

Инновационные решения граничных вычислений для сетей 6G: интеграция современных платформ и оркестрация с помощью Kubernetes

Х. А. Ясир

Санкт-Петербургский
государственный университет
телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
eng-hu@mail.ru

З. А. Аль-Кереа

Санкт-Петербургский
государственный университет
телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
eng-za@mail.ru

А. С. Мутханна

Санкт-Петербургский
государственный университет
телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
ammarexpress@gmail.com

Аннотация. В данной работе рассматриваются ключевые технологии и архитектурные подходы, способствующие развитию сетей 6G. Исследование охватывает обзор современных платформ граничных вычислений, их интеграцию с облачными сервисами и микросервисной архитектурой, а также подробный анализ Kubernetes – системы оркестрации контейнеров, которая обеспечивает автоматизацию развертывания, масштабирования и управления приложениями. Особое внимание уделено преимуществам развертывания Kubernetes на edge-узлах, позволяющих снизить задержки, оптимизировать пропускную способность и повысить надежность систем.

Ключевые слова: IBM, Google Cloud IoT, NVIDIA, Kubernetes

I. ВВЕДЕНИЕ

Переход к сетям 6G требует радикальных изменений в способах обработки и передачи данных, что обусловлено необходимостью обеспечения сверхнизкой задержки, высокой пропускной способности и безопасности [1]. Граничные вычисления становятся стратегическим решением, позволяющим переместить обработку данных ближе к конечным пользователям. Современные платформы граничных вычислений, такие как Azure IoT Edge, AWS IoT Greengrass, Google Cloud IoT Edge, IBM Edge Application Manager и NVIDIA EGX, демонстрируют возможности интеграции с облачными сервисами и обеспечивают гибкость инфраструктуры [1-3]. В дополнение к этому, микросервисная архитектура и контейнеризация, реализуемые с помощью Kubernetes, позволяют автоматизировать управление и оркестрацию вычислительных ресурсов, что особенно актуально для приложений с высокими требованиями к реальному времени, таких как телеприсутствие, дополненная и виртуальная реальность [3].

II. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПЛАТФОРМ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Azure IoT Edge (Microsoft)

Платформа Azure IoT Edge использует контейнеризацию (Docker) для развертывания микросервисов и интегрируется с облачными решениями, такими как IoT Hub, Machine Learning и

Cognitive Services [4]. Благодаря использованию современных протоколов шифрования (TLS 1.3) и регулярным обновлениям, платформа обеспечивает высокий уровень безопасности, хотя масштабирование до десятков тысяч устройств может привести к значительным лицензионным расходам [4].

AWS IoT Greengrass

AWS IoT Greengrass ориентирована на локальную обработку данных с использованием AWS Lambda и развертывания моделей машинного обучения через AWS SageMaker. Локальная аналитика позволяет обрабатывать данные непосредственно на устройстве (например, анализ видеопотока с камер наблюдения), сокращая необходимость передачи больших объемов данных в облако. Основным ограничением остаётся сложность интеграции с альтернативными облачными платформами [4].

Google Cloud IoT Edge

Платформа Google Cloud IoT Edge делает акцент на применение TensorFlow Lite для реализации аналитики в реальном времени. Централизованное управление устройствами через Google Cloud Console упрощает конфигурацию распределённых узлов, хотя ограниченная поддержка оборудования вне экосистемы Google может стать барьером для некоторых промышленных решений [5].

IBM Edge Application Manager

IBM Edge Application Manager демонстрирует высокую степень автономии благодаря возможности развертывания конвейеризированных приложений на тысячах узлов. Интеграция с Watson и применение AI для аналитики энергопотребления позволяют оптимизировать управление ресурсами, однако настройка системы требует глубоких технических знаний [5].

NVIDIA EGX Platform

Платформа NVIDIA EGX оптимизирована для задач с GPU-ускорением, что особенно важно при обработке графически насыщенного контента (AR/VR, медицинские симуляторы). Высокая пропускная

способность и минимальные задержки делают её привлекательной для задач с интенсивной визуализацией, хотя высокая стоимость оборудования и энергопотребление остаются существенными ограничениями [5].

III. МИКРОСЕРВИСНАЯ АРХИТЕКТУРА, КОНТЕЙНЕРИЗАЦИЯ И ОРКЕСТРАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ KUBERNETES

Теоретические основы Kubernetes

Kubernetes – это открытая система оркестрации контейнеров, разработанная Google и поддерживаемая Cloud Native Computing Foundation. Она предоставляет следующие ключевые возможности [6–7]:

- Оркестрация контейнеров: Автоматизация развертывания, обновлений и масштабирования приложений, упакованных в контейнеры (например, с использованием Docker).
- Планирование и распределение нагрузки: Оптимальное распределение контейнеров (Pods) по вычислительным узлам (Nodes) с учётом доступных ресурсов.
- Автоматическое масштабирование: Динамическое масштабирование сервисов в зависимости от текущей нагрузки.
- Самовосстановление: Автоматический перезапуск и замена контейнеров в случае их отказа, что обеспечивает высокую доступность.
- Управление конфигурациями и секретами: Централизованное хранение и управление настройками приложений и безопасными данными.

Задачи и применение Kubernetes

Основные задачи Kubernetes включают планирование контейнеров, оркестрацию сервисов, балансировку нагрузки и мониторинг состояния узлов. Эти функции позволяют обеспечить стабильную работу распределённых приложений, автоматизируя процессы обновления и масштабирования, а также минимизируя риски системных сбоев [8–9].

Преимущества развертывания Kubernetes на edge-узлах

Размещение Kubernetes на граничных узлах даёт значительные преимущества по сравнению с централизованными облачными решениями [8]:

- Низкая задержка: Вычислительные ресурсы располагаются ближе к источнику данных, что критически важно для приложений в 6G, таких как AR/VR и телеприсутствие.
- Оптимизация пропускной способности: Локальная обработка данных снижает необходимость передачи больших объёмов информации в облако, уменьшая нагрузку на сеть.
- Устойчивость и надёжность: Edge-решения могут продолжать работу при нестабильном соединении с облаком, обеспечивая автономность и непрерывность критически важных сервисов.

- Улучшенная безопасность: Локальная обработка данных снижает риск утечек, поскольку чувствительная информация остаётся внутри локальной сети.
- Экономическая эффективность: Сокращение затрат на передачу данных и уменьшение зависимости от централизованных облачных ресурсов делает edge-развертывание привлекательным для масштабных распределённых систем.

IV. КЛЮЧЕВЫЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПЛАТФОРМ ДЛЯ СЕТЕЙ 6G

При выборе платформы для реализации сетей 6G необходимо учитывать следующие параметры [9–10]:

- Минимальная задержка: Для приложений с высокими требованиями к времени отклика (например, хирургические роботы, телеприсутствие) необходима задержка менее 1 мс.
- Высокая пропускная способность: Обработка голографических данных и 3D-контента требует каналов связи с пропускной способностью свыше 1 Тбит/с.
- Безопасность: Современные алгоритмы шифрования (AES-256, TLS 1.3) и многофакторная аутентификация являются обязательными для защиты данных.
- Интеграция с облачными экосистемами: Платформы должны обеспечивать бесшовную интеграцию с основными облачными сервисами для быстрого масштабирования и обмена данными.

Kubernetes автоматизирует развертывание, масштабирование и управление контейнеризированными приложениями [11].

Его задачи включают планирование контейнеров, балансировку нагрузки, обеспечение высокой доступности и управление обновлениями.

Развертывание на граничном узле позволяет снизить задержки, обрабатывать данные ближе к источнику и уменьшить затраты на передачу данных, что особенно важно для сетей 6G и приложений, требующих высокой скорости реакции.

Таким образом, использование Kubernetes на edge-узлах может значительно улучшить производительность систем 6G по сравнению с централизованными облачными решениями.

В этом примере моделируются задержки и пропускная способность для всех платформ, включая Azure IoT Edge, AWS Greengrass, Google Cloud IoT, IBM Edge Manager, а также для Kubernetes Cloud и Kubernetes Edge. Такой сравнительный анализ помогает оценить, как размещение Kubernetes в разных средах влияет на время отклика и пропускную способность, что особенно важно для приложений 6G, требующих минимальной задержки (например, AR/VR и телеприсутствие).

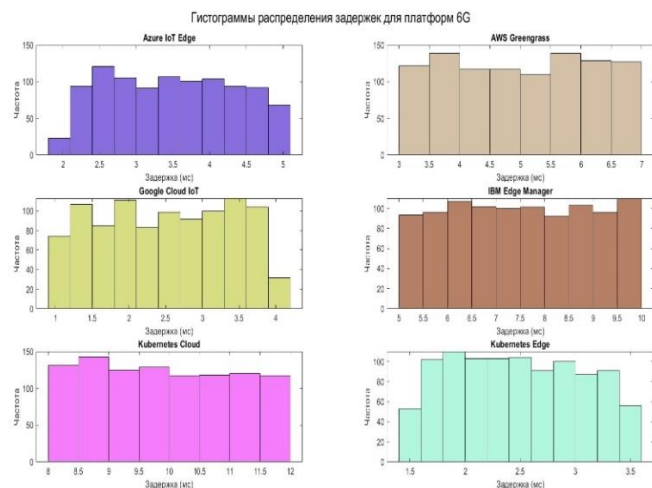


Рис. 1. Гистограммы распределения задержек для платформ 6G

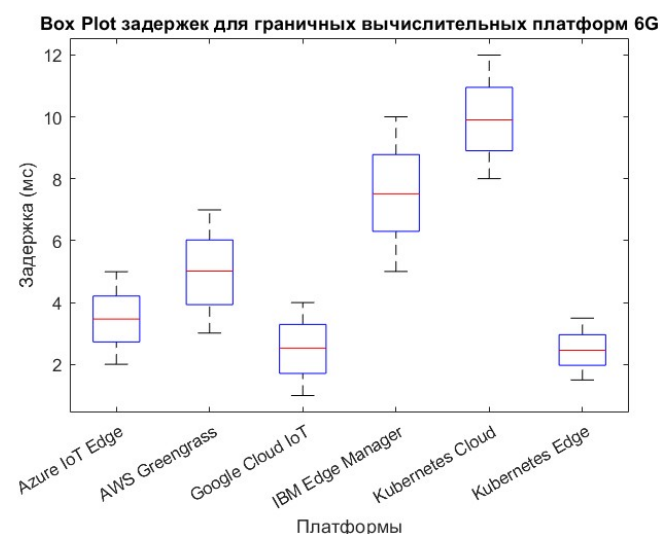


Рис. 2. Box Plot задержек для граничных вычислительных платформ 6G

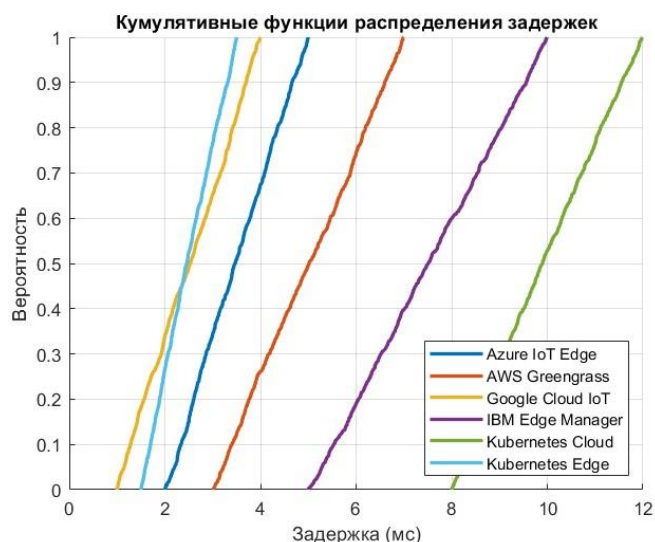


Рис. 3. Кумулятивные функции распределения задержек

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход к сетям 6G диктует необходимость применения инновационных решений, где граничные вычисления и микросервисная архитектура играют ключевую роль. Современные платформы, такие как Azure IoT Edge, AWS IoT Greengrass, Google Cloud IoT Edge, IBM Edge Application Manager и NVIDIA EGX, демонстрируют высокую эффективность при обработке данных на периферии сети. Интеграция Kubernetes, обладающего мощными инструментами оркестрации и автоматизации, позволяет добиться минимальных задержек, оптимизации пропускной способности и повышения надёжности систем. Развёртывание Kubernetes на edge-узлах становится оптимальным решением для реализации современных 6G-сетей, способных удовлетворить растущие требования к скорости, безопасности и качеству сервисов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Mitchell M. Artificial Intelligence. A Guide for Thinking People. Pelican, 2020.
- [2] Steputin A. N., Nikolaev A. D. Mobile communications on the way to 6G. Infra-Engineering, 2020.
- [3] Arnaldi B., Guitton P., Moreau G. Virtual reality and augmented reality: myths and reality. Wiley-ISTE, 2018.
- [4] Katz E. Telepresence and bioart: networking people, rabbits and robots. University of Michigan Press, 2005.
- [5] David K., Berndt H. 6G vision and requirements: Is there any need for beyond 5G? IEEE Veh. Technol. Mag., 2018, Vol. 13, № 3.
- [6] Gupta A., Jha E. R. K. A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies. IEEE Access, 2015, Vol. 3.
- [7] Sharma P. Evolution of mobile wireless communication networks-1G to 5G as well as future prospective of next generation communication network. Int. J. Comput. Sci. Mobile Comput., 2013, Vol. 2, № 8.
- [8] Gawas A.U. An overview on evolution of mobile wireless communication networks: 1G-6G. Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun., 2015, Vol. 3, № 5.
- [9] Parikh J., Basu A. LTE advanced: The 4G mobile broadband technology. Int. J. Comput. Appl., 2011, Vol. 13, № 5.
- [10] Wu J., Dong M., Ota K., Li J., Yang W., Wang M. Fog-computing enabled cognitive network function virtualization for an information centric future Internet. IEEE Commun. Mag., 2019, Vol. 57, № 7.
- [11] Дунайцев Р.А., Бородин А.С., Кучерявый А.Е. Интегрированная сеть космос-воздух-земля-море как основа сетей связи шестого поколения // Электросвязь, 2022, № 10. DOI: 10.34832/ELSV2022.35.10.001.