Controle automatizado de manipulador robótico P-ROB3 para transferência de objetos: uma análise computacional utilizando simulação webots

Vitor Amadeu Souza[1]; 0009-00-02-1857-6799

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
vitor.amadeu@foa.org.br

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise do controle automatizado de um manipulador robótico P-ROB3 implementado em ambiente de simulação Webots para execução de tarefas de manipulação e transferência de objetos. O estudo desenvolveu algoritmos de controle sequencial para coordenação de sete graus de liberdade do robô, incluindo sistema de garra adaptativa. A metodologia baseou-se na programação em linguagem C utilizando as bibliotecas específicas do simulador Webots, com implementação de rotinas de posicionamento angular dos atuadores e controle temporal das operações. Os resultados demonstraram eficácia na execução automática de ciclos completos de manipulação, com o robô realizando com sucesso a tarefa de apreensão, transporte e deposição de objetos cilíndricos em posições predeterminadas. A análise cinemática revelou que o sistema apresenta repetibilidade adequada para aplicações industriais, com precisão posicional compatível com manipuladores comerciais de mesma categoria. O controle implementado mostrou-se robusto para operações cíclicas contínuas, evidenciando potencial para aplicações em linhas de produção automatizadas. As contribuições deste trabalho incluem a validação de estratégias de controle sequencial para manipuladores robóticos de múltiplos graus de liberdade e a demonstração da viabilidade de simulações computacionais para desenvolvimento de algoritmos de automação industrial.

Palavras-chave: Robótica Industrial. Manipulador P-ROB3. Simulação Webots. Controle Automatizado. Transferência de Objetos.

INTRODUÇÃO

A automação robótica representa um dos pilares fundamentais da Indústria 4.0, proporcionando aumentos significativos de produtividade, precisão e qualidade em processos industriais (Lasi *et al*., 2014). Os manipuladores robóticos de múltiplos graus de liberdade constituem elementos centrais neste cenário, sendo amplamente empregados em tarefas de montagem, soldagem, pintura e manipulação de materiais (Craig, 2017). O desenvolvimento e validação de algoritmos de controle para estes sistemas requer ambientes de simulação robustos que permitam análise detalhada do comportamento cinemático e dinâmico antes da implementação física.

O simulador Webots, desenvolvido pela Cyberbotics, emergiu como uma das plataformas mais consolidadas para simulação de sistemas robóticos, oferecendo modelos físicos e bibliotecas de programação abrangentes (Michel, 2004). Sua capacidade de simular com fidelidade a dinâmica de manipuladores industriais o torna particularmente adequado para desenvolvimento de algoritmos de controle e validação de estratégias de automação. A plataforma suporta múltiplas linguagens de programação, incluindo C, C++, Python e Java, facilitando a transferência de código para sistemas reais.

O manipulador P-ROB3 representa uma classe de robôs industriais de configuração antropomórfica, caracterizada por sete graus de liberdade que proporcionam elevada versatilidade e alcance operacional (Siciliano & Khatib, 2016). Esta configuração é particularmente vantajosa para tarefas que requerem contorno de obstáculos e acesso a espaços confinados, características comuns em ambientes industriais complexos. A Figura 1 demonstra este manipulador.

As tarefas de pick-and-place constituem aplicações fundamentais da robótica industrial, envolvendo coordenação precisa de múltiplos atuadores para apreensão, transporte e deposição controlada de objetos (Lynch & Park, 2017). O sucesso nestas operações depende da implementação de algoritmos de controle que considerem as restrições cinemáticas e dinâmicas do sistema, bem como as características dos objetos manipulados. A garra robótica desempenha papel essencial nestas tarefas, requerendo controle adaptativo de força para garantir apreensão segura sem danificação dos objetos.

Figura 1 - Manipulador P-ROB3



Fonte: F&P Robotics

Este trabalho objetiva analisar a implementação de controle automatizado para manipulador robótico P-ROB3 em ambiente de simulação Webots, focando em tarefas de transferência de objetos. A pesquisa contribui para o avanço do conhecimento em automação robótica através da validação de estratégias de controle sequencial e demonstração da eficácia de simulações computacionais para desenvolvimento de algoritmos industriais.

MÉTODOS

A estrutura de controle implementada utilizou a abordagem de programação sequencial, onde cada operação é executada em etapas discretas com temporização controlada. As funções principais incluíram wb_robot_init() para inicialização do sistema, wb_robot_get_device() para obtenção de referências dos atuadores, wb_motor_set_position() para controle posicional e wb_motor_set_torque() para controle de força na garra.

O algoritmo de temporização baseou-se na função wb_robot_get_basic_time_step() para obtenção do passo de simulação fundamental, implementando rotina passive_wait() para

inserção de delays precisos entre operações. Esta abordagem assegura estabilização completa dos movimentos antes da execução de comandos subsequentes, prevenindo interferências e garantindo repetibilidade operacional.

A tarefa experimental consistiu na transferência automática de objetos cilíndricos posicionados sobre superfícies planas. O ciclo operacional foi decomposto nas seguintes etapas: posicionamento inicial da garra, aproximação ao objeto alvo, apreensão controlada, elevação, rotação de transporte, posicionamento para deposição, liberação do objeto e retorno à posição inicial. A Figura 2 demonstra o ambiente de simulação com dois manipuladores.

Figura 2 - Ambiente de simulação



Fonte: O autor.

O controle da garra implementou duas modalidades operacionais: abertura através de controle posicional (wb_motor_set_position(motors[6], 0.5)) e fechamento via controle de torque (wb_motor_set_torque(motors[6], -0.2)). Esta estratégia híbrida permite abertura precisa para aproximação aos objetos e aplicação de força controlada durante a apreensão, minimizando riscos de danos aos materiais manipulados.

A documentação do projeto está disponível para download através do link https://github.com/vitor-souza-ime/prob3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise cinemática revelou que o robô conseguiu atingir todas as posições especificadas com precisão adequada para aplicações industriais. O posicionamento inicial através do comando wb_motor_set_position(motors[4], -1.95) estabeleceu configuração apropriada para início das operações, posicionando a garra em orientação favorável para aproximação aos objetos. Esta etapa inicial mostrou-se vital para o sucesso das operações subsequentes, confirmando a importância de planejamento adequado das configurações de partida em sistemas robóticos (Corke, 2017).

O movimento de aproximação ao objeto alvo, implementado através da sequência de comandos para os motores 1, 2 e abertura da garra, demonstrou coordenação eficiente entre múltiplos atuadores. Os parâmetros angulares wb_motor_set_position(motors[1], 1.55) e wb_motor_set_position(motors[2], 1.12) resultaram em trajetória suave e precisa, evitando colisões com obstáculos e mantendo orientação adequada da garra. O delay de 2.0 segundos mostrou-se suficiente para estabilização completa dos movimentos, aspecto fundamental para garantir precisão na fase subsequente de apreensão.

A operação de apreensão revelou eficácia do controle híbrido implementado na garra. A abertura prévia através de controle posicional permitiu posicionamento preciso dos dedos da garra em relação ao objeto, enquanto o fechamento por controle de torque (wb_motor_set_torque(motors[6], -0.2)) assegurou aplicação de força adequada para apreensão segura. Esta estratégia preveniu tanto o escorregamento do objeto quanto danos por aplicação excessiva de força, demonstrando robustez do algoritmo de controle (Bicchi & Kumar, 2000).

O movimento de elevação do objeto, coordenado pelos motores 1, 2 e 4 com parâmetros wb_motor_set_position(motors[1], -0.92), wb_motor_set_position(motors[2], 1.88) e wb_motor_set_position(motors[4], 1.5), resultou em trajetória estável sem oscilações significativas. A sequência temporal implementada, com delay inicial de 0.3 segundos seguido de movimento coordenado com 2.0 segundos de estabilização, mostrou-se eficaz para prevenção de acelerações bruscas que poderiam comprometer a integridade da apreensão.

A rotação para transporte através do motor base (wb_motor_set_position(motors[0], -1.5708)) executou movimento angular de aproximadamente 90 graus com precisão satisfatória. Esta operação demonstrou a capacidade do sistema de realizar reorientações espaciais mantendo estabilidade da carga manipulada. O delay de 1.0 segundo mostrou-se adequado para amortecimento de oscilações residuais, aspecto crítico em operações de transporte de objetos (Paul, 1981).

O posicionamento para deposição revelou repetição eficaz da sequência cinemática inversa à apreensão, com parâmetros wb_motor_set_position(motors[4], -1.04), wb_motor_set_position(motors[2], 1.12) e wb_motor_set_position(motors[1], 1.53) resultando em aproximação controlada à superfície de deposição. A precisão posicional observada foi compatível com especificações típicas de manipuladores industriais de mesma categoria, confirmando adequação do controle implementado para aplicações práticas.

A operação de liberação do objeto através da abertura da garra demonstrou controle preciso, com o objeto sendo depositado de forma estável na posição desejada. O comando open_gripper() executou abertura gradual que preveniu perturbações no posicionamento final do objeto, aspecto fundamental para aplicações que requerem precisão de deposição (Lynch & Mason, 1996).

O movimento de retorno à posição inicial evidenciou capacidade de restauração completa da configuração original do manipulador. A sequência de comandos wb_motor_set_position(motors[4], -1.95), wb_motor_set_position(motors[1], 0.0) e wb_motor_set_position(motors[0], 0.0) com delays apropriados resultou em trajetória controlada sem interferências entre movimentos de diferentes juntas.

A implementação da estrutura de loop infinito (while(true)) permitiu verificação da repetibilidade operacional do sistema. Observações ao longo de múltiplos ciclos confirmaram estabilidade do comportamento, sem degradação aparente de precisão ou acumulação de erros posicionais. Este resultado indica robustez adequada para operações industriais de longa duração.

CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou a implementação e validação de controle automatizado para manipulador robótico P-ROB3 em ambiente de simulação Webots, evidenciando a eficácia de estratégias de controle sequencial para execução de tarefas de manipulação e transferência de objetos. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica da abordagem metodológica adotada e contribuem para o avanço do conhecimento em automação robótica industrial.

As contribuições científicas deste trabalho incluem a validação de estratégias de controle sequencial para manipuladores de múltiplos graus de liberdade, demonstração da eficácia de simulações computacionais para desenvolvimento de algoritmos de automação e fornecimento de base metodológica para implementação de sistemas similares em ambientes industriais.

Trabalhos futuros podem focar na implementação de algoritmos de outros planejamento de trajetórias, incorporação de sensores de força e visão computacional para maior autonomia operacional, e validação experimental dos algoritmos desenvolvidos em manipuladores físicos. A extensão para operação colaborativa entre múltiplos robôs e integração com sistemas de manufatura inteligente representam também direções promissoras para pesquisas subsequentes.

REFERÊNCIAS

BICCHI, A.; KUMAR, V. Robotic grasping and contact: a review. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation. San Francisco: IEEE, 2000. p. 348-353. DOI: 10.1109/ROBOT.2000.844081. Acesso em: 15 ago. 2024.

CORKE, P. Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB. 2. ed. Berlin: Springer, 2017. 570 p. DOI: 10.1007/978-3-319-54413-7. Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-54413-7. Acesso em: 22 jul. 2024.

CRAIG, J. J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. 4. ed. Boston: Pearson, 2017. 432 p.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H. G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014. DOI: 10.1007/s12599-014-

0334-4. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12599-014-0334-4. Acesso em: 05 ago. 2024.

LYNCH, K. M.; PARK, F. C. Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 544 p. DOI: 10.1017/9781316661239.

LYNCH, Kevin M.; MASON, Matthew T. Dynamic underactuated nonprehensile manipulation. In: Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IROS'96. IEEE, 1996. p. 889-896.

MICHEL, O. Webots: Professional Mobile Robot Simulation. International Journal of Advanced Robotic Systems, v. 1, n. 1, p. 39-42, 2004. DOI: 10.5772/5618. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.5772/5618. Acesso em: 12 jul. 2024.

PAUL, R. P. Robot Manipulators: Mathematics, Programming, and Control. Cambridge: MIT Press, 1981. 279 p.

SICILIANO, B.; KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. 2. ed. Berlin: Springer, 2016. 2227 p. DOI: 10.1007/978-3-319-32552-1. Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-32552-1. Acesso em: 08 ago. 2024.

F&P Robotics. P-ROB 3-48V. Disponível em: https://qviro.com/product/f-p-robotics/p-rob-3-48v. Acesso em: 5 set. 2025.