

DETECÇÃO DA SITUAÇÃO DE MONTAGEM AERONÁUTICA UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA

Orientador: Prof. Dr. Glauco Augusto de Paula Caurin

Local: Laboratório de Mecatrônica
Departamento de Engenharia Mecânica
Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo

São Carlos, 27 de maio de 2019

Resumo

A manufatura de estruturas aeronáuticas difere das aplicações comuns por exigir que as máquinas se movimentem. Robôs são os candidatos ideais para executar a montagem, uma vez que técnicas de interação mecânica e inteligência artificial tem se unido para solucionar novos desafios. Uma das peças importantes do processo são as porcas aeronáuticas, que possuem uma etapa de inserção e outra de rosqueamento, diferentemente das tarefas de inserção comuns. Por ser um processo de maior complexidade, a quantidade de falhas também apresenta-se como um desafio na área. Este projeto propõe a utilização de técnicas de aprendizado de máquina para a avaliação da situação de montagem, tanto do sucesso como a detecção e previsão de falhas. Ao se detectar uma falha, é possível fornecer ao robô uma maior reatividade no processo, garantindo melhores montagens.

Palavras chaves: Deep learning, Manufatura de aeronaves, montagem inteligente.

Justificativa

Montagem de estruturas aeronáuticas demandam aplicações com robôs capazes de alterar seu comportamento ao longo do processo. Isso se dá pela diversidade de formas e dimensões de peças durante a manufatura de aeronaves. Contudo, muitos processos são iguais e apenas repetidos nas diferentes situações. Este é o caso de parafusos aeronáuticos, empregados como peças fundamentais de ligação estrutural de peças em aeronaves.

Dado o volume de peças a serem inseridas, que podem chegar a dezenas de milhares, um fator crucial para a execução bem-sucedida é a capacidade de detectar e reagir às situações de falhas (MATSUNO; HUANG; FUKUDA, 2013; MOREIRA et al., 2018). Para

a montagem correta, são utilizados controladores de interação para permitir que o robô insira a peça com segurança e execute a montagem (LAHR et al., 2017), o que leva a dificuldade para a área da estratégia de montagem a ser empregada, uma vez que é uma tarefa não trivial. Tarefas como inserção de cavilhas em furos são aplicações clássicas de robótica, mas que constituem um ramo bastante explorado (TAKAHASHI; FUKUKAWA; FUKUDA, 2016; INOUE et al., 2017; XU et al., 2019). Enquanto que o rosqueamento de porcas nos parafusos é uma tarefa que exige uma etapa a mais do que a inserção, no caso, o giro da peça de maneira a garantir a satisfazer as restrições geométricas (MATSUNO; HUANG; FUKUDA, 2013; JIA et al., 2018).

Propõe-se com este trabalho a implementação de técnicas aprendizado de máquina para a previsão e detecção da situação de montagem em parafusos aeronáuticos. A previsão de falhas ajuda na reação para evitar problemas, enquanto que a detecção é necessária para definir se a porca foi montada corretamente. Serão implementadas técnicas clássicas de aprendizado de máquina, como *Random Forests* e *Support Vector Machines*, além de técnica de aprendizado profundo, especificamente, *Long-Short Term Memory*.

Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é propor técnicas de previsão de falha e detecção de montagem em tempo real de execução, permitindo um acréscimo na reatividade da tarefa em face de possíveis problemas.

Fazem parte os objetivos específicos, mas limitados: preparação do conjunto de dados de montagem de real, extração de características dos sinais temporais e análise dos algoritmos; obtenção de dados de tarefa de montagem em diferentes geometrias; preparação e proposta de algoritmos para tempo real de montagem.

Materiais e Métodos

Os experimentos de montagens serão realizados com o robô Kuka KR16, que está acoplado a um sensor de forças e torques de três eixos da ponta do manipulador. Os dados adquiridos deverão passar por um pré-processamento, com o objetivo de balancear a porcentagem de cada um dos casos de classificação de montagem. Isso é necessário pois os algoritmos de classificação podem ser enviesados pela relação desbalanceada entre as classes.

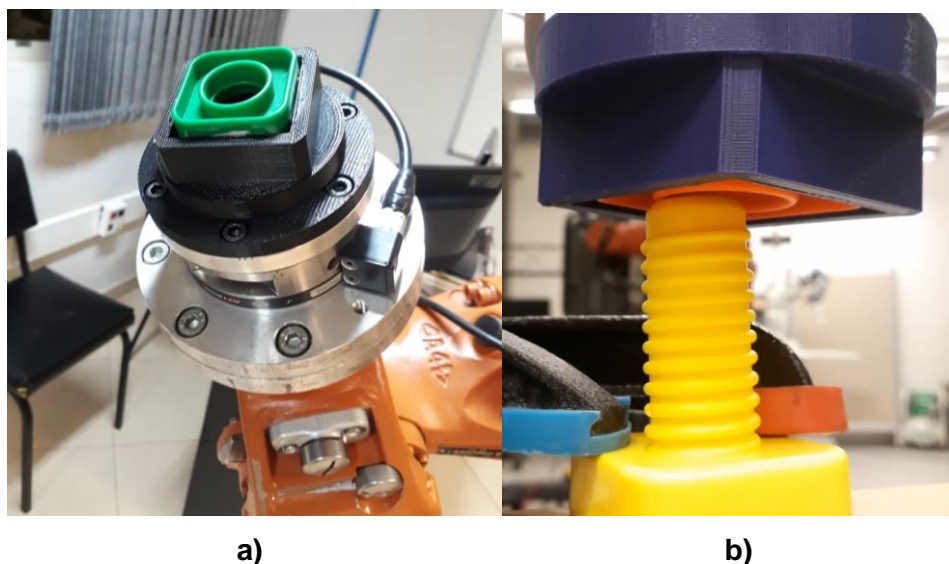


Figura 1. a) Robô com porca montada no efetuator; b) situação de montagem de porca no parafuso para análise

Além do balanceamento de dados, será realizada a extração de características temporais e na frequência do sinal de montagem, uma vez que isso pode aumentar a quantidade de informação que caracterize uma situação montada ou de falha. Os dados comuns são constituídos pelos dados de posição da cinemática direta do robô, em conjunto com os dados de força e torque advindos do sensor de força.

Para a identificação da montagem dos parafusos aeronáuticos, serão utilizados algoritmos de classificação, incluindo abordagens clássicas como a *Random Forest* e *Support Vector Machines* e redes artificiais como a *Long-Short Term Memory*. Também será feita uma comparação e análise dos resultados com trabalhos anteriores. Para a validação dos dados, propõe-se a implementação em diferentes geometrias, simulando a distribuição de forma e dimensão das peças de estruturas das aeronaves.

Plano de Trabalho e Cronograma

Atividade/Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pesquisa Bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Fase conceitual	X	X	X									
Elaboração de características dos sinais temporais		X	X									
Preparação do ambiente experimental			X	X	X							
Testes iniciais com algoritmos de aprendizado de máquina				X	X	X	X					
Elaboração relatório parcial					X	X						
Refinamento dos algoritmos						X	X	X				
Proposta de algoritmos de previsão e detecção em tempo real							X	X	x	x		
Análise dos resultados finais e proposta do modelo									X	X	x	
Elaboração relatório final										X	X	X

Resultados

Este trabalho propõe a implementação de técnicas de aprendizado de máquina para detecção e previsão de montagem e situações de falha em estruturas aeronáuticas. É esperado que o tempo de montagem de uma sequência de porcas diminua conforme uma montagem irregular ou falha seja detectada, permitindo uma reação por parte do robô.

Espera-se também que uma análise comparativa dos algoritmos auxiliará no direcionamento de trabalhos futuros para a área de rosqueamento. Resultados anteriores mostraram que a utilização de redes profundas convolucionais são boas candidatas, mas apresentaram resultados inconclusivos para classificar os casos de montagem.

Outra saída do estudo é a estratégia de detecção e reação frente às situações de montagem, para que o sistema seja capaz de integrar o conhecimento com os conjuntos de dados obtidos e os algoritmos de análise.

Referências Bibliográficas

- INOUE, T.; DE MAGISTRIS, G.; MUNAWAR, A.; YOKOYA, T.; TACHIBANA, R. Deep reinforcement learning for high precision assembly tasks. In: 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), **Anais...IEEE**, set. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8202244/>>.
- JIA, Z.; BHATIA, A.; ARONSON, R. M.; BOURNE, D.; MASON, M. T. A Survey of Automated Threaded Fastening. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, p. 1–12, 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8392410/>>. Acesso em: 28 jul. 2018.
- LAHR, G. J. G.; GARCIA, H. B.; SAVAZZI, J. O.; MORETTI, C. B.; AROCA, R. V.; PEDRO, L. M.; BARBOSA, G. F.; CAURIN, G. A. P. Adjustable interaction control using genetic algorithm for enhanced coupled dynamics in tool-part contact. In: 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Vancouver. **Anais... Vancouver: IEEE**, set. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/8205972/>>.
- MATSUNO, T.; HUANG, J.; FUKUDA, T. Fault detection algorithm for external thread fastening by robotic manipulator using linear support vector machine classifier. In: Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, c, Karlsruhe. **Anais... Karlsruhe: IEEE**, maio 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6631058/>>.
- MOREIRA, G. R.; LAHR, G. J. G.; BOAVENTURA, T.; SAVAZZI, J. O.; CAURIN, G. A. P. Online prediction of threading task failure using Convolutional Neural Networks. In: 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Madrid. **Anais... Madrid: IEEE**, out. 2018. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8594501/>>.
- TAKAHASHI, J.; FUKUKAWA, T.; FUKUDA, T. Passive Alignment Principle for Robotic Assembly between a Ring and a Shaft with Extremely Narrow Clearance. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, v. 21, n. 1, p. 196–204, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7131560/>>. Acesso em: 22 dez. 2016.
- XU, J.; HOU, Z.; WANG, W.; XU, B.; ZHANG, K.; CHEN, K. Feedback Deep Deterministic Policy Gradient With Fuzzy Reward for Robotic Multiple Peg-in-Hole Assembly Tasks. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 3, p. 1658–1667, mar. 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8454796/>>. Acesso em: 12 fev. 2019.