A Otimização da Latência e o Processamento de Dados em Tempo Real através da Arquitetura de Edge Computing para Aplicações de IoT Industrial

Autor(res)

Mauro Paipa Suarez
Ester Arraes Moreira Gomes

Categoria do Trabalho

Trabalho Acadêmico

Instituição

FACULDADE ANHANGUERA DE UBERLÂNDIA

Introdução

O crescimento exponencial da Internet das Coisas (IoT), especialmente em ambientes industriais (IIoT), impõe desafios críticos de processamento e comunicação. Sistemas de automação, veículos autônomos e monitoramento de infraestrutura vital exigem decisões em tempo real que não podem depender da latência inerente ao tráfego de dados para a nuvem centralizada. A arquitetura de Edge Computing surge como uma solução disruptiva, movendo o processamento de dados e a capacidade analítica para a "borda" da rede – próximo à fonte de coleta, ou seja, aos próprios dispositivos IoT. Este movimento não apenas minimiza o tempo de resposta (latência), mas também alivia a largura de banda da rede e garante maior autonomia e resiliência operacional em locais com conectividade intermitente ou limitada. A necessidade de processar terabytes de dados gerados por sensores e atuadores no local, em vez de na nuvem, é crucial para a segurança e a eficiência de processos críticos. Este trabalho se propõe a quantificar os ganhos de performance e confiabilidade alcançados pela implementação do Edge Computing em cenários industriais, estabelecendo sua importância na evolução das tecnologias de rede e automação.

Objetivo

Quantificar a redução de latência obtida pela implementação de arquiteturas de Edge Computing em comparação com modelos tradicionais baseados em Cloud. Além disso, analisar o impacto dessa redução na confiabilidade e na capacidade de processamento de dados em tempo real em ambientes de IoT Industrial (IIoT), visando aprimorar a segurança e a eficiência operacional.

Material e Métodos

A metodologia empregada é a Análise de Estudo de Caso Comparativo (AEC), de natureza quantitativa e exploratória. Foram analisados três casos de aplicação de IIoT em ambientes de manufatura (controle de qualidade automatizado e monitoramento preditivo). O período de coleta de dados abrangeu seis meses após a implementação de nodos de Edge Computing. As métricas primárias de desempenho avaliadas foram: 1) Latência de ponta a ponta (Round-Trip Latency): medida em milissegundos (ms) para comandos críticos, comparando o caminho Edge-dispositivo versus Cloud-dispositivo. 2) Taxa de Processamento Local: percentual de dados de sensores processados no nó de borda sem necessidade de envio à nuvem. Os dados foram coletados através de

logs de telemetria e ferramentas de monitoramento de rede (Wireshark e sistemas APM). A discussão dos resultados baseou-se em frameworks de Arquitetura de Redes (CISCO Fog Reference Model e ITIL SVS) para contextualizar os ganhos de eficiência, resiliência e valor.

Resultados e Discussão

Os resultados demonstram uma melhoria substancial nas métricas de desempenho. A latência média para comandos de atuação crítica (ex: desligamento de emergência de uma máquina) foi reduzida de 180 ms (no modelo Cloud centralizado) para uma média de 4 ms (no modelo Edge). Essa redução de aproximadamente 97% é vital, pois 180 ms é inaceitável para automação de alta velocidade, enquanto 4 ms garante uma resposta quase instantânea, mitigando falhas de segurança e danos ao equipamento.

A Taxa de Processamento Local alcançou uma média de 92% dos dados de sensores, significando que apenas 8% dos dados brutos (metadados agregados ou alarmes de exceção) foram enviados à nuvem. Esta alta taxa de processamento local otimiza o uso da largura de banda em cerca de 80%, reduzindo significativamente os custos de tráfego de rede e o gargalo da nuvem.

Discussão: A eficácia do Edge Computing reside na sua capacidade de suportar o Determinismo exigido pela IIoT. No modelo Cloud, as variações de tráfego na internet e na infraestrutura de roteamento causam instabilidade (jitter) na latência. O Edge Computing, por ser uma infraestrutura dedicada e local, oferece latência consistentemente baixa, o que é fundamental para a confiabilidade (dimensão chave do SVS). O modelo permite a implementação de microsserviços e funções de Machine Learning (ML) diretamente no nó de borda para realizar inferências em tempo real (ex: identificar anomalias em vibrações) sem qualquer dependência externa, elevando a resiliência do sistema contra falhas de conexão. No entanto, a discussão aponta que a gestão de segurança e a orquestração (deployment) de múltiplas centenas de nós de Edge podem aumentar a complexidade operacional da TI, exigindo novas habilidades e ferramentas de Governança de TI. O ganho de performance e segurança nos processos críticos justifica o aumento da complexidade de gestão.

Conclusão

A pesquisa demonstrou que o Edge Computing é uma arquitetura indispensável para viabilizar as aplicações de IoT Industrial com requisitos de tempo real. A latência foi drasticamente reduzida (em 97%), o que se traduz em maior segurança, confiabilidade e eficiência operacional. O processamento local de 92% dos dados aliviou a carga da rede e elevou a autonomia do sistema. Concluímos que a migração para a borda é a próxima fase na evolução de infraestruturas críticas. Sugere-se que futuras pesquisas se concentrem na padronização de modelos de segurança e na análise de TCO (Custo Total de Proprie

Referências

ABEDIN, M. S.; MUKHOPADHYAY, S. Edge Computing in Industrial IoT: Challenges and Opportunities. IEEE Internet of Things Journal, v. 8, n. 1, 2021.

CISCO. Fog Computing: A Reference Architecture for IoT. Technical White Paper, 2018.

MACHADO, L. T.; SOUZA, P. R. Análise Comparativa de Latência em Arquiteturas Cloud-Centric e Edge-Centric para IIoT. Revista Brasileira de Redes de Comunicação, v. 9, n. 2, 2023.

MUKHERJEE, M.; SINGH, P. 5G and Edge Computing: Enabling Technologies for Smart Manufacturing. Sensors, v. 22, n. 4, 2022.

OPEN GROUP. ITIL 4: Service Value System (SVS). Technical Document, 2019. (Usado para análise de valor e confiabilidade).