере наступления новой цифровой эпохи 5G технология периферийных вычислений (edge computing) приобретает популярность. Она позволяет перенести функции вычислений, хранения и передачи данных на периферию сети, что не только дает сильнейший импульс развитию инновационных вычислительных технологий, но также существенно расширяет возможности предприятий в ИТ-сфере, стимулирует развитие цифровой экономики и закладывает основу для цифровой трансформации отраслей. В развитии периферийных вычислений заинтересованы и научное сообщество, и частный сектор. Многие авторитетные организации, в том числе компания Gartner и Институт инженеров электротехники и электроники (IEEE), включили периферийные вычисления в десятку важнейших стратегических технологических тенденций 2020 года. А Китайская академия наук и Китайская инженерная академия в ежегодных докладах *Research Fronts 2020* и *Engineering Fronts 2020* назвали периферийные вычисления одним из десяти самых многообещающих и перспективных научных направлений. По оценкам CB Insights, общая стоимость мирового рынка периферийных вычислений к 2023 году достигнет 34 миллиарда долларов США.

Сегодня уже можно наблюдать примеры практического применения этой технологии. Широкое развертывание инфраструктуры периферийных вычислений предусмотрено в рамках ряда национальных планов развития, среди которых «Программа развития промышленного Интернета», инициированная министерством промышленности и информационных технологий (МИИТ) совместно с другими министерствами КНР. Между тем, предприятия из множества отраслей интегрируют периферийные вычисления в существующие сервисы, открывая широкие возможности использования этой технологии в различных сценариях. Так, компании Sany Heavy Industry, Haier и Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd. (COMAC) применяют периферийные вычисления в целях модернизации традиционного производства. Разработка инновационных решений в области периферийных вычислений стимулирует появление множества новых способов их применения. В результате в научном и бизнес-сообществах появилось новое понятие — Edge Native («нативная периферия»), то есть технология, полностью основанная на периферийных вычислениях. Технология Edge Native предоставляет множество возможностей, в том числе в сфере вычислений, позволяя создать

интеллектуальную и надежную сетевую периферию, обеспечить адаптивность подключения и исключительную надежность, оптимизировать данные и реализовать интеллектуальные сценарии, востребованные во всех секторах экономики. Очевидно, что нативная периферия является важнейшим элементом системы периферийных вычислений и развивается вместе с другими ключевыми технологиями, такими как Cloud Native («нативное облако») и Edge Network («сеть периметра»). Сочетание этих технологий позволит создать устойчивую периферийную экосистему и стимулировать инновации в бизнесе.

В этой связи Альянс промышленного Интернета (АИИ), Консорциум периферийных вычислений (ЕСС), Альянс детерминированных сетей 5G (5GDNA) и сообщество разработчиков ПО с открытым исходным кодом EdgeGallery подготовили данную «Белую книгу». В этом документе рассмотрены понятие, техническая архитектура и отраслевые практики Edge Native, направленные на развитие технологий нативной периферии и помощь предприятиям в раскрытии мощнейшего потенциала периферийных вычислений.

Несмотря на имеющийся прогресс, технология Edge Native требует определенного уровня проработки, ее потенциал до конца не изучен. Именно поэтому всем заинтересованным представителям отрасли следует объединить свои усилия как в сфере научных исследований, так и в плане практического применения Edge Native в различных отраслях. Только совместная работа позволит нам капитализировать ценность нативной периферии и в перспективе осуществить цифровую трансформацию бизнеса.

Юй Сяохуэй
Директор CAICT, генеральный директор АИИ
и заместитель генерального директора ЕСС

Введение

Концепция периферийных вычислений с множественным доступом (multi-access edge computing, MEC) была представлена Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) в 2015 году. С тех пор периферийные вычисления получили широкое применение в телекоммуникационной сфере. Однако число отраслевых приложений 5G стремительно растет, а технология периферийных вычислений в своем текущем состоянии не способна удовлетворить уникальные потребности в сфере 5G. Более того, специалисты по инфраструктуре 5G MEC сталкиваются с множеством сложностей в ходе ее развертывания. И все же сейчас мы стоим на пороге эпохи периферийных вычислений 2-го поколения (Edge Computing 2.0.), основная задача которой — преодоление вышеупомянутых сложностей путем адаптации MEC-платформ к сетям 5G и объединения сетевых и вычислительных технологий. Ключом к решению данной задачи является технология Edge Native.

Нативные периферийные решения расширяют возможности сетевой периферии, в том числе в сфере оркестрации сервисов, искусственного интеллекта и надежной защиты периферийных устройств, эффективно объединяя процессы вычислений и подключений. Таким образом, Edge Native станет основой для сетей, ориентированных на промышленное применение и планируемых операторами в среднесрочной перспективе.

Настоящая «Белая книга» состоит из четырех глав, в каждой из которых рассматриваются различные аспекты технологии Edge Native.

- ♦ Глава 1. Процесс развития периферийных вычислений и соответствующих требований отрасли 5G.
- ♦ Глава 2. Понятие и основные технические возможности Edge Native.
- ♦ Глава 3. Основные методы развития Edge Native, используемые заинтересованными представителями отрасли, в том числе сообществом разработчиков ПО с открытым исходным кодом EdgeGallery, компаниями China Mobile и China Unicom.
- ♦ Глава 4. Примеры практического применения Edge Native в различных отраслях (например, на умных фабриках или в умной робототехнике) и перспективы развития данной технологии.

Глава 1. Развитие периферийных вычислений и требований отрасли 5G

1.1 Edge Computing 2.0 и решение 5G MEC

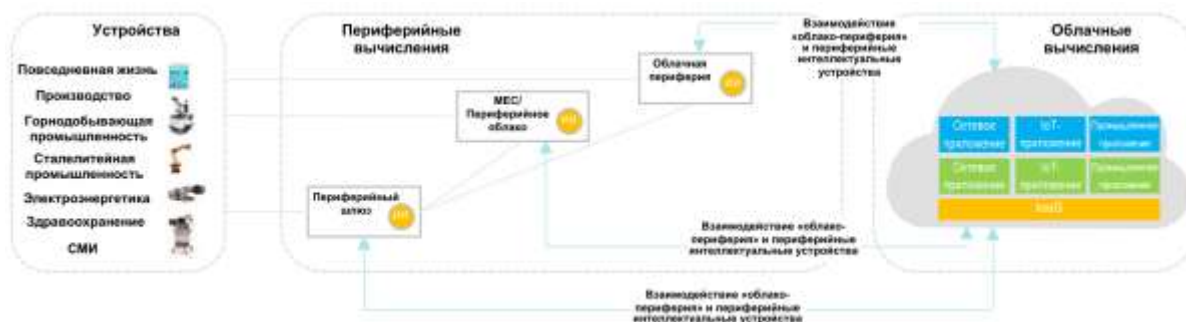
Консорциум ECC дал следующее определение концепции Edge Computing 1.0 («периферийные вычисления 1-го поколения») и ее эталонной архитектуры в *«Белой книге Edge Computing Consortium»*, опубликованной в 2017 году:

«Периферийные вычисления выполняются на открытой платформе на границе сети рядом с объектами или источниками данных, объединяя базовые функции сети, вычислений, хранилищ и приложений и предоставляя интеллектуальные сервисы на периферии. Периферийные вычисления отвечают требованиям цифровой трансформации отраслей в сфере адаптивных подключений, сервисов, работающих в режиме реального времени, оптимизации данных, интеллектуальных приложений, обеспечения безопасности и защиты конфиденциальности».

Представители отрасли расценивают периферийные вычисления как способ развития бизнеса. Но вместо технических аспектов внедрения технологии их интересуют варианты применения периферийных вычислений в сфере коммерческих услуг, тенденции развития сопутствующих технологий и базовые функции, которыми должны обладать аппаратные и программные платформы. Ответы на эти ключевые вопросы может дать Edge Computing 2.0 — технология периферийных вычислений 2-го поколения.

Особое значение в концепции Edge Computing 2.0 придается взаимодействию облака и периферии, а также периферийным интеллектуальным устройствам. В рамках Edge Computing 2.0 предполагается применение концепции, архитектуры (см. рис. 1-1) и технологии облачных вычислений на программной платформе периферийных вычислений. Это упрощает обработку данных в режиме реального времени на базе искусственного интеллекта и надежное конфигурирование данных, сбросить которые достаточно просто. Более того, Edge Computing 2.0 поддерживает широкий спектр центральных процессоров (на базе архитектуры x86 и ARM), графических и сетевых процессоров для создания гетерогенной вычислительной среды.

Рис. 1-1. Архитектура Edge Computing 2.0



Существует 3 способа развертывания инфраструктуры Edge Computing 2.0.

- ♦ Облачная периферия

Облачная периферия — это логическая часть и естественное расширение центрального облака. Именно оно отвечает за предоставление функциональных возможностей и сервисов. Типичные примеры решений: IEF (Huawei), Link IoT Edge (Alibaba Cloud) и Outposts (AWS).

- ♦ MEC

Данный подход также известен как периферийное облако. В его рамках развертывание облачных сервисов малого или среднего масштаба или аналогичных сетевых средств осуществляется на периферии сети. Данные обрабатываются локально, что устраняет необходимость обработки на базе центрального облака. Пример типичного MEC-приложения — сеть распространения контента (CDN).

- ♦ Периферийный шлюз

Данный подход предполагает возврат к традиционным встроенным шлюзам с использованием облачных технологий и функций. При развертывании периферийных шлюзов предоставляются комплексные API для адаптации к различным протоколам, используемым для передачи данных на границу сети, а также применяются вычислительные технологии для обеспечения работы сервисов. Кроме того, для стабильной работы периферийных шлюзов в инфраструктуру включены облачные контроллеры, позволяющие гибко распределять ресурсы, управлять приложениями и осуществлять оркестрацию сервисов для периферийных узлов.

Стоит отметить, что наиболее предпочтительным подходом обычно считается MEC.

Причина этого — идеальное сочетание вычислительной мощности ИТ и корпоративных

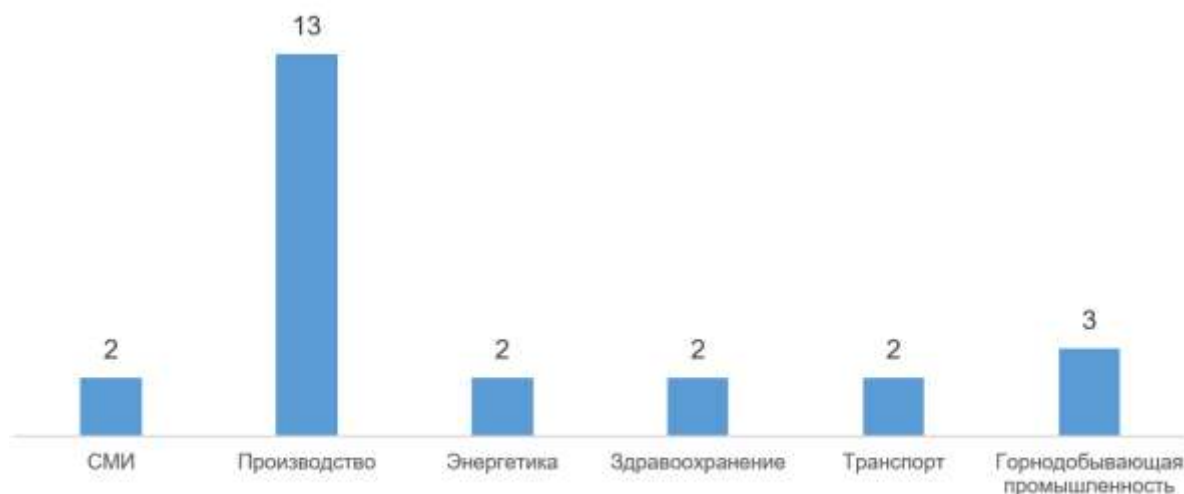
сетей. Кроме того, преимущества для бизнеса и функциональность данного решения были четко сформулированы Европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) и Консорциумом 3GPP. Поэтому большинство операторов сетей 5G предпочитают MEC другим подходам.

Стандартная архитектура 5G MEC включает функции плоскости пользователя (UPF), периферийную платформу с множественным доступом (MEP), отраслевые сценарии и виртуализированную инфраструктуру. Обычно она развертывается на базе аппаратного комплекса «все в одном» и находится в непосредственной близости от конечных пользователей. Такая архитектура обеспечивает высокую пропускную способность, сверхнизкую задержку, мощные вычислительные возможности (искусственный интеллект, рендеринг изображений) и надежную защиту. MEC значительно снижает затраты и уровень сложности управления устройствами 5G, что приносит пользу как целым отраслям, так и отдельным пользователям.

1.2 Преимущества решения 5G MEC для бизнеса

Статистика за 2020 год показывает, что в 60 % из более чем 5000 отраслевых пилотных 5G-проектов по всему миру использовалась технология MEC. Так, компании China Mobile, China Telecom и China Unicom реализовали в более чем 40 городах свыше 100 пилотных проектов 5G MEC, охватывающих множество сервисов в самых разных отраслях, включая обрабатывающую и горнодобывающую промышленность, а также энергетику. На конкурсе отраслевых приложений 5G «Кубок Чжан Фанга» (Zhan Fang Cup), проведенном министерством промышленности и информационных технологий (MIIT) в 2020 году (см. рис. 1-2), в 43 % представленных проектов использовалась технология MEC (на 10 % больше, чем в 2019 году); среди проектов, вышедших в финал, этот показатель превышает 80 %. Все это свидетельствует о том, что технология MEC является ключевым фактором, способствующим внедрению отраслевых приложений 5G.

Рис. 1-2. Проекты на базе технологии MEC в финале конкурса «Кубок Чжан Фанга»



Очевидно, что 5G MEC станет мощной движущей силой цифровой трансформации различных отраслей.

Умное производство

Умное производство на основе технологии 5G — это неотъемлемая часть инфраструктуры современных предприятий, которые, как правило, используют широкий спектр устройств, генерирующих различные типы данных. Для их стабильной работы требуется надежно защищенная и эффективная передача данных — условие, которое невозможно удовлетворить без MEC.

В 2020 году в большинстве пилотных проектов промышленного производства на базе сетей 5G применялась технология MEC. Эти проекты были ориентированы на вспомогательные производственные системы, особенно на беспилотные транспортные средства (ТС). К примеру, компания China Telecom помогла предприятию Sany Heavy Industry развернуть MEC на своем заводе, заменив традиционные гусеничные машины мобильными автоматизированными рабочими местами и беспилотными ТС. Кроме того, China Telecom интегрировала технологию 5G MEC с программным обеспечением для сбора и анализа огромного количества видеоданных, переданных с беспилотных ТС. Полученные результаты используются для корректировки траекторий AGV и планирования сопутствующих ресурсов. Подобная интеграция позволила повысить эффективность работы беспилотных ТС и снизить затраты, а также обеспечить передачу данных почти в реальном времени (с задержкой примерно 20 мс), высокую безопасность

и мощные вычислительные возможности.

Умная добыча полезных ископаемых

Безопасность производства очень важна для горнодобывающей промышленности. Сеть 5G (см. рис. 1-3) может быть развернута в наземных зданиях и горных выработках с охватом каждого уголка шахты. Она обеспечивает высокую пропускную способность, массовый доступ и низкую задержку, облегчая анализ видеоконтента и удаленное управление устройствами, например датчиками. Благодаря развернутой в шахте технологии MEC локальные серверы могут напрямую обрабатывать информацию с устройств, без передачи данных в общедоступную сеть. Это обеспечивает специалистов полными и точными производственными данными и видеоматериалами в формате HD по всему месторождению. Параллельно можно реализовать целый ряд новейших приложений — таких как аудио- и видеозвонки высокой четкости, мгновенная передача данных различных форматов и интеллектуальное дистанционное управление устройствами, — улучшающих взаимодействие наземных и подземных служб. Благодаря этому предприятия горнодобывающей отрасли получают возможность сократить численность сотрудников, повысить эффективность работы, гарантировать безопасность и выйти на новый уровень цифровой трансформации.

Более того, вместе с системой MEC может быть установлено запасное аварийное ядро 5G, чтобы удовлетворить строгие требования к безопасности. Если канал связи между границей сети и общедоступной сетью выйдет из строя, аварийное ядро 5G послужит резервной копией общедоступного ядра 5G. Система продолжит предоставлять сервисы, стабилизируя беспроводную связь и передачу данных, а также обеспечивая безопасную изоляцию над и под землей.

Рис. 1-3. Сеть умной шахты



Умная энергетика

Электроэнергетическая отрасль движется по пути перехода к умной энергетике на базе 5G. В прошлые годы для передачи и преобразования электроэнергии служили оптоволоконные линии, гарантирующие малую задержку, высокую пропускную способность и высокий уровень безопасности. Однако обеспечить повсеместное использование подобных линий для распределения и потребления электроэнергии было невозможно ввиду особенностей местности и высокой стоимости. Для распределения и потребления электроэнергии требуются широкая зона покрытия сети и множество устройств, поэтому ранее для этого использовались общедоступные телекоммуникационные сети 2G, 3G и 4G. Однако такие сети не способны обеспечить сверхвысокий уровень безопасности, необходимый для электроэнергетических сервисов, особенно для сервисов с функциями управления. Традиционные сети также не могут справиться с огромным количеством подключений, порождаемых растущим числом устройств.

Технологии 5G и MEC помогут решить эти проблемы. MEC и UPF обеспечивают передачу информации только в пределах электросети, тем самым защищая данные сервисов энергоснабжения. К тому же на подстанциях можно установить систему панорамной визуализации, которая будет собирать огромный объем необработанных данных прямо на месте их генерации и затем обрабатывать для получения различных показателей и аудио-/видеоматериалов. MEC обеспечивает надежную связь и вычислительные возможности, позволяя сначала безопасно обработать данные в пределах энергосистемы, а затем эффективно передать их на первичную станцию, не занимая полосу пропускания городской сети, используемой для сервисов электроснабжения.

Умный транспорт

Мониторинг и обслуживание дорог в транспортной отрасли обычно выполнялись силами работников с ретрансляцией изображений и видео. В настоящее время отраслевые предприятия ищут способы цифровизации и автоматизации операций и управления. Идеальное решение для таких целей — технология MEC.

Платформа MEC ускоряет ретрансляцию изображений и HD-видео по нескольким каналам практически в режиме реального времени. Более того, для динамического анализа собранных данных и быстрого принятия решений по устранению неисправностей или инициированию сигналов тревоги на платформе предусмотрены технологии, управляемые искусственным интеллектом, например анализ видеоконтента и машинное зрение. Они гарантируют, что система не упустит ни одного ключевого состояния, показателя производительности или потери, быстро диагностируя любые проблемы.

Умное здравоохранение

Время — это жизнь. Поэтому система здравоохранения должна очень быстро реагировать на вызовы и быть надежно защищенной. Это означает возможность доступа медицинского персонала к больничной сети в любое время и в любом месте. Данная идея поразительно ускорила развитие телемедицины. При этом огромные объемы медицинских данных (60 % которых составляют изображения) должны оставаться в безопасности во время передачи. Это ключевой фактор, предотвращающий умышленное искажение или утечку данных из медицинских учреждений.

Частные сети 5G для отрасли здравоохранения, сочетающие технологии MEC и сетевого сегментирования, обеспечивают сверхнизкое значение задержки, высокий уровень надежности и выполнение других особых положений SLA (соглашения об уровне обслуживания), необходимые для медицинской сферы. Выделенная MEC, используемая в таких сетях, предотвращает утечку данных из медицинского учреждения и обеспечивает надежную изоляцию. Платформа позволяет предоставлять консультационные услуги дистанционно, гарантируя передачу информации о диагнозе и лечении с минимальной задержкой.

Умные СМИ

Прямая трансляция мероприятий на стадионах — одна из главных тенденций в сфере умных СМИ, будь то спортивные либо развлекательные мероприятия, фестивали и конференции. Для того чтобы зритель получил захватывающий опыт погружения во время просмотра трансляции, при разработке контента нужно использовать ультрасовременные технологии: изображения сверхвысокой четкости (UHD), системы виртуальной реальности (VR) и объемного звучания. При этом медиаконтент должен передаваться в режиме реального времени на широкий спектр терминалов. Такой формат передачи данных невозможно реализовать с помощью устаревших технологий типа передвижных телевизионных станций (ПТС). Напротив, производство контента становится более централизованным, удаленным и легким, и МЕС играет здесь ключевую роль.

При трансляции небольших мероприятий, без строгих требований к производству контента, технологии МЕС способствуют адаптивному развертыванию системы прямой трансляции и производству контента на месте. Крупные устройства для производства контента, например ПТС, экономически нецелесообразны для подобных мероприятий. Инфраструктура МЕС обеспечивает эффективную передачу сигналов с нескольких камер по сетям 5G в удаленный производственный центр, который затем распределяет контент. Это позволяет улучшить качество выпускаемых материалов и снизить затраты. Теперь сотрудники телерадиокомпаний могут вести трансляции различных событий и предоставлять расширенный спектр услуг.

Благодаря МЕС можно перенести производство контента на периферию сети. Это позволит обрабатывать его локально и передавать быстрее, чем когда-либо ранее. Например, на периферии сети можно анализировать данные спортивных мероприятий в режиме реального времени, редактировать видео и перекодировать различные видеоформаты. Это означает доставку любого мультимедийного контента зрителям по более низкой цене. Помимо этого, можно перенести централизованный производственный процесс в периферийное облако, где доступно больше ресурсов для выпуска менее «тяжеловесной» продукции.

1.3 Задачи в сфере 5G MEC

Несмотря на то, что технология MEC получила высокую оценку предприятий из различных отраслей, в перспективе предстоит решить целый комплекс задач, в основном связанных с развертыванием сети, возможностями устройств и разработкой программного обеспечения.

Ниже приведен перечень задач, связанных с развертыванием сети и функциональными возможностями устройств.

- ♦ Технология MEC отлично функционирует в каждом отдельном сервисе. Однако работа различных сервисов предполагает развертывание архитектуры MEC в разных местах и в широком спектре форматов. Следовательно, технологию MEC необходимо улучшать для сложных вариантов использования сервисов, адаптируя ее к гетерогенным устройствам и различным сетевым структурам.
- ♦ Инфраструктура MEC и относящиеся к ней приложения должны поддерживать стабильные функции анализа данных. Необходимо внедрить искусственный интеллект в соответствующее аппаратное и программное обеспечение.
- ♦ Работу средств MEC следует систематически координировать с отраслевыми сценариями и операторскими сетями, обеспечивая более стабильную и эффективную работу этих сценариев.
- ♦ Необходимо также повысить безопасность технологии, чтобы обеспечить надежную и защищенную изоляцию служб и данных.

Что касается разработки ПО для периферийных приложений, разработчикам необходимо подумать о том, как использовать различные типы MEC-платформ для полной реализации открытых возможностей 5G MEC в различных отраслях.

На рис. 1-4 показан типичный процесс разработки приложений MEC.

Рис. 1-4. Процесс разработки приложений MEC



1. Выбрать среду выполнения.

Прежде всего разработчикам необходимо выбрать среду для разработки приложений, стороннее программное обеспечение и базу данных, исходя из собственных знаний, навыков программирования и целевой среды. Инженерам нужно обеспечить использование единой платформы MEP для управления микросервисами в разных средах, например для регистрации, обнаружения и взаимодействия сервисов друг с другом.

2. Определить API, соответствующие ограничениям RESTful.

Разработчикам необходимо определить API, которые приложение будет открывать, и функциональные возможности этих API.

3. Интегрировать возможности 5G.

Определенные параметры сети 5G (высокая пропускная способность, низкая задержка и пр.) необходимо выделять в программируемые наборы типа пакетов инструментов разработки (SDK) или RESTful API или даже в шаблоны приложений. Благодаря этому разработчики не будут концентрироваться на сложных деталях технической реализации решения, а смогут напрямую использовать эти наборы и шаблоны при написании кода приложений и гибко управлять ими с помощью оркестратора.

4. Адаптировать к различным платформам.

Инженерам следует адаптировать приложение к различным платформам IaaS и PaaS, включая аппаратные платформы x86/Arm и платформы виртуализации, представленные решениями OpenStack и Kubernetes. Кроме того, приложение будет работать на платформе MEP, на которой предоставлены тщательно

проработанные функции периферийных вычислений, такие как стандартные базы данных, усиленная безопасность, искусственный интеллект и блокчейн.

5. Реализовать практику непрерывной интеграции (CI) и процесс непрерывного развертывания (CD).

Разработчикам может потребоваться помощь с цепочкой инструментов для тестирования безопасности DevOps (DevSecOps). Кроме того, функциональность приложения необходимо тщательно прорабатывать от начала до конца, с учетом других приложений и сторонних технологий, задействованных в ходе развертывания приложения.

6. Выпустить приложение.

После подтверждения конкурентоспособности по результатам всестороннего тестирования приложение можно размещать в репозитории или магазине ПО.

В настоящее время операторы, отраслевые поставщики и разработчики ищут новую архитектуру для решения проблем с существующей архитектурой MEC, чтобы обеспечивать более комфортное взаимодействие пользователей в различных отраслях с MEC-приложениями.

Глава 2. Понятие и основные технические возможности Edge Native

1.4 Понятие и ценность для отрасли

Понятие Edge Native («нативная периферия») было предложено Альянсом детерминированных сетей 5G (5GDNA), сообществом разработчиков ПО с открытым исходным кодом EdgeGallery, Консорциумом ECC и Альянсом промышленного Интернета (AII) для решения задач, связанных с развертыванием и эксплуатацией технологии 5G MEC и более широким ее применением в различных отраслях.

Первым шагом на пути разработки 12-факторных приложений стала концепция Cloud Native. В 2018 году фонд Cloud Native Computing Foundation (CNCF) определил эту концепцию как парадигму, которая устраняет базовые различия в технической реализации между различными приложениями и позволяет этим приложениям использовать возможности облака, например эластичность и распределенную структуру. В рамках архитектуры Cloud Native приложения можно быстро развертывать, гибко масштабировать и гарантировать нулевое время простоя. Этот подход заложил основу для создания архитектуры Edge Native, которая, как ожидается, получит широкий охват благодаря способности адаптироваться к потребностям различных отраслей.

Поскольку отрасль информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) охватывает периферийные службы, Cloud Native сталкивается с рядом проблем на периферии:

- данные с периферийного устройства сначала передаются в центральную сеть. В результате увеличивается время приема-передачи (RTT), что снижает уровень удовлетворенности пользователей от взаимодействия с системой;
- потребление вычислительных и сетевых ресурсов, ресурсов хранения, а также управление ими прерываются в центральной сети;
- дорогостоящие передача данных и вычисления;
- ограниченная защита конфиденциальности и безопасность данных.

Преимущества архитектуры Edge Native позволяют преодолеть эти сложности (см. таблицу 2-1).

Таблица 2-1. Сравнение Cloud Native и Edge Native

Параметр	Cloud Native	Edge Native
Технология	Только вычисления	Вычисления и подключение
Ресурсы инфраструктуры	- Средние и крупные центры обработки данных - Универсальное аппаратное обеспечение - Гибкое масштабирование	- Облегченный периферийный узел - Гетерогенное аппаратное обеспечение - Ограниченность или невозможность масштабирования
Развертывание приложения	Независимое	Взаимозависимое
Управление и оркестрация	- Централизованное автоматическое управление - Горизонтальная оркестрация	- Дистанционное управление и периферийная автономия - Межузловая оркестрация
Сетевая конфигурация	- Управляемая через Интернет - В центре внимания — сетевая магистраль	- Управляемая на основе обращения к данным - В центре внимания — мобильный доступ 5G

Технология Edge Native способствовала появлению новых терминов и понятий для ИТ-разработчиков, связанных с подключением к телекоммуникационным сетям. Независимо от того, передаются ли эти понятия с помощью атрибутов, определенных Консорциумом 3GPP, или находят отражение в архитектуре, параметрах и функциях периферийной сети, они должны быть четко объяснены и представлены разработчикам.

Edge Native — идеальная целевая сетевая архитектура для предприятий, способных реализовать свою стратегию цифровой трансформации. Использование самых современных технологий позволит всем заинтересованным представителям отрасли

эффективно создавать, запускать, поддерживать и контролировать чувствительные к задержкам приложения прямо на периферии сети. Ниже приведен перечень этих технологий.

- Открытые функциональные возможности 5G на периферии сети.
- Взаимодействие «облако-периферия» (cloud-edge) и границ сети (edge-edge).
- Оркестрация сервисов на разных границах сети.
- Многоязычная бессерверная среда, обеспечивающая автономность периферии.
- Предварительная обработка и анализ огромных массивов необработанных данных в режиме, близком к реальному времени.
- Аутентификация, шифрование и блокчейн для надежной защиты данных на периферии.
- Периферийный искусственный интеллект для улучшения работы гетерогенной аппаратной инфраструктуры.

Сочетание этих технологий (см. рис. 2-1) формирует функциональные возможности Edge Native. В следующих разделах о каждой из этих технологий будет рассказано отдельно.

Рис. 2-1. Техническая архитектура Edge Native



1.5 Функциональные возможности

1.5.1 EdgeInfra

Функция EdgeInfra обеспечивает надежную инфраструктуру на сетевой периферии.

Если говорить об аппаратном обеспечении, EdgeInfra не только увеличивает вычислительную мощность, но и позволяет использовать любые вычислительные средства: центральные процессоры (на базе x86 или ARM), графические и сетевые процессоры — все, что облегчает пересылку гигантских объемов трафика 5G.

Поскольку основными тенденциями в сфере приложений являются виртуализация и контейнеризация, набирает популярность Kubernetes — программная платформа с открытым исходным кодом для управления приложениями. Однако сама по себе она не может удовлетворить строгие требования к безопасной изоляции, предъявляемые приложениями MEC. Сочетание платформы Kubernetes и возможностей EdgeInfra — это прекрасный выбор для задач телекоммуникационных сетей, который предоставляет:

- **Расширенную поддержку телекоммуникационных сетей**
В телекоммуникационных сценариях сервисов на основе MEC необходимо разделять разные плоскости и участников сети. Кроме того, для уменьшения задержки следует применять специальные технологии, например чувствительный ко времени сетевой обмен данными (TSN). EdgeInfra улучшает существующие сетевые интерфейсы контейнеров (CNI) для Kubernetes, например посредством подключаемых модулей CNI типа Multus. Тем самым функция EdgeInfra позволяет абстрагировать и настраивать атрибуты, связанные с изоляцией телекоммуникационных сервисов и развертыванием технологии, с помощью стандартных API Kubernetes или шаблонов. После этого приложения могут гибко вызывать окончательные атрибуты.
- **Гибридная оркестрация контейнеров и виртуальных машин**
Контейнеризация всех функций телекоммуникационной сети и приложений MEC будет проходить небыстро, и по этой причине контейнеры и виртуальные машины (VM) будут продолжать сосуществовать. С помощью EdgeInfra можно упаковывать виртуальные машины в образы контейнеров, облегчая гибридную оркестрацию VM и контейнеров. Повысить эффективность оркестрации можно с

помощью решений для управления периферией, таких как StarlingX из комплекса OpenStack.

1.5.2 EdgeNetwork

Платформу MEP можно образно представить в виде моста, соединяющего сети 5G с приложениями и конечными пользователями. Помимо обеспечения надежного подключения, MEP необходимо систематически взаимодействовать с приложениями и обращаться к открытым функциям сети 5G через четко определенные API. Функция EdgeNetwork предоставляет необходимые возможности для этого.

- Открытые функциональные возможности сети 5G

Согласно стандартам ETSI MEC, сетевые возможности и соответствующая информация (например, о местоположении устройств) должны быть открытыми. То же самое постановили Консорциум 3GPP и операторы связи относительно функции доступа к сети (NEF). Благодаря EdgeNetwork платформа MEP может быстро запускать функции сети 5G в соответствии с архитектурой, заданной ETSI или 3GPP, и предоставлять их как атрибуты, которые можно активировать. Кроме того, EdgeNetwork обеспечивает разработчиков пакетом SDK и образцами кода для демонстрации возможностей сети 5G и полной реализации функций 5G.

- MEP с конвергентной вычислительной мощностью и расширенными возможностями подключения

MEP необходимо стандартизировать свои базовые возможности сети 5G, а также предоставлять вычислительные и сетевые ресурсы приложениям верхнего уровня. Чтобы эффективно планировать и согласовывать функции подключений, вычислений и других детерминированных функций 5G, следует четко определить требования различных отраслевых приложений, в идеале в виде шаблонов.

Каждый шаблон должен состоять из двух частей: одна описывает вычислительные ресурсы, такие как Helm для Kubernetes и Heat для OpenStack, а другая использует EdgeNetwork для абстрагирования и детализации ресурсов телекоммуникационной сети.

1.5.3 EdgeOrchestrator

Функция EdgeOrchestrator предоставляет надлежащие функции оркестрации на периферии сети, позволяя гибко развертывать облегченные периферийные узлы в

сложных средах для удовлетворения требований SLA различных отраслей.

В частности, EdgeOrchestrator обеспечивает:

- Автономию периферии
Если периферийная сеть не сможет связаться с центральной сетью, синхронизация данных между двумя сторонами завершится ошибкой и, вероятно, сбоем приложения. EdgeOrchestrator обеспечивает определенные возможности автономии на периферийных узлах, чтобы они продолжали работать даже в случае сбоя в сети. После восстановления связи происходит повторная синхронизация данных.
- Мобильность
Опция EdgeOrchestrator позволяет передавать служебную информацию операторам. Благодаря этому пользователи даже не замечают переключения между сетями разных операторов.
- Декларативное программирование для абстракции ресурсов
Чтобы предварительно определить ресурсы, необходимые для развертывания и настройки каждого приложения, используются языки ИТ. Например, возможности платформы, сторонние компоненты и сетевая информация могут быть описаны как зависимости развертывания в дескрипторе приложения (APPD). Такой декларативный подход решает проблему низкой эффективности, которая возникает из-за несовместимых языков, принятых в областях ИТ и КТ, и освобождает персонал, занимающийся развертыванием и обслуживанием, от трудоемкого конфигурирования на основе команд императивного программирования.
- Адаптивный плагин
EdgeOrchestrator может быть подключен к различным типам инфраструктуры, например к платформам Kubernetes и OpenStack в кластерных решениях, облегченным версиям Kubernetes (K3s или MicroK8s) в односерверных решениях и платформам runC на «чистых» серверах без предустановленной операционной системы.

1.5.4 EdgeCollaboration

Функция EdgeCollaboration позволяет узлам MEC работать совместно с любыми объектами, от других периферийных узлов до центральных общедоступных сетей и

устройств конечных пользователей, чтобы эффективно предоставлять вычислительные возможности и надежные сетевые подключения.

- Совместная работа разных границ сети

Узлы MEC в сети централизованно управляются с помощью EdgeOrchestrator.

Если текущий узел MEC не обеспечивает достаточно вычислительных ресурсов для определенной задачи, EdgeOrchestrator разделяет эту задачу, распределяет подзадачи по разным узлам MEC и объединяет их на одном узле MEC. Благодаря гибкому планированию достигается оптимальное использование ресурсов в ходе этого процесса. Если конечный пользователь перемещается между узлами MEC, EdgeOrchestrator может быстро реплицировать образы используемых им приложений на тот узел, куда они переместились, а затем развернуть их там, обеспечивая комплексное и бесперебойное обслуживание.

- Взаимодействие периферии и облака

EdgeOrchestrator обеспечивает планомерную координацию между периферией сети и общедоступными, частными и гибридными облаками. Для управления приложениями MEC задействуется огромная вычислительная мощность облачных ресурсов. Кроме того, приложения MEC могут напрямую обращаться к функциям общедоступного облака через API, поэтому периферийная сеть сможет предлагать такие же сервисы, что и в общедоступном облаке.

- Взаимодействие периферии и устройств

С развитием технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR), а также различных видеосервисов устройства предъявляют высокие требования к времени задержки и рендерингу изображений. Благодаря EdgeOrchestrator узлы MEC могут эффективно взаимодействовать с устройствами посредством соответствующих протоколов передачи данных и максимально продуктивно обрабатывать изображения.

1.5.5 EdgeAI

Слияние технологий MEC и искусственного интеллекта было глубоко проанализировано и изучено как в академических, так и в промышленных кругах. ИИ-модели подходят для различных сценариев сервисов MEC, обучаемых как на периферии, так и в центре сети. EdgeAI объединяет результаты исследований в различных сценариях и предоставляет функции для создания интеллектуальной периферии.

-
- **Единая структура и модели искусственного интеллекта**
EdgeAI предоставляет механизмы для сегментации моделей и данных ИИ, а также машинного обучения с помощью различных методов (распределенного обучения, пошагового обучения и трансферного обучения). Данная функция также определяет соответствующие алгоритмы и интерфейсы протоколов, способствуя синергии периферии, облака и устройств. ИИ-модели, передаваемые посредством EdgeAI, в основном имеют открытый исходный код. Это, например, открытая библиотека программного обеспечения Open Neural Network Exchange (ONNX), которая абстрагирует ресурсы в общем подходе для разработчиков, и платформа KubeFlow, которая адаптируется к различным ИИ-структурам и позволяет проводить централизованную оркестрацию.
 - **Единое планирование гетерогенных ИИ-вычислений**
Технология EdgeAI включает также слой абстрагирования оборудования (HAL), с помощью которого для запуска различных служб планируются единые аппаратные ресурсы, что позволяет приложениям работать с максимальной эффективностью. Кроме того, при взаимодействии разных пограничных сетевых инфраструктур, а также периферии и устройств функция EdgeAI помогает локально разгрузить вычислительную мощность на основе KPI для сервисов и ресурсов.

1.5.6 EdgeSecurity

EdgeSecurity усиливает безопасность периферии для различных отраслей экономики, обеспечивая:

- **Сквозную сетевую безопасность**
EdgeSecurity предоставляет комплексные механизмы, охватывающие все аспекты, от аутентификации данных до соответствия протоколу, защиты от атак, контроля доступа, изоляции сервисов, защиты конфиденциальности и безопасности виртуализации, чтобы обеспечить надежную безопасность и надежность инфраструктуры, сетей, данных и приложений. Например, для усиления сетевой безопасности используются технологии изоляции сервисов, мониторинга состояния и предварительного предупреждения о проблемах. Более того, в целях защиты данных при передаче между МЕР и приложениями от несанкционированного доступа и различных типов атак, например от атак повторного воспроизведения, необходимо принимать меры по обеспечению

конфиденциальности и целостности данных. Чтобы упростить данный процесс, EdgeSecurity аутентифицирует и авторизует взаимодействия через интерфейсы между MEP и приложениями, защищает путь передачи и записывает в журналы сведения обо всех попытках доступа конечных пользователей для последующего аудита.

- **Прозрачная платформа верификации**

Данная платформа использует технологию блокчейн и алгоритмы криптографии для обеспечения ряда схем защиты конфиденциальности, включая криптографические обязательства, доказательства с нулевым разглашением, доступное шифрование и проверку согласованности между фактическим передаваемым контентом и зашифрованным контентом.

- **Защищенные от взлома блокчейн-консорциумы**

EdgeSecurity зашифровывает метаданные (включая хэш), извлеченные из дайджеста каждого образа приложения. Для этого также используется технология блокчейна, позволяющая сохранять зашифрованные данные в блоке и управлять каждым узлом MEC как частным узлом блокчейна. Все узлы связаны с центральной общедоступной платформой для эффективной координации и обеспечения сквозной безопасности данных.

1.5.7 EdgeMesh

В основе EdgeMesh лежит технология Service Mesh, позволяющая планировать ресурсы MEC в масштабе всей сети и обеспечивать точное управление приложениями от различных поставщиков на каждом узле MEC.

- **Гибкое планирование вычислительной мощности**

В технологии EdgeMesh используется шаблон расширения на внешние устройства, что позволяет развертывать компоненты приложения в отдельном процессе или контейнере и тем самым упрощать процессы изоляции и инкапсуляции. С помощью этого шаблона EdgeMesh получает данные о состоянии и использовании вычислительных ресурсов текущего узла MEC и передает их контроллеру верхнего уровня или оркестратору в качестве справочных данных, применяемых для настройки политик планирования ресурсов. Благодаря этому ресурсы используются оптимальным образом.

-
- **Детальная оптимизация приложений**
Технология EdgeMesh взаимодействует с функцией плоскости пользователя (UPF), чтобы представлять отзывные ресурсы через сторонние устройства. Для каждого приложения можно обеспечить использование наиболее подходящих ресурсов и выделить его в соответствующую сетевую плоскость для передачи данных в зависимости от его пользователей и сервисов.
 - **Эффективные протоколы**
Шаблон использования сторонних устройств EdgeMesh применяет наиболее подходящие протоколы для обмена данными с устройствами.

1.5.8 EdgeData

Многие научно-исследовательские организации, такие как IEEE, тщательно исследовали хранение данных на периферии сети. Согласно полученным результатам, система хранения MEC должна быть распределенной, гетерогенной, облегченной и удобной для восприятия пользователями. Технология EdgeData обладает всеми этими характеристиками.

- **Распределенная**
EdgeData гарантирует согласованность данных между децентрализованными системами хранения. Эти системы могут эффективно взаимодействовать друг с другом и обеспечивать резервные запасы мощности, аварийное восстановление и совместную обработку данных периферийными узлами.
- **Гетерогенная**
Технология EdgeData обеспечивает взаимодействие различного программного обеспечения для управления данными и носителей данных, а также возможность абстрагирования широкого спектра типов данных.
- **Облегченная**
EdgeData предоставляет компактные решения для хранения данных в рамках различных сценариев. В качестве примера можно привести использование облегченной базы данных временных рядов (TSDB), такой как TDEngine, для хранения данных мониторинга и служебных сообщений в IoT-сценариях, в рамках которых взаимодействует огромное количество устройств.
- **Удобная для восприятия пользователями**
Технология EdgeData позволяет определять конфиденциальность основных алгоритмов и данных конкретных приложений и зашифровывать их перед

сохранением. Затем она совместно с функцией EdgeAI анализирует, передаются ли данные локально или сохраняются на других периферийных узлах.

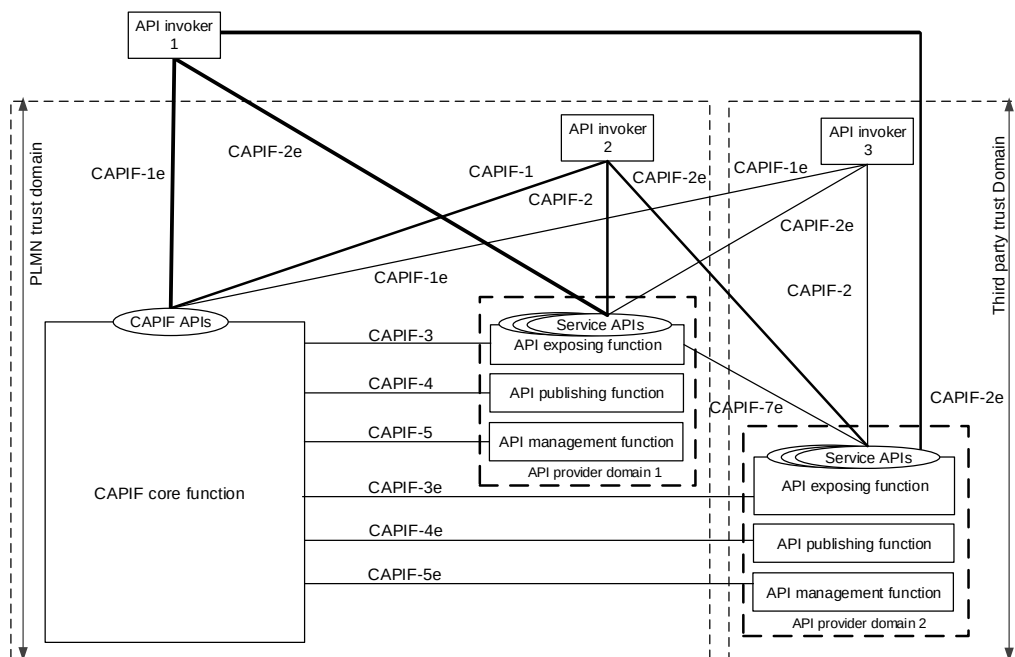
1.5.9 EdgeFramework

EdgeFramework — это надежная платформа для запуска приложений, на которой владельцы периферийных узлов могут определять политики, включая начисление оплаты и аудит. Это гарантирует безопасную работу приложения в соответствии с ожиданиями. Технология обладает следующими характеристиками:

- Универсальная

EdgeFramework соответствует стандартам среды Common API Framework (CAPIF), определенным Консорциумом 3GPP (см. рис. 2-2), и поддерживает взаимодействие через эталонную точку Mp1, согласно предписаниям института ETSI. В рамках данной технологии получило развитие множество функций, выходящих за рамки стандартов 3GPP и ETSI, включая вызов API через домены и даже CAPIF, распределенное развертывание, политики сквозной аутентификации и авторизации API. Используя стандартные точки аудита (время вызова и вызывающие стороны), EdgeFramework предоставляет владельцам узлов MEC важные справочные данные по начислению оплаты и аудиту.

Рис. 2-2. Архитектура CAPIF



- **Адаптивная**

На границе сети располагается множество разнообразных моделей оборудования, которые используют разные протоколы для взаимодействия с устройствами. В подтверждение этого стоит отметить, что в сервисах промышленного Интернета вещей (IIoT) применяются протоколы (например, протокол Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) и спецификация OPC UA (унифицированная архитектура OPC)), тогда как во время облачных игр геймеры используют разные терминалы (консоли и клавиатуры), которые иницируют трафик к периферии сети. Чтобы адаптироваться к постоянно меняющимся сценариям сервисов, можно интегрировать технологию EdgeFramework с различными стеками протоколов в виде плагина. Кроме того, она может абстрагироваться от аппаратных ресурсов и скрывать от приложений различия в функциональных возможностях гетерогенных сред (на базе x86, ARM и ИИ). Вдобавок к этому, технология EdgeFramework способна взаимодействовать с EdgeAI, обеспечивая гибкую среду разработки приложений.

- **Гибкая**

EdgeFramework разделяет MEC на функции и компоненты, которые можно выбирать и комбинировать различными способами. Точнее говоря, архитектура MEC может быть организована в виде основных функций (регистрация, обнаружение и аутентификация сервисов) и компонентов (ИИ, хранилище, сетевые компоненты). Эти функции и компоненты могут использоваться по запросу благодаря платформе, поддерживающей режим разработки приложений design-time, и модели «инфраструктура как код» (IaC). Например, если приложение использует только возможности сети 5G, то для него потребуются лишь основные функции и компоненты 5G.

1.5.10 EdgeDevSecOps

Разработчики склонны использовать смоделированные среды для проверки функций MEC, особенно когда нет возможности использовать реальные сети и устройства 5G. Функция DevSecOps предоставляет все необходимое для разработчиков MEC, в том числе:

- **Смоделированные сквозные среды**

В сквозных средах можно моделировать не только периферийные сети, но также доступ к открытым функциям сети и поведение устройств 5G. Среда остается

работоспособной благодаря тестированию всех функций МЕС, таких как служба локального прорыва (local breakout, LBO) через UPF и раскрытие информации о местоположении МЕР.

- Комплексная система безопасности

Инструменты статического анализа безопасности гарантируют, что уязвимые компоненты не будут использоваться никакими приложениями. Код и целевая среда развертывания тщательно сканируются, чтобы убедиться в отсутствии известных уязвимостей. Для проверки развернутых приложений, процесс аутентификации и авторизации которых полностью автоматизирован, предоставляются тестовые примеры, охватывающие все процессы сервисов.

- Индивидуальная цепочка инструментов или SDK

Цепочка инструментов и SDK помогают разработчикам эффективно организовывать и задействовать возможности нижнего уровня телекоммуникационных сетей и переносить код между различными платформами (например, между серверами x86 и ARM).

Глава 3. Открытый исходный код и практическое применение

Использование ПО с открытым исходным кодом — это идеальный подход, позволяющий внедрять Edge Native в широком спектре отраслей в ходе цифровой трансформации, а также расширять возможности этой технологии за счет совместного практического применения. Так, участники отраслевой цепочки инициировали запуск проекта EdgeGallery для разработки Edge Native и других периферийных инструментов. В настоящее время операторы продвигают соответствующие технологии в рамках стандартной архитектуры Edge Native и запустили ряд собственных платформ MEC.

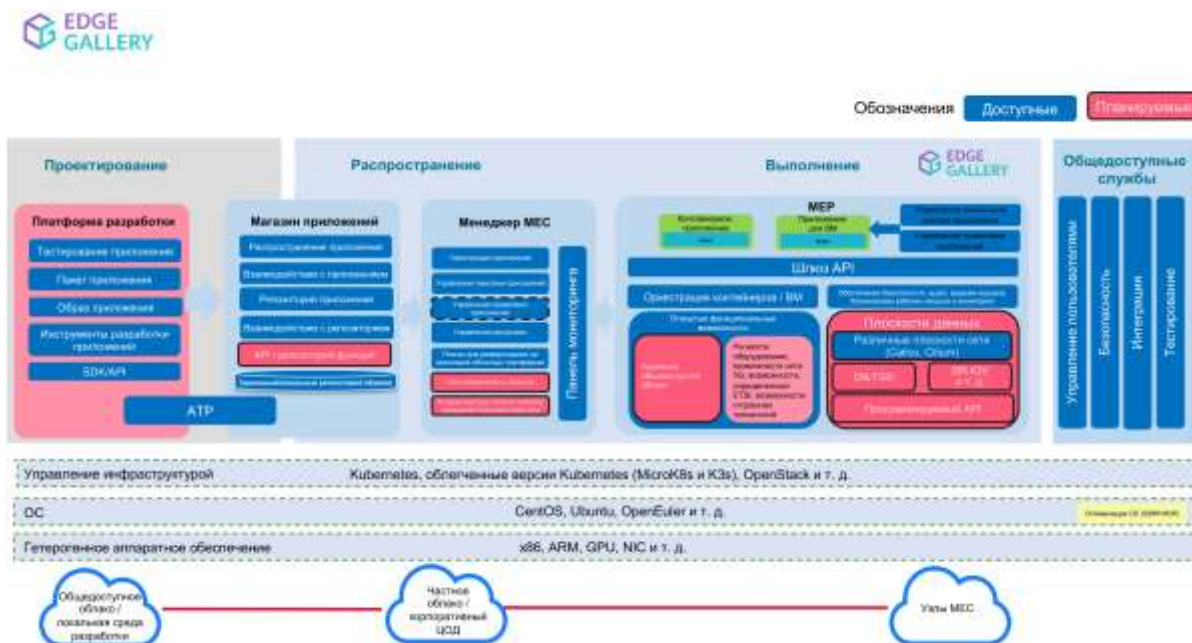
1.6 EdgeGallery

EdgeGallery — это проект по разработке платформы 5G MEC с открытым исходным кодом, инициированный китайской академией CAICT, компаниями China Mobile, China Unicom, Huawei, Tencent, 99cloud, Purple Mountain Laboratories и DBAPPSecurity. С момента своего запуска данный проект привлек огромное внимание представителей отрасли, включая поставщиков оборудования, операторов и вертикально-интегрированных компаний. Сегодня сообщество EdgeGallery состоит из 8 старших членов и 17 постоянных участников.

Участники EdgeGallery стремятся использовать технологии Edge Native для создания общедоступной платформы MEC, которая сочетает возможности подключения и вычислений, стандартизирует новые сетевые функции (особенно с точки зрения возможностей сети 5G) и оптимизирует процессы управления жизненным циклом для приложений MEC. Процессы управления жизненным циклом включают разработку, тестирование, миграцию и эксплуатацию. В августе 2020 года сообщество объявило, что платформа EdgeGallery доступна на сервисе Gitee, официально обозначив ее как платформу с открытым исходным кодом. С тех пор работа сообщества посвящена предоставлению комплексных сервисов разработчикам приложений, персоналу, задействованному в сфере периферийных вычислений, и инженерам по эксплуатации и техническому обслуживанию.

На рис. 3-1 показана архитектура EdgeGallery V1.0 (версия Chocolate).

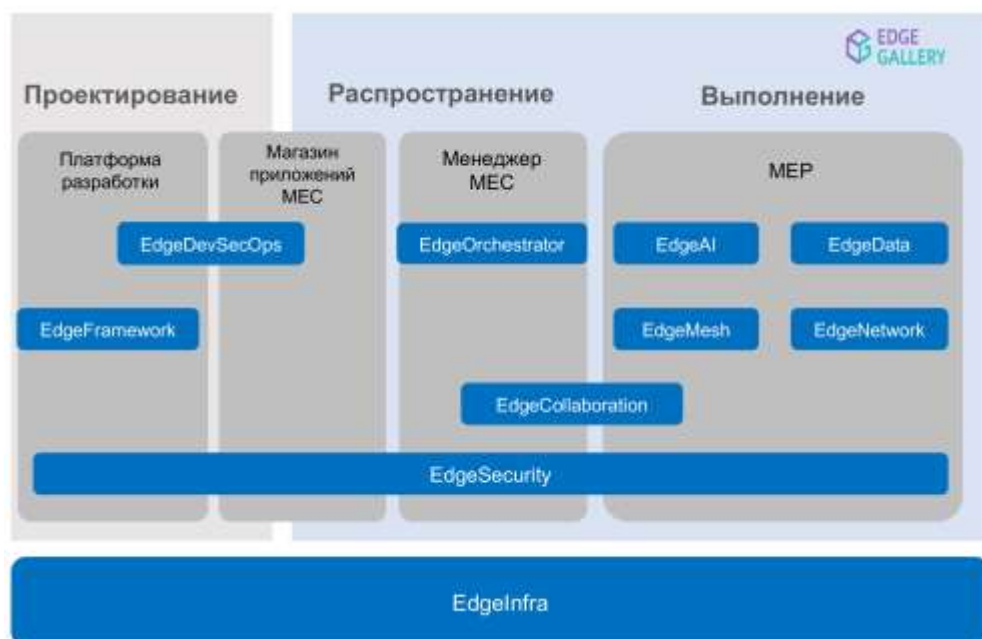
Рис. 3-1. Архитектура EdgeGallery



EdgeGallery охватывает весь процесс разработки приложений, включая проектирование, распространение и выполнение приложений, а также предоставляет платформу общедоступных сервисов. Иными словами, после разработки и интеграции приложение автоматически тестируется и помещается в центральный репозиторий, если тест пройден. Менеджер MEC, исполняющий функции оркестрации и управления периферийными приложениями с множественным доступом (MEAO/M), которые определены институтом ETSI, извлекает приложение из репозитория и доставляет его на узлы MEC, где оно будет работать на платформе MEP (которая при необходимости открывает функции). Для получения дополнительной информации посетите сайт <https://www.edgegallery.org/en/>.

На рис. 3-2 показана схема сопоставления компонентов EdgeGallery и технологий Edge Native.

Рис. 3-2. Схема сопоставления компонентов EdgeGallery и Edge Native



EdgeGallery состоит из четырех компонентов:

- **Платформа разработки**
Платформа использует технологии EdgeFramework и EdgeDevSecOps в целях обеспечения единого входа для разработчиков. Она адаптируется к API MEP и предоставляет полезные инструменты и процессы для интеграции кода, создания пакетов и тестирования приложений.
- **Магазин приложений MEC**
В основе этого компонента лежит решение EdgeSecurity. Приложения MEC размещаются в центральном репозитории, который совместим с магазинами приложений партнеров сообщества. После проверки возможности технической реализации из центрального репозитория можно получить одно приложение и запустить его в каждом магазине, подключенном к репозиторию.
- **Менеджер MEC**
Менеджер MEC, который использует EdgeOrchestrator и EdgeCollaboration и подключается к EdgeInfra, управляет жизненными циклами приложений по единому принципу. Он предоставляет инженерам интуитивно понятные пользовательские интерфейсы для мониторинга ресурсов и приложений, облегчая повседневную эксплуатацию и техническое обслуживание.
- **MEP**
MEP является стандартным элементом архитектуры MEC, определенной ETSI, и сочетается с технологиями EdgeNetwork, EdgeAI, EdgeData и EdgeMesh. Открытая

для широкого спектра моделей аппаратного обеспечения и виртуализированных вычислительных технологий, платформа MEP предоставляет API для управления приложениями и службами в централизованном формате, а также возможность использования открытых сетевых инструментов.

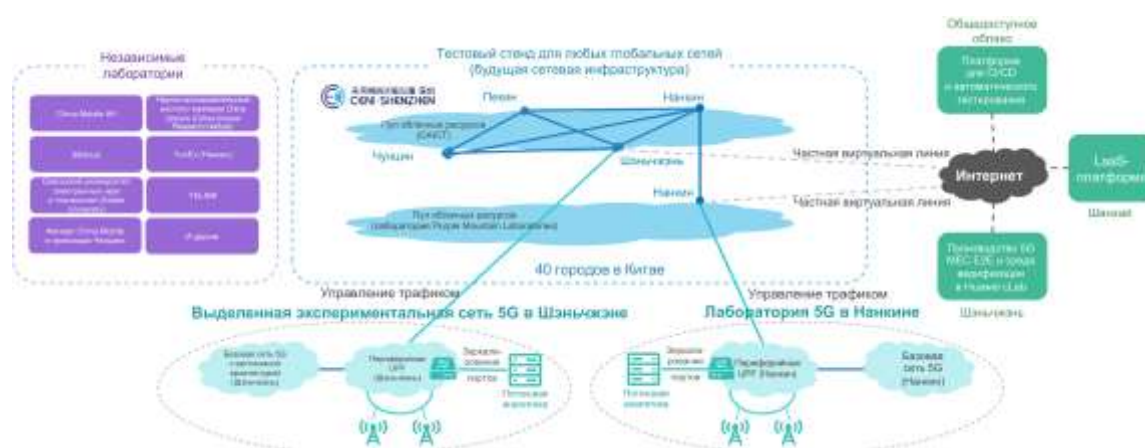
Чтобы упростить разработку приложений EdgeGallery на разных платформах и внести свой вклад в развитие эффективной периферийной экосистемы, все заинтересованные представители отрасли должны содействовать распространению спецификаций для разработки приложений MEC. Как показано на рис. 3-3, эти спецификации охватывают создание пакетов приложений, их регистрацию, развертывание, сертификацию, обеспечение безопасности, API. Данные спецификации призваны заложить надежную основу для разработки действительных стандартов 5G MEC.

Рис. 3-3. Спецификации для разработки приложений EdgeGallery



Кроме того, EdgeGallery объединяет обширные лабораторные ресурсы (см. рис. 3-4), включая национальную экспериментальную инфраструктуру будущей сети Китая, лабораторию 5G в Нанкине (при поддержке Purple Mountain Laboratories), а также экспериментальную сеть 5G в Шэньчжэне. Эти ресурсы доступны для лабораторий, которыми заведуют члены сообщества и в которых развертывается архитектура EdgeGallery, но используются независимые от сообщества среды тестирования.

Рис. 3-4. Лабораторные ресурсы EdgeGallery



Сообщество EdgeGallery создало центральную платформу, на которой разработчики могут проверять, подавать заявки и запускать лабораторные ресурсы для проверки функциональности MEP и приложений, сертификации служб и программного обеспечения. В предстоящем выпуске EdgeGallery 1.1 появится обновленная платформа управления лабораторией, способная динамически распределять ресурсы тестирования для разработчиков в любое время и в любом месте, поддерживать разработку служб в сценариях AR/VR, Интернета транспортных средств (IoV), промышленного Интернета вещей (IIoT) и умного города (Smart City). Доступные ресурсы включают изолированные тестовые среды («песочницы»), а также реальные среды 5G MEC, тестовые SIM-карты, вычислительные ресурсы (центральные и графические процессоры), серверы (на базе x86 и ARM), а также инструменты тестирования сети и безопасности.

1.7 OpenSigma

Чтобы обеспечить синергетический эффект от взаимодействия сети, периферии и облака, и соответствие тенденциям развития 5G, максимально использовать уникальные преимущества каждого оператора, компания China Mobile запустила проект 5G+E, направленный на продвижение полного стека технологий, продуктов и возможностей. В ходе его реализации специалисты компании China Mobile поняли, что технологии MEC играют все более заметную роль в современном мире. Поэтому с тех пор руководство China Mobile инвестирует значительные средства в исследования и разработку продуктов MEC. Решение OpenSigma, представленное на конференции China Mobile Global Partner 2020, является одним из таких продуктов.

Будучи универсальной МЕР-платформой, OpenSigma предоставляет основные функции вычислений МЕС, включая LBO, хостинг приложений и службу доменных имен (DNS) для предприятий и других игроков отрасли. Кроме того, в решении предусмотрены специальные периферийные сервисы и функции управления периферийными облачными ресурсами, регистрации, взимания платы, запуска инструментов и приложений. Интуитивно понятный портал OpenSigma позволяет различным компаниям без особых усилий получать нужные сервисы и быстро их монетизировать.

Концерн China Mobile оказывает активное содействие сообществу EdgeGallery, которое, в свою очередь, предоставляет ценные справочные материалы для построения технической архитектуры OpenSigma (см. рис. 3-5).

Рис. 3-5. Техническая архитектура OpenSigma



Решение OpenSigma состоит из 2 основных элементов:

- Система управления периферийными вычислениями (Edge Computing Management, ECM)

В рамках ECM представлены порталы управления и обслуживания, а также задействованы технологии EdgeOrchestrator и EdgeCollaboration для управления платформой PaaS и поддержки сетевых процессов и сервисов.

- Платформа периферийных вычислений (Edge Computing Platform, ECP)

В основе ECP лежит технология EdgeInfra, предоставляющая базовые среды для ИТ-приложений. Для взаимодействия с платформой открытых сетевых функций

применяется технология EdgeFramework, а для обращения к отраслевым инструментам через стандартные API — технологии EdgeNetwork и EdgeAI. Кроме того, технология EdgeDevSecOps позволяет осуществлять итерации и обновления на платформе ECP синхронно с действующими сетевыми узлами, через инкубаторы, а также предоставлять среды и инструменты для подключения к сторонним сетевым инструментам и приложениям.

Корпорация China Mobile построила 156 MEC-узлов в 22 провинциях и автономных районах Китая, предоставляя предприятиям доступ к различным суперкомпьютерным вычислительным ресурсам посредством высокоскоростных сетей 5G. Кроме того, компания развернула сервисные инкубаторы MEC в Пекине, а также в провинциях Цзянсу, Чжэцзян, Фуцзянь и Гуандун. В настоящее время China Mobile находится в поиске и набирает на работу специалистов со всего мира для нового проекта по разработке приложений MEC. Цель проекта — оказывать универсальные и комплексные услуги по развитию технологии MEC, включая уточнение и прояснение требований, адаптацию к среде, распространение, развертывание и коммерческий запуск.

Компания China Mobile и сообщество EdgeGallery намерены продолжать совершенствование платформы для разработчиков, магазина приложений, процессов интеграции и тестирования приложений, а параллельно проводить научные исследования и реализовывать на практике основные возможности MEP. Организации планируют стандартизировать архитектуру MEC, делая ее более адаптируемой к операторским сетям и более удобной для отраслевых сценариев, способствовать созданию устойчивой периферийной экосистемы и реализовывать возможности для бизнеса, предоставляемые 5G MEC.

1.8 CUC-MEC

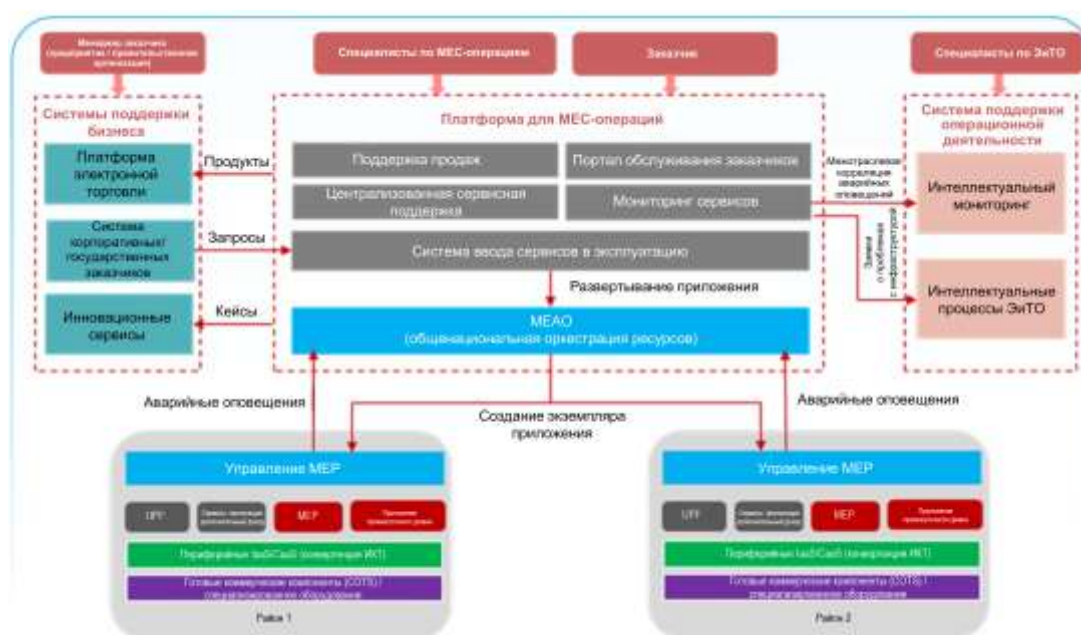
Сегодня сети 5G развертываются по всему миру, а технологии MEC представляют собой невероятную движущую силу. Периферийные облака на основе MEC открывают доступ к новым приложениям и сервисам, которые, в свою очередь, способствуют цифровой трансформации всех отраслей. Являясь пионером в разработке MEC, компания China Unicom по-прежнему привержена созданию гибкой, эластичной, эффективной и открытой периферийной сети, поэтому запустила собственную MEP-платформу — CUC-MEC. Платформа CUC-MEC объединяет КТ, ИТ и ОТ (операционные технологии), позволяя упростить сквозные процессы разработки, интеграции, эксплуатации приложений и

реализации инновационных идей, способствовать коммерческому использованию этих приложений, упростить их эксплуатацию и обслуживание в различных сценариях (умное производство, умный порт, IoV, умное здравоохранение и пр.).

Корпорация China Unicom построила самый большой в мире тестовый стенд MEC и открыла лабораторию, заложив надежную основу для верификации и распространения платформы CUC-MEC и приложений MEC. Благодаря совместимости с архитектурой Edge Native платформа CUC-MEC позволяет управлять периферийными облачными ресурсами и сервисами для каждого MEC-узла. Помимо этого, заказчики или сторонние разработчики могут размещать приложения в магазине приложений через открытые API. В рамках периферийной архитектуры на базе CUC-MEC все процессы приложений MEC — планирование, создание, техническое обслуживание, разработка и эксплуатация — стандартизированы и оптимизированы.

На рис. 3-6 представлена архитектура платформы CUC-MEC.

Рис. 3-6. Архитектура CUC-MEC



В течение последних нескольких лет компания China Unicom активно участвовала в проектах с открытым исходным кодом, реализуемых различными организациями, среди которых фонд Open Networking Foundation (ONF), ассоциация GSMA, проект Akraino, сообщество EdgeGallery, институт ETSI и Консорциум 3GPP. Используя технологии Edge Computing 2.0, компания China Unicom планирует сосредоточиться на конструировании

открытых сетей, платформ и экосистем MEC путем более тесного сотрудничества с другими игроками отрасли. Целью такого сотрудничества станут улучшение базовых MEC-архитектур ресурсов, MEC-приложений, развитие технологий безопасности и управления MEC, стандартизация открытых функциональных сетевых возможностей, а также достижение синергетического эффекта от совместного использования сетевой периферии и общедоступных, отраслевых и частных облаков. Совместно с сообществом EdgeGallery концерн China Unicom продолжит содействовать формированию устойчивой периферийной экосистемы, основанной на разнообразных аппаратных ресурсах. Развитие такой экосистемы поспособствует появлению большего числа приложений, которые будет намного легче интегрировать, и позволит быстро отслеживать коммерциализацию решений на базе 5G MEC.

Глава 4. Стандарты применения и перспективы развития

Несмотря на то, что технология Edge Native появилась относительно недавно, она уже используется рядом ведущих предприятий: так, компании Haier и DALU Robotech уже устанавливают отраслевые стандарты.

Haier: сервисная платформа 5G+MEC

Компания Haier — один из крупнейших мировых производителей бытовой техники, а также постоянный участник списка Fortune 500. В прошлом концерн Haier, как и многие другие производители, сталкивался с рядом проблем, порождаемых традиционными производственными подходами: длительными периодами поставки продукции, отсроченными ответными реакциями, отсутствием методов совместного управления и снижением уровня удовлетворенности клиентов. Чтобы избавиться от этих проблем, руководство компании Haier решило внедрить на своем предприятии технологии Edge Native и разработать сервисную платформу 5G+MEC, ориентированную на отрасль бытовой техники. В настоящее время эта платформа используется в различных промышленных сценариях, включая оптимизацию производства, совместное производство, управление качеством, гибкое производство, интеллектуальные системы безопасности и управление энергопотреблением. Благодаря платформе 5G+MEC заказчики получают возможность влиять на продукцию в самом начале производственного процесса, преобразовывая требования клиентов напрямую в производственные заказы, персонализировать продукты и запускать их в серийное производство, обеспечивая баланс между затратами, качеством, производственной гибкостью и сроком поставки.

Ядром платформы является решение для контроля качества на базе машинного зрения, использующее технологии Edge Native, от компании China Mobile. Оно автоматически обнаруживает дефекты товаров: царапины и вмятины на поверхностях из нержавеющей стали, дефекты на дверцах и любые внешние повреждения поверхностей. Технология машинного зрения обеспечивает более высокое качество продукции и снижает риск пропуска дефектов по сравнению с ручным контролем. Однако этот подход требует гораздо большей пропускной способности и сверхнизкой задержки, а требования для разных продуктов могут существенно отличаться. Столь высокие требования может удовлетворить только сочетание технологий Edge Native и MEC.

Кроме того, архитектура Edge Native обеспечивает большой канал связи и пути передачи в режиме реального времени, что способствует эффективному взаимодействию промышленных камер, визуальных процессоров, программируемых логических контроллеров (ПЛК) и роботизированных манипуляторов по беспроводным сетям и позволяет автоматизировать весь производственный процесс, сократить производственные затраты и повысить качество продукции.

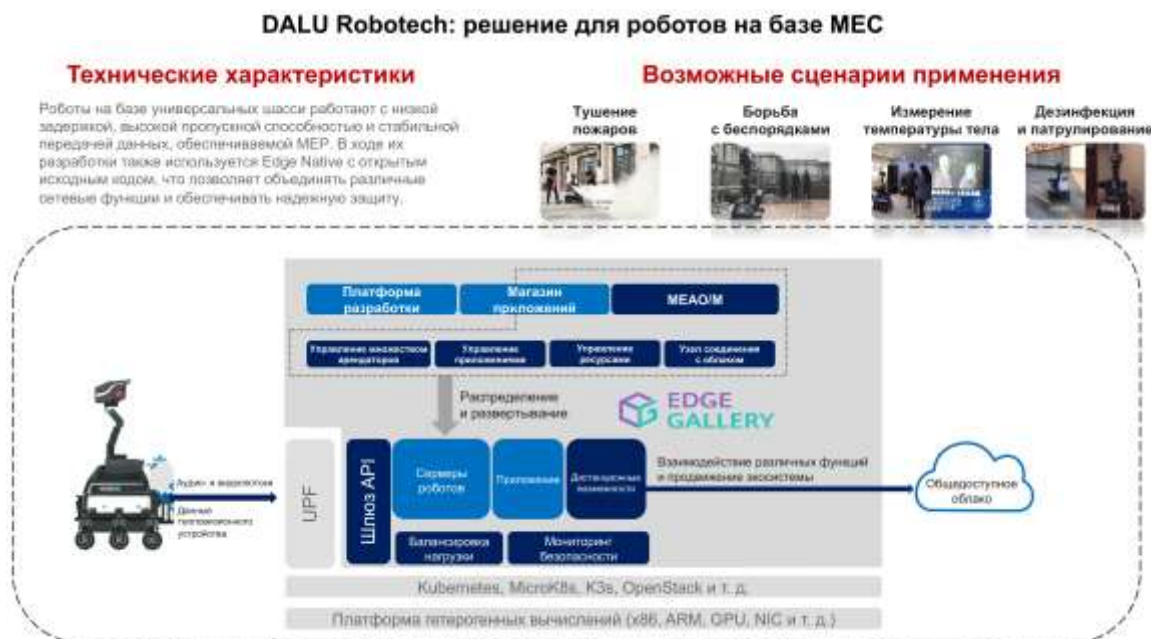
DALU Robotech: умные роботы

DALU Robotech — это растущий стартап; компания занимается исследованиями и разработками специальных роботов и технологий искусственного интеллекта. Признав ключевую роль технологий MEC в облачных вычислениях, оценив эффект от применения интеллектуальных технологий и преимущества облачного хранения ключевых данных для роботов, специалисты компании DALU Robotech увидели мощнейший потенциал в зарождающихся технологиях с открытым исходным кодом. Поэтому они разместили свою операционную систему и базу данных для роботов именно на платформе EdgeGallery. Благодаря широкому спектру сетевых функций, объединенных на платформе EdgeGallery, теперь роботы функционируют более безопасно и стабильно. Кроме того, сегодня они выполняют поставленные задачи намного эффективнее, обмениваясь результатами анализа больших данных в режиме реального времени, анализируя видеоданные с помощью искусственного интеллекта и определяя поведение управляемых событиями программ. В дополнение к этому доступ к открытым инструментам и функциям позволяет заказчикам быстро развертывать облачные и ИИ-приложения на платформе для роботов. В результате существенно облегчается управление роботами, компания получает возможность эффективно реагировать на требования заказчиков.

С начала сотрудничества компании DALU Robotech и сообщества EdgeGallery в апреле 2020 года партнеры провели серию тестов MEC-операций, выполняемых роботами, а также опробовали применение некоторых технологий на практике. Благодаря новейшим разработкам роботы успешно выполняют такие задачи, как автоматическое патрулирование, интеллектуальное взимание платы, идентификация ключевой информации и оповещение об аварийных сигналах в целях обеспечения безопасности. Сегодня роботы способны отслеживать температуру тела в режиме реального времени и дезинфицировать определенные участки тела для предотвращения распространения COVID-19 и других типов коронавирусной инфекции. Более того, роботы могут оказывать эффективную помощь при тушении пожаров и борьбе с беспорядками. На рис. 4-1

представлена техническая архитектура, утвержденная компанией DALU Robotech для своих роботов.

Рис. 4-1. Техническая архитектура для роботов, выполняющих MEC-операции



Огромные преимущества для бизнеса, связанные с технологиями MEC и Edge Native, очевидны. Пилотные проекты, реализованные в 2020 году, стали источником вдохновения и первым шагом на пути к процветающему будущему Edge Native. Прогнозируя тенденции дальнейшего развития, мы призываем всех участников отраслевой цепочки, включая предприятия, поставщиков коммуникационного оборудования, разработчиков и особенно операторов, объединиться для достижения общей цели — дальнейшего непрерывного развития концепции, архитектуры и технологий Edge Native и их использования в целях формирования устойчивой экосистемы и стимулирования экономического роста. Технологии Edge Native будут определять дальнейшее развитие сетей и создавать постоянный импульс для цифровой модернизации всех отраслей.