

Саитов Данил Раилевич, бакалавр
Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Аннотация. Рассматривается применение периферийных вычислений в промышленных системах автоматизации. Описана распределенная архитектура обработки данных, включающая датчики, локальные вычислительные узлы и облачную инфраструктуру. Проанализированы преимущества обработки данных ближе к источнику, ограничения подхода и вопросы надежности и информационной безопасности.

Ключевые слова: Периферийных вычислений (Edge Computing), промышленная автоматизация, промышленный Интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT), задержка, обработка данных, надежность.

Введение

Рост числа промышленных датчиков и подключенных устройств увеличивает объем данных, которые необходимо обрабатывать в режиме, близком к реальному времени. Передача всех измерений в удаленный центр может создавать сетевую нагрузку и задержку реакции. Поэтому в промышленной автоматизации применяется распределенная модель, при которой часть вычислений переносится на периферийные узлы.

ETSI характеризует Multi-access Edge Computing как предоставление вычислительных возможностей на периферии сети, рядом с источником данных, с акцентом на низкую задержку и высокую пропускную способность [1]. В промышленной среде тот же принцип может реализовываться локальным промышленным компьютером или шлюзом.

Распределенная архитектура

Типовая архитектура состоит из трех уровней. Нижний уровень включает датчики, исполнительные механизмы, контроллеры и оборудование. Средний уровень представляет периферийные вычислительные узлы, выполняющие фильтрацию, расчет признаков, обнаружение аномалий и локальный мониторинг. Верхний уровень включает корпоративные и облачные системы для хранения, обучения моделей и сводного анализа.

Такое разделение позволяет не передавать в облако каждый необработанный сигнал. Вибрационный датчик может формировать тысячи измерений в секунду, тогда как периферийный вычислительный узел способен вычислить спектральные признаки и отправить только агрегированные данные и события.

Важным свойством архитектуры является автономность. При временной потере связи с центральным сервером локальный узел может продолжать выполнение заранее заданных функций, а после восстановления соединения синхронизировать накопленные данные.

Задачи для периферийной обработки

Наиболее очевидная группа задач связана с обнаружением аномалий. Edge-узел получает поток измерений и сравнивает его с допустимыми диапазонами или моделью нормального состояния. При отклонении формируется событие с минимальной задержкой.

Вторая группа – машинное зрение. Изображение содержит большой объем данных, однако для управления процессом часто нужен только результат классификации: наличие дефекта, положение детали или обнаружение объекта. Выполнение модели на периферии позволяет не передавать весь видеопоток на удаленный сервер.

Третья группа – контроль технического состояния оборудования. Исследования NIST показывают практическую ценность обработки сенсорных данных для диагностики станков и оценки состояния инструмента [2, 3]. Локальная обработка особенно полезна, когда решение требуется непосредственно во время технологической операции.



Преимущества и ограничения

Главным преимуществом периферийных вычислений (Edge Computing) является уменьшение задержки между событием и реакцией. ETSI относит низкую задержку и близость вычислительного ресурса к источнику данных к характерным свойствам периферийной вычислительной среды [1]. Для промышленной автоматизации это важно при машинном зрении, диагностике и локальной оптимизации.

Второе преимущество – сокращение сетевого трафика. На периферии можно фильтровать и агрегировать данные. Третье – устойчивость к нестабильному соединению с внешней инфраструктурой.

Одновременно возрастает количество вычислительных узлов, которые нужно обслуживать и защищать. Возникают вопросы резервирования, обновления, синхронизации времени и управления конфигурациями. Поэтому рациональна гибридная модель: критические операции выполняются локально, а обучение моделей и долговременная аналитика – на серверном уровне.

Информационная безопасность

Промышленный периферийный вычислительный узел является частью информационной инфраструктуры и одновременно связан с технологическим оборудованием. NIST отмечает, что производственные системы сталкиваются с киберугрозами, а защита должна включать аутентификацию, контроль целостности, управление изменениями и другие меры [4].

Для edge-архитектуры целесообразны сегментация сети, минимально необходимые права доступа, защищенное хранение учетных данных, контроль целостности программ и централизованный учет событий. Обновления должны выполняться по регламенту с учетом непрерывности производства.

Следует контролировать доверие между периферийным и центральным уровнями. Центральная система должна иметь возможность проверять конфигурацию edge-узла и результаты его работы, что снижает риск неконтролируемых изменений.

Критерии выбора решения на основе периферийных вычислений

Перед внедрением необходимо определить, действительно ли задача требует периферийной обработки. Полезно оценить допустимую задержку, объем исходных данных, требования к автономности и стоимость оборудования.

Если объем данных мал и жестких требований к времени реакции нет, перенос вычислений на edge может оказаться неоправданным. Напротив, для видеопотоков, высокочастотной вибрации и локальных контуров управления преимущества очевидны.

Пилотный проект следует начинать с одного участка. На нем измеряются задержка, объем передаваемых данных, загрузка оборудования, число ложных срабатываний и устойчивость при потере связи.

Заключение

периферийных вычислений (Edge Computing) формирует распределенную основу промышленной автоматизации, приближая обработку данных к месту их возникновения. Это позволяет уменьшить задержку, снизить сетевую нагрузку и сохранить часть функций при временной недоступности центральной инфраструктуры.

Наиболее эффективна гибридная архитектура: периферийные вычислительные узлы отвечают за быстрые локальные операции, а серверная часть – за накопление, обучение моделей и стратегический анализ. Успех внедрения определяется также надежностью, кибербезопасностью и управляемостью распределенной инфраструктуры



Список литературы:

1. ETSI. ISG MEC: Multi-access Edge Computing. – European Telecommunications Standards Institute, 2026.
2. Ferguson M.K., Law K.H., Bhinge R., Park J., Lee Y.-T. A Data Processing Pipeline for Prediction of Milling Machine Tool Condition from Raw Sensor Data // The ASTM Journal of Smart and Sustainable Manufacturing. – 2018. – Vol. 2, No. 1.
3. Ferguson M., Law K., Bhinge R., Lee Y.-T. A Generalized Method for Featurization of Manufacturing Signals, with Application to Tool Condition Monitoring // Proceedings of IDETC2017. – Cleveland, 2017.
4. Powell M., Pease M., Stouffer K. et al. Protecting Information and System Integrity in Industrial Control System Environments: Cybersecurity for the Manufacturing Sector. NIST SP 1800-10. – NIST, 2022.
5. Liang F., Yu W., Lu X., Griffith D.W., Golmie N.T. Towards Edge-Based Deep Learning in Industrial Internet of Things. – NIST, 2020

