

УДК 621.3

doi 10.54708/22259309_2025_13237

Применение граничных вычислений для снижения трафика в сетях IIoT-устройств

А. А. ИВАНОВ¹

¹ivanov.aa@ugatu.su

¹ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

Аннотация. В работе представлены обзор на применение граничных вычислений в сетях устройств промышленного интернета вещей (IIoT), преимущества и недостатки данного подхода и перспективы развития. Приведен пример возможной реализации данного подхода на примере микроконтроллера ESP32.

Ключевые слова: граничные вычисления; IIoT-устройства; Индустрия 4.0.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно концепции четвертой промышленной революции, или Индустрии 4.0, в производственные процессы идет активное внедрение алгоритмов машинного обучения (ML) и IIoT-устройств. В обозримом будущем количество умных датчиков и контроллеров может достигнуть до 40 и более миллиардов новых внедренных устройств [1]. Прогнозируемый график внедрения устройств интернета вещей в различных отраслях, согласно статистике IOT Analytics, приведен на рис. 1.

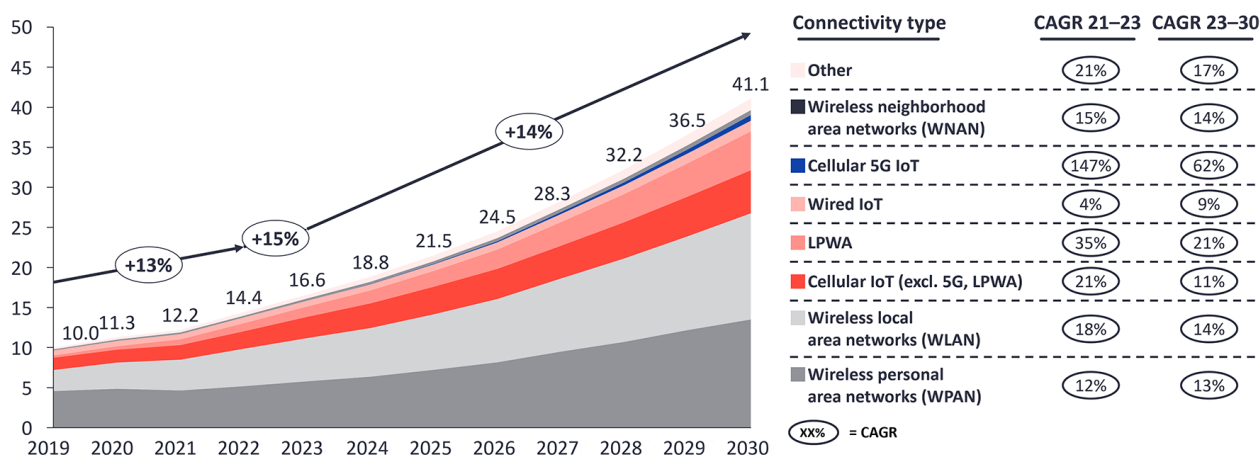


Рис. 1. График глобального прогноза рынка интернета вещей до 2030 г. (в млрд)

Рост числа IIoT-устройств приведет не только к колоссальной нагрузке на трафик существующих сетей передачи данных, но и на вычислительные центры, в том числе и облачные серверы. Помимо прочего, возникает задача по снижению затрат электроэнергии, так как для каждого устройства, несмотря на их невысокий уровень потребления, необходимо обеспечить электроснабжение. Для решения данной проблемы активно стала прорабатываться и внедряться концепция граничных вычислений.

ГРАНИЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В СЕТЯХ ПОТ-УСТРОЙСТВ

Граничные вычисления (Edge Computing) – это интеллектуальные вычислительные ресурсы, расположенные вблизи исполнительных и измерительных устройств, а также источников и потребителей информации. Существуют 3 типа граничных вычислений: Thick Edge, Thin Edge и Micro Edge [2].

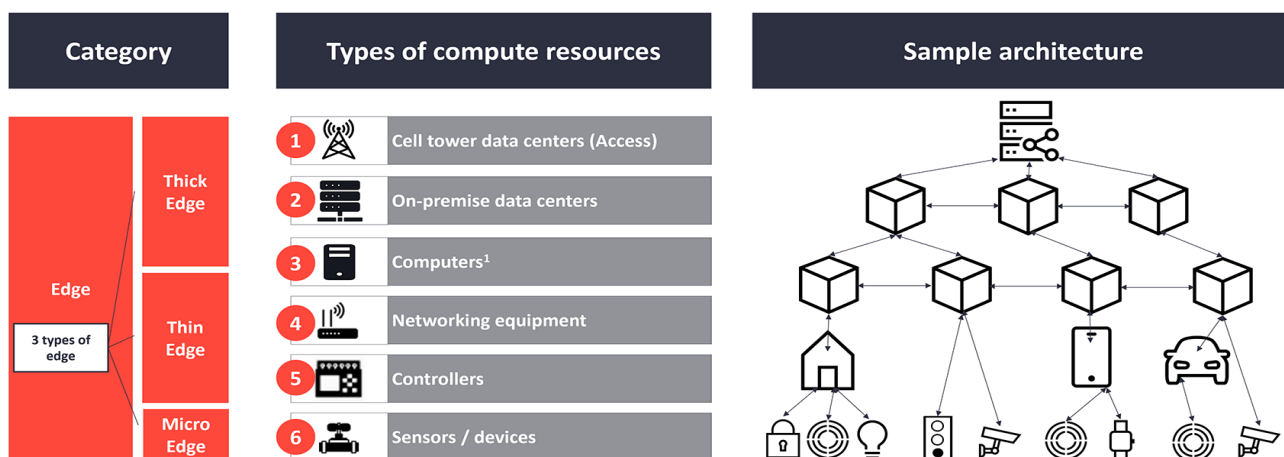


Рис. 2. Категории и тип граничных вычислений

Thick Edge описывает вычислительные ресурсы (обычно расположенные в центре обработки данных), оснащенные компонентами (например, высокопроизводительными центральными или графическими процессорами), предназначенными для выполнения задач/рабочих нагрузок, требующих больших вычислений, таких как хранение и анализ данных.

Thin Edge описывает интеллектуальные контроллеры, сетевое оборудование и компьютеры, которые собирают данные с датчиков и устройств, генерирующих эти данные.

Micro Edge описывает интеллектуальные датчики и устройства, которые генерируют данные.

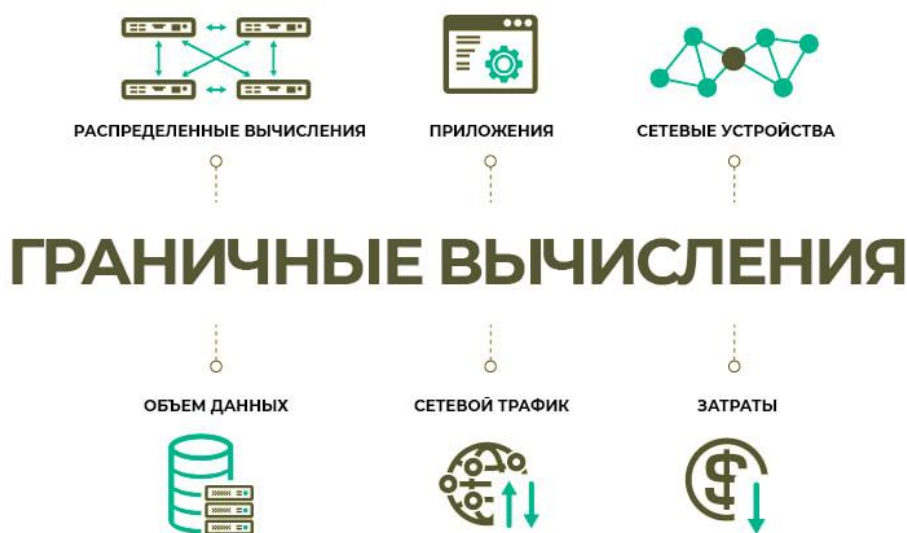


Рис. 3. Основной функционал и преимущества граничных вычислений

Основной идеей данной концепции является перенос вычислительной нагрузки с центров обработки данных (ЦОД) и облачных серверов на уровень IoT-устройств (полевой уровень). Первичная обработка, восстановление и анализ информационных сигналов, поступающих от

датчиков, выполняются непосредственно на самих устройствах сбора данных или в интеллектуальных датчиках. Благодаря подходу с распределением вычислений на уровне IIoT-устройств нивелируется необходимость отправки сырых данных в ЦОД, что приводит к снижению рутинной нагрузки по очистке данных с вычислительных центров. Также происходит снижение потребляемого трафика, так как большая часть задач по анализу данных и принятию решений может выполняться непосредственно на уровне IIoT-устройств.

В качестве примера применения граничных вычислений можно привести анализ сигналов и диагностики промышленных установок. Степень неисправности определяется конструкцией установки, материалами и условиями эксплуатации. Типичный процесс диагностики неисправностей состоит из сбора сигнала, его предварительной обработки, выделения признаков и распознавания образов. Контролируемые сигналы, получаемые датчиками, всегда слабые и сопровождаются фоновым шумом. Кроме того, некоторые сигналы принимаются IIoT-устройствами, работающими от батареек. Следовательно, необработанные сигналы должны быть усилены, очищены, сжаты и предварительно обработаны, чтобы получить улучшенный сигнал для извлечения признаков.

Поскольку условия эксплуатации машины сложны, один или несколько признаков не всегда могут точно указывать на исправность. Таким образом, методы распознавания образов используются для объединения многомерных признаков для получения результатов комплексной диагностики [3].

Стоит отметить, что несмотря на все преимущества использования концепции граничных вычислений, он обладает и рядом недостатков. В первую очередь одним из недостатков данной концепции является удорожание развертывания вычислительных систем, так как добавляются новые наборы устройств-хабов для локальной обработки данных, а также удорожание самих IIoT-устройств из-за повышения требований к их вычислительной мощности. Второй проблемой является повышение уровня энергопотребления, связанное с увеличением количества устройств.

ВАРИАНТ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА БАЗЕ ESP32

Микропроцессор ESP32 является одним из самых популярных решений для разработки IIoT-устройств благодаря своей высокой функциональности, низкому потреблению электроэнергии и доступной цене.

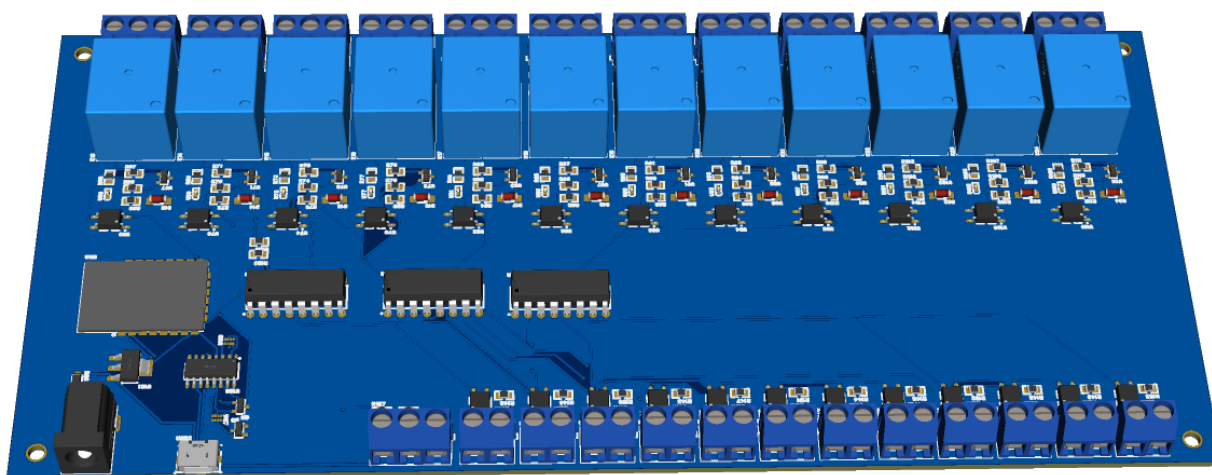


Рис. 4. Цифровая модель платы на базе микропроцессора ESP32

Благодаря высокой производительности данного микропроцессора возможна реализация по обработке первичных сигналов от датчиков на уровне самого устройства. При использовании алгоритмов на базе контейнеров в C++ возможно достичь не только более высокой производительности, но и обеспечить обработку данных от большого массива данных с различных датчиков. В данном случае контроллер на базе ESP32 выступает как хаб для IIoT-

устройств. Преимуществом данной реализации являются упрощение и удешевление ПОТ-устройств на уровне датчиков, так как вычислительная мощность будет располагаться на хаб-бах. Однако централизация на данные узлы может привести к той же проблеме, что и с перегрузкой облачных серверов. Таким образом, данный подход подходит для локальных решений с относительно небольшим количеством ПОТ-устройств (до 100 устройств).

В случае когда речь идет о большем количестве устройств, необходимо применять подход распределения вычислений по самим ПОТ-устройствам. Благодаря тому что микропроцессор ESP32 является многоядерным, присутствует возможность реализации многопоточного программирования. Несмотря на то, что в линейке микропроцессоров ESP32 присутствуют и четырёхъядерные процессоры, для реализации данной концепции целесообразнее использовать двухъядерную, чтобы избежать простоя свободных потоков. В данной реализации происходит деление на 2 потока: алгоритмический поток и поток обработки данных.

Алгоритмический поток отвечает за выполнение основного функционала ПОТ-устройства, включая обработку сигналов, поступающих от связанных с ним датчиков. В нем выполняется основной код программы и вызываются функции, описывающие работу устройства.

Поток обработки данных является вспомогательным расчётным потоком, на который при необходимости могут быть перекинута расчеты со смежных ПОТ-устройств.

При необходимости реализации сложных алгоритмов обработки можно применить гибридный подход, когда за регулирование задач назначается ответственное master-устройство, отвечающее за равномерное распределение обрабатываемых данных между всеми ПОТ-устройствами. Master-устройство дробит алгоритм на отдельные функциональные задачи и связанные с ней обрабатываемые данные и распределяет их по остальным ПОТ-устройствам. Каждое устройство, получив свою расчётную функцию и требуемые данные, обрабатывает их и возвращает результат анализа в master-устройство. Фактически каждое ПОТ-устройство, на базе которого реализована данная концепция, является отдельным ядром системы, что делает сеть ПОТ-устройств многоядерной вычислительной системой.

При росте количества устройств в данной системе будет расти и вычислительная способность данной сети, таким образом решается вопрос нагрузки на централизованные системы обработки данных.

Вторым преимуществом является разгрузка трафика для обмена данными с ЦОД и облачными серверами. Вся обработка данных и формирование управляющих команд происходят локально в самой сети ПОТ-устройств. При данной реализации на уровень серверов отправляются только важные данные о критических неисправностях или сбоях в показаниях устройств, а также статистические данные для верхнеуровневой аналитики системы в целом.

Третьим преимуществом данной реализации является повышение скорости реакции на события. Так как сырые данные больше не передаются через всю сеть до верхнего уровня, где расположены сервера, а обрабатываются локально в самой системе ПОТ-устройств, скорость обмена команд может достигать нескольких миллисекунд, что является необходимым требованием при реализации систем мониторинга в критически важных системах промышленности.

Благодаря многопоточности данной системы становится еще более актуальным внедрение нейронных сетей как центрального алгоритма анализа и принятия решений. Если каждое отдельное устройство способно нести в себе только ограниченную предобученную модель, то в распределенной системе нейронная сеть может быть развернута в полном функционале, с возможностью самоанализа и корректировки собственных логических связей, что приводит к повышению устойчивости как самой системы, так и к легкой ее адаптации к последующему расширению и модификациям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря удорожание конечных систем обработки и передачи данных при внедрении граничных вычислений, распределение вычислительной нагрузки на уровне ПОТ-устройств, в том числе и на базе микропроцессора ESP32, позволит существенно снизить нагрузку не только на вычислительные мощности облачных серверов, но и на трафик в сетях передачи данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. State of IoT 2024: Number of connected IoT devices growing 13% to 18.8 billion globally [Electronic resource] // IoT Analytics. 2024. URL: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/> (accessed: 28.12.2024).
2. The top 6 edge AI trends—as showcased at Embedded World 2024 [Electronic resource] // IoT Analytics. 2024. URL: <https://iot-analytics.com/top-6-edge-ai-trends-as-showcased-at-embedded-world-2024/> (accessed: 26.12.2024).
3. Lu S. et al. Edge Computing on IoT for Machine Signal Processing and Fault Diagnosis: A Review // IEEE Internet Things J. 2023. Vol. 10. № 13. P. 11093–11116.

ОБ АВТОРАХ

Иванов Антон Алексеевич, аспирант кафедры ТС.

METADATA

Title: Using edge computing to reduce traffic in IIoT device networks

Author: A.A. Ivanov¹

Affiliation:

¹ Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

Email: ¹ ivanov.aa@ugatu.su

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 1 (32), pp. 37-41, 2025. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The paper provides an overview of the application of edge computing in industrial Internet of Things (IIoT) device networks, the advantages and disadvantages of this approach, and development prospects. An example of a possible implementation of this approach is given using the ESP32 microcontroller as an example.

Keywords: Edge Computing, IIoT devices, Industry 4.0.

About authors:

Ivanov Anton Alekseevich, graduate student, Dept. of TELECOMMUNICATION SYSTEMS (UUST).