

3.05.05 - Engenharia Mecânica / Processos de Fabricação

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DIGITAL TWIN PARA O CENTRO DE USINAGEM HAAS MINI MILL

João Vítor A. Cabral¹ *, Efrain A. R. Gasca², Alberto J. Álvares³

1. Estudante de Engenharia Mecatrônica, membro do GIAI do laboratório GRACO da Universidade de Brasília (FT-UnB)
2. Pesquisador doutorando da Faculdade de Tecnologia da UnB
3. Professor da FT-UnB - Departamento de Engenharia Mecânica/Orientador

Resumo

No contexto da indústria 4.0, os Digital Twins são ferramentas essenciais para o monitoramento de processos de manufatura. Através da criação de modelos virtuais do maquinário existente no chão de fábrica, as pessoas podem observar muitos aspectos da produção em tempo real mesmo se elas estão distantes das máquinas que estão funcionando.

A rede de conexão entre os elementos de campo de produção e computadores que são aptos a se comunicar com eles, juntamente com protocolos de transferência de dados e interfaceamento homem-máquina, possibilita a manutenção preditiva e a análise do ciclo de vida de ferramentas e produtos através de Inteligência Artificial e outros métodos estatísticos.

Neste projeto, um modelo Digital Twin de uma fresadora Haas Mini Mill 40-Taper será criado usando os protocolos de comunicação MQTT e MTConnect, sendo sua arquitetura baseada no framework descrito pela norma ISO 23247 de Digital Twins para a manufatura.

Palavras-chave: Indústria 4.0; ISO 23247; Internet das Coisas.

Apoio financeiro: Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal – FAPDF.

Trabalho selecionado para a JNIC: Programa de Iniciação Científica – ProIC UnB.

Introdução

Recentemente, tecnologias disruptivas como Internet das Coisas (IoT - Internet of Things), Inteligência Artificial (AI - Artificial Intelligence), Computação na Nuvem (Cloud Computing) e Dados Massivos (Big Data) têm irrompido no campo da manufatura para propiciar uma nova revolução industrial, referida como Indústria 4.0 [1] – [3]. Um dos propósitos da Indústria 4.0 é transformar os sistemas de produção industrializados atuais em direção a uma nova geração de sistemas de produção baseados em sistemas ciber-físicos (CPPS - Cyber-Physical Production Systems) [4], [5]. Os CPPS constituem a materialização dos sistemas ciber-físicos (CPS - Cyber-Physical Systems) no ambiente de manufatura; eles são caracterizados pela integração de máquinas-ferramenta, processos de manufatura e tecnologia de redes, onde os processos e operações de produção podem ser monitorados e controlados desde espaços computacionais ao mesmo tempo que criam ciclos de retroalimentação para afetar as computações e vice-versa [6].

À luz da Indústria 4.0, os sistemas de produção suportados por CPPS, podem fazer tomada de decisão por através de comunicação e cooperação em tempo real entre "coisas de manufatura". Dessa maneira, as empresas têm novas possibilidades para sortear efetivamente os desafios advindos do novo panorama industrial caracterizado por um mercado altamente globalizado, dinâmico e heterogêneo. Assim, por exemplo, a produção sob demanda de produtos altamente personalizados pode ser alcançada de maneira rentável, sustentável e custo-eficiente através de atividades de manufatura orientadas a serviço e a disposição de recursos de manufatura em plataformas na nuvem [7],[8].

Neste trabalho será exposta uma implementação de arquitetura Digital Twin baseada na recente ISO 23247 [9]-[12] com a definição de serviços e interfaces de transmissão de informações entre domínios e suas devidas aplicações. Dessa forma, o DT desenvolvido tem como o objetivo a obtenção de dados de uma máquina-ferramenta real, no caso a Haas Mini Mill, que permita o monitoramento em tempo real da movimentação da máquina assim como a visualização de seus parâmetros em um dashboard obtidos de seus sensores; caracterizando assim uma interface homem-máquina de supervisionamento de parâmetros.

Metodologia

A proposta de arquitetura de DT para o Centro de Usinagem modelo MiniMill Haas é baseada na Norma ISO 23247 [9]-[12], que descreve a divisão de arquitetura Digital Twin em 4 domínios: o OME ou Elemento de Manufatura Observável, o DCDCE ou Entidade de Coleta de Dados e Controle de Dispositivos, a Entidade Digital Twin e a Entidade de Usuário Digital Twin.

OME - Correspondente ao elemento de manufatura efetivamente monitorado pelo DT, a fresadora Haas Mini Mill. A comunicação com a máquina se dá através de um cabo do padrão RS-232, e um adaptador permite conectá-lo a entradas do tipo USB. A máquina Haas se comunica com a entidade de coleta de dados enviando informações através de comandos obtidos de um microcomputador que é o único dispositivo do segundo domínio. Os comandos mencionados correspondem aos Q-commands, que formam um protocolo de obtenção de dados

desenvolvido pela Haas e que facilita o desenvolvimento de todo este projeto.

DCDCE – Um microcomputador Raspberry Pi 2 é fixado ao lado da máquina Haas Mini Mill de forma a obter dados constantemente quando esta está ligada. A troca de mensagens se dá por meio de um adaptador programado com base no protocolo de comunicação serial, transmitido para a máquina ao longo de um cabo serial RS-232 DB-9/USB. O módulo de comunicação serial incluso no adaptador programado possui uma rotina de envio de comandos "Q" que se repete em um determinado período de tempo. Dentro do escopo da aplicação baseada no protocolo MQTT, é possível transmitir esses dados para um subscriber local através de um broker TCP/IP, deste subscriber parte o upload das informações atuais do estado da máquina para um banco de dados na nuvem, armazenando o histórico dos parâmetros medidos. No caso da implementação MTConnect, o adaptador no DCDCE se conecta a um agente local no mesmo dispositivo para o armazenamento dos parâmetros instantâneos, essa conexão se dá através do protocolo TCP/IP em uma arquitetura cliente/servidor.

Entidade DT – Este domínio parte de um modelo de estruturação das variáveis coletadas a partir da máquina real. Os dados que alimentarão a entidade DT podem partir da nuvem, neste caso o serviço escolhido para tal é o Cloudant da IBM Cloud que é a estrutura fundamental que habilita toda a troca de informações dos serviços hospedados na nuvem deste projeto. Não obstante, a comunicação através da rede local pelo protocolo MQTT também está presente como base dos serviços oferecidos localmente ao usuário do sistema de monitoramento.

Entidade de Usuário DT – Por fim, essa entidade corresponde especificamente ao modelo de visualização do interfaceamento homem-máquina construído em cima do framework Node-RED, sendo assim caracterizado pelo dashboard que pode ser visto tanto localmente quanto na nuvem.

Na Figura 1 abaixo, é possível observar a representação gráfica da arquitetura DT idealizada, de acordo com os domínios previstos na norma ISO 23247:

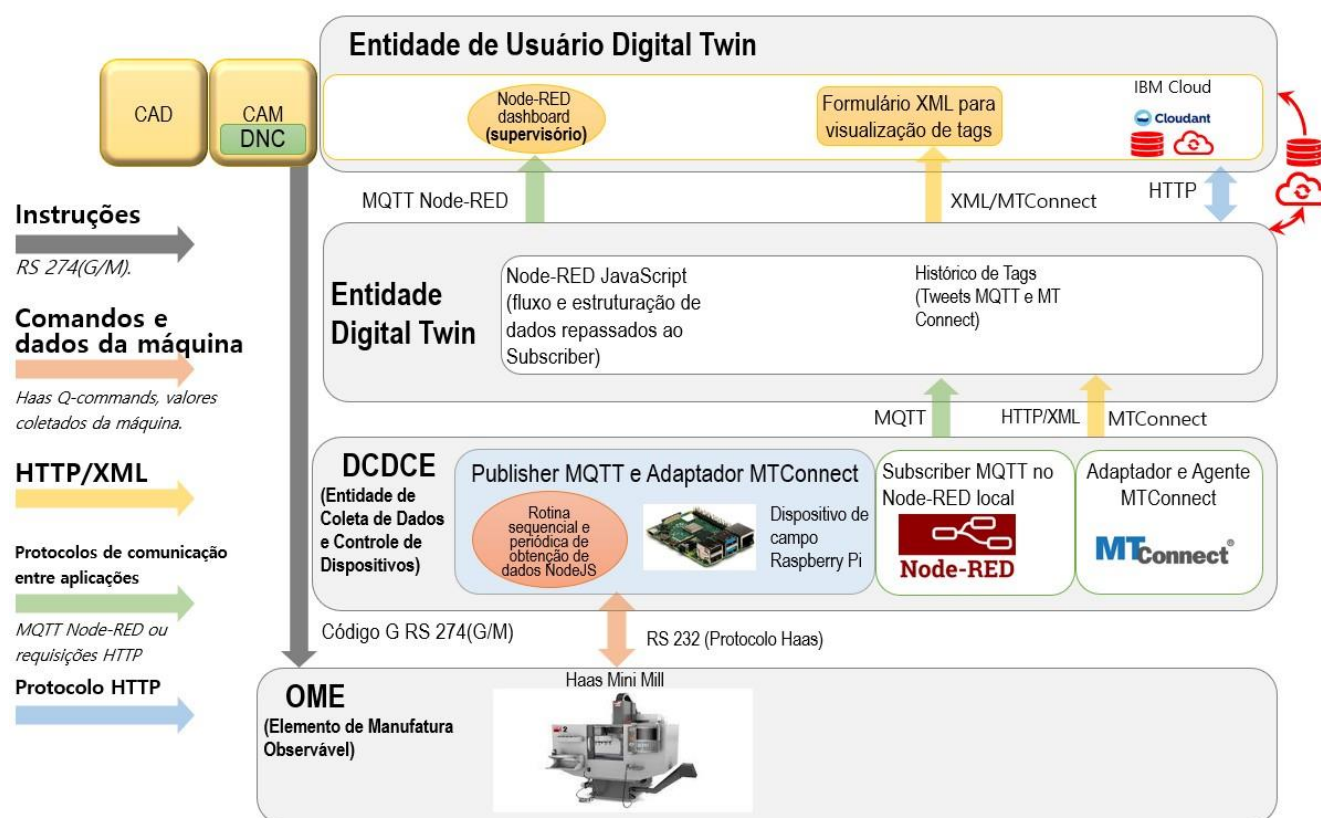


Figura 1: arquitetura DT de acordo com os domínios da norma ISO 23247.

Resultados e Discussão

Cada um dos módulos que compõem as aplicações MQTT e MTConnect foram testados separadamente e também em conjunto, permitindo observar o fluxo de dados ocorrendo desde o recebimento dos dados do OME pelo DCDCE até a visualização na nuvem pelo dashboard implementado. Diferentemente do trabalho realizado por Kubota et al. [13], uma estrutura de banco de dados NoSQL foi elaborada para organizar os dados coletados na aplicação em nuvem utilizando-se o IBM Cloudant.

Nos testes realizados o sistema ficou operacional por horas seguidas sem aparecer falhas de comunicação entre os domínios ou de dados corrompidos, os únicos erros que ocorreram são referentes à conectividade com a nuvem IBM que às vezes falhava e os dados não eram enviados para o database IBM Cloudant.

O cliente MTConnect é apenas a visualização que o agente disponibiliza para os dados coletados da máquina. Nessa view, as variáveis estão organizadas em tags com a sua respectiva descrição e momento de envio da informação pelo adaptador, se trata de uma visualização simples que apenas mostra os dados

momentâneos coletados da Haas. Essas tags são organizadas de acordo com o arquivo de dispositivos encontrado na configuração do agente para display do formulário XML. Um exemplo de aplicação MTConnect mais avançada é apresentada por C. Liu et al. [14] no qual esse protocolo é utilizado para embasar um servidor central para organização de dados OPC UA; entretanto no trabalho presente aqui optou-se por focar na aplicação MQTT, que de uma forma geral costuma ser um protocolo mais utilizado em aplicações de IoT.

Diferentemente da comunicação UDP amplamente utilizada no projeto elaborado por R. Rolle et al. [15], a comunicação publisher com o broker MQTT, e do Broker MQTT para os subscribers estruturada neste trabalho é feita com base nos protocolos de rede TCP/IP, que permitem uma comunicação mais segura no geral com a confirmação do recebimento de pacotes entre seus pares. Dessa forma, após a coleta de dados pelo adaptador descrito anteriormente, há a separação dessas informações em tópicos pelo publisher, que serão transmitidas para o subscriber Node-RED através de um broker implementado através do protocolo TCP/IP.

De acordo com as especificações encontradas na seção de metodologia na Entidade DT, há dois dashboards que possuem visualizações semelhantes, um hospedado na nuvem IBM Cloud com base em um banco de dados IBM Cloudant e outro local que recebe as mensagens através de um subscriber MQTT diretamente. Ambas as visualizações são atualizadas aproximadamente em tempo real conforme os dados obtidos da fresadora Haas com um delay máximo no pior caso observado em torno de 1 segundo no caso da view local e 3 segundos para a view na nuvem. Isso se dá devido ao atraso de propagação e interfaceamento dos dados e variabilidade na velocidade de conexão com a internet, fora as limitações presentes ao uso da IBM Cloud e também à taxa de coleta de dados máxima fixada em 500 milissegundos por limitações de hardware presentes na fresadora Haas e no Raspberry Pi 2.

Conclui-se que a implementação com base no protocolo MQTT ficou mais avançada possuindo um dashboard gráfico de monitoramento. Isso se deu pelo fato de que no momento há mais frameworks e facilidades de hospedagem para aplicações que se baseiam em MQTT quando comparados às respectivas funcionalidades disponíveis para o protocolo MTConnect.

Na Figura 2 abaixo é possível observar a implementação da entidade de usuário Digital Twin realizada através do dashboard Node-RED com base no protocolo de comunicação de mensagens MQTT:

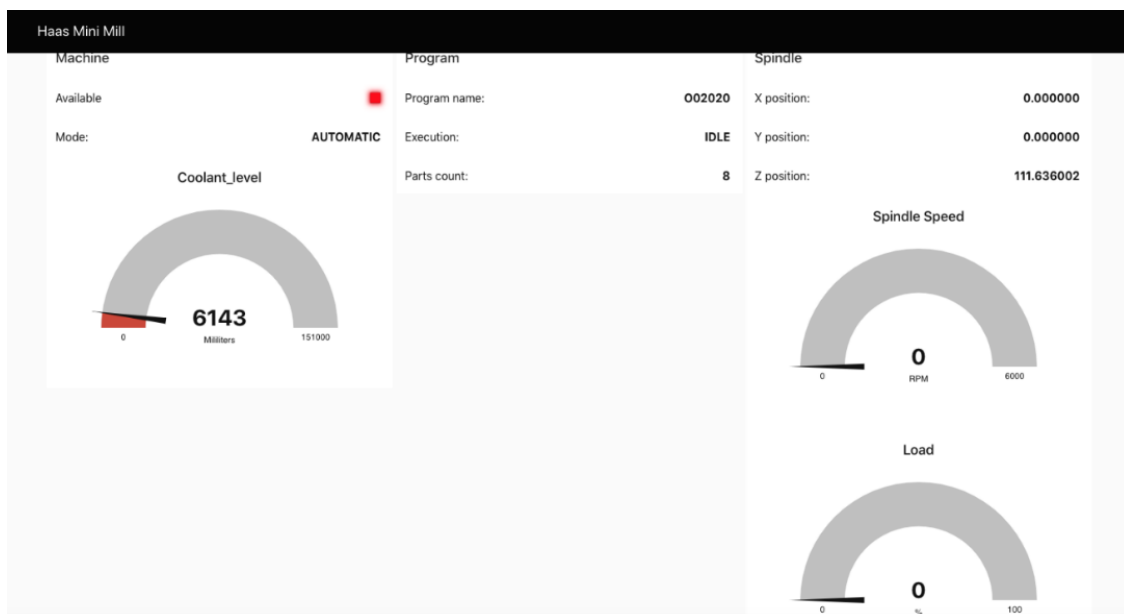


Figura 2: Dashboard Node-RED de visualização de dados coletados hospedado na nuvem IBM Cloud.

Conclusões

A obtenção de dados da máquina Haas Mini Mill se deu com sucesso, demonstrando um cumprimento com a norma ISO 23247 em relação aos domínios OME e DCDCE. Ademais, as aplicações MTConnect e MQTT baseadas nos protocolos da internet HTTP e TCP/IP mostraram-se eficazes na realização da comunicação e transmissão de dados através dos domínios da arquitetura Digital Twin proposta. Os serviços e aplicativos pertencentes a cada domínio foram essenciais para o oferecimento desses mesmos recursos pelos domínios subsequentes conforme a arquitetura DT idealizada.

Alguns dos problemas enfrentados ao longo do desenvolvimento deste projeto, além da restrição de acesso ao laboratório e de recursos da universidade por conta do contexto da pandemia do Coronavírus, foram a correta calibragem dos protocolos de comunicação com a máquina CNC e sincronização do canal de troca de mensagens. De fato, no início do projeto muita informação era perdida ou corrompida na execução do módulo adaptador.

Uma ambição futura é a ampliação deste projeto para a predição de falhas da máquina-ferramenta e aperfeiçoamento do seu ciclo de vida. Isso se daria através da aplicação de inteligência artificial para interpretar o histórico de dados coletado com o objetivo de facilitar a manutenção preditiva e tomada de decisão em relação

aos modos de operação da máquina. Afinal, além de caracterizarem objetivos da implementação de DTs, essas otimizações também apresentam uma utilidade real para os dados coletados e visualizados da máquina-ferramenta.

Outra implementação que se pensa em adicionar ao projeto futuramente é a simulação 3D da movimentação da máquina em tempo real, sendo disponibilizado um host online da aplicação de simulação 3D em React JS. Dessa forma, qualquer pessoa de qualquer lugar do mundo além do dashboard, teria acesso à visualização da movimentação da máquina em tempo real. É certo que a calibragem do delay e travamento dos movimentos seria algo complexo de se lidar na simulação, ainda mais em uma hospedagem em nuvem. Para se obter fluidez na movimentação, seria necessário adicionar um buffer com interpolação dos movimentos coletados da máquina para que a simulação se mova com naturalidade.

Por fim salienta-se que o presente projeto demonstra uma aplicação com relevância em relação ao estado da arte da Indústria 4.0 por apresentar conformidade com as normatizações recém-criadas para o desenvolvimento de arquiteturas Digital Twin. Com toda certeza a visualização pela interface do dashboard facilita a leitura e entendimento do estado momentâneo da máquina e seus parâmetros de operação pelos supervisores de processos de manufatura em um chão de fábrica.

Referências bibliográficas

- [1] R. Y. Zhong, X. Xu, E. Klotz, and S. T. Newman, “**Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review,**” *Engineering*, vol. 3, pp. 616–630, oct 2017.
- [2] L. D. Xu, E. L. Xu, and L. Li, “**Industry 4.0: state of the art and future trends,**” *International Journal of Production Research*, vol. 56, pp. 2941–2962, apr 2018.
- [3] P. Osterrieder, L. Budde, and T. Friedli, “**The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review,**” *International Journal of Production Economics*, vol. 221, p. 107476, mar 2020.
- [4] S. Wang, J. Wan, D. Zhang, D. Li, and C. Zhang, “**Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination,**” *Computer Networks*, vol. 101, pp. 158–168, jun 2016.
- [5] L. Monostori, B. Kádár, T. Bauernhansl, S. Kondoh, S. Kumara, G. Reinhart, O. Sauer, G. Schuh, W. Sihn, and K. Ueda, “**Cyber-physical systems in manufacturing,**” *CIRP Annals*, vol. 65, no. 2, pp. 621–641, 2016.
- [6] X. Xu, “**Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing,**” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 92, pp. 1893–1900, sep 2017.
- [7] Y. Lu and X. Xu, “**Cloud-based manufacturing equipment and big data analytics to enable on-demand manufacturing services,**” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 57, pp. 92–102, jun 2019.
- [8] H. Kagermann, J. Helbig, A. Hellinger, and W. Wahlster, “**Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 - Final report of the Industrie 4.0 Working Group,**” *Forschungsunion-Acatech, national academy of science and engineering*, 2013.
- [9] I. S. I. data, “**Iso 23247-1:2021 automation systems and integration — digital twin framework for manufacturing — part 1: Overview and general principles, stage 60.60, disponível em: <https://www.iso.org/standard/75066.html>. acesso em: 08 nov. 2021,**” 10 2021.
- [10] I. S. I. data, “**Iso 23247-2:2021 automation systems and integration — digital twin framework for manufacturing — part 2: Reference architecture, stage 60.60, disponível em: <https://www.iso.org/standard/78743.html>. acesso em: 08 nov. 2021,**” 10 2021.
- [11] I. S. I. data, “**Iso 23247-3:2021 automation systems and integration — digital twin framework for manufacturing — part 3: Digital representation of manufacturing elements, stage 60.60, disponível em: <https://www.iso.org/standard/78744.html>. acesso em: 08 nov. 2021,**” 10 2021.
- [12] I. S. I. data, “**Iso 23247-4:2021 automation systems and integration — digital twin framework for manufacturing — part 4: Information exchange, stage 60.60, disponível em: <https://www.iso.org/standard/78745.html>. acesso em: 08 nov. 2021,**” 10 2021.
- [13] T. Kubota, R. Hamzeh, and X. Xu, “**Step-nc enabled machine tool digital twin,**” *Procedia CIRP*, vol. 93, pp. 1460–1465, 2020. 53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems 2020.
- [14] C. Liu, H. Vengayil, Y. Lu, and X. Xu, “**A cyber-physical machine tools platform using opc ua and mtconnect,**” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 51, pp. 61–74, 2019.
- [15] R. P. Rolle, V. d. O. Martucci, and E. P. Godoy, “**Architecture for digital twin implementation focusing on industry 4.0,**” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 18, p. 889–898, Apr. 2020.