

OTIMIZAÇÃO DE CONTROLADOR PARA MANIPULADOR ROBÓTICO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL

JOSÉ F. de M. FIRMINO (Assert, João Pessoa), AMÓS F. de FIGUEIRÊDO (Assert, João Pessoa), ANDRÉ F. C. SILVA (IFPB, Campus João Pessoa), CÍCERO da R. SOUTO (Centro de Energias Renováveis, UFPB), EDUARDO B. S. de OLIVEIRA (Assert, João Pessoa), RAPHAEL H. F. de MELO (IFPB, Campus Itabaiana)

E-mails: jose.firmino@assert.ifpb.edu.br, amos.figueiredo@assert.ifpb.edu.br, andre.cavalcante@ifpb.edu.br, cicerosouto@cear.ufpb.br, eduardo.oliveira@assert.ifpb.edu.br, raphael.melo@ifpb.edu.br.

Área de conhecimento: 3.05.04.07-4 Controle de Sistemas Mecânicos.

Palavras-Chave: algoritmos genéticos; simulação robótica; controle em malha fechada; PID.

1 Introdução

Com o avanço dos sistemas robóticos e de simulação, tornou-se essencial estudar técnicas de controle eficientes para manipuladores multiarticulados. Eles são amplamente usados em problemas de controle ótimo, dado seus desafios dinâmicos e aplicações práticas. (CORKE, 2023; SAHU; SAMAL; PANIGRAHI, 2022).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento de um manipulador robótico de sete eixos, operando em malha fechada com e sem aplicação de controlador, este com sintonia automatizada e otimizada por meio do uso do algoritmo genético de Evolução Diferencial, que se mostrou como uma estratégia acertada, já que é amplamente reconhecido como um dos algoritmos mais eficazes para resolver problemas complexos de otimização. (AHMAD et al., 2022).

Simulações foram realizadas de modo a permitir a comparação visual e numérica do desempenho do manipulador em diferentes poses, para validar a eficácia da estratégia de sintonia idealizada para o controlador.

2 Materiais e Métodos

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste estudo seguiu uma abordagem estruturada, fazendo uso da biblioteca *Robotics Toolbox* para a linguagem Python, de Corke e Haviland (2021). Dela, foi utilizado o modelo do manipulador Franka Emika Panda, que inclui estrutura cinemática e parâmetros físicos aproximados.

Para a formulação da estratégia de controle, foram definidas quatro poses-alvo, especificadas em coordenadas articulares, que o manipulador deve atingir sequencialmente de forma autônoma, conduzindo seu efetuador final à posição desejada com o menor erro possível. Cada pose deve ser formada em um intervalo de tempo de, no máximo, 3 segundos.

Na Figura 1 está ilustrada a posição de prontidão (primeira imagem à esquerda), seguida das quatro poses que o manipulador deve formar. A visualização foi gerada no ambiente de simulação *Swift*, integrado à biblioteca de Corke e Haviland (2021).

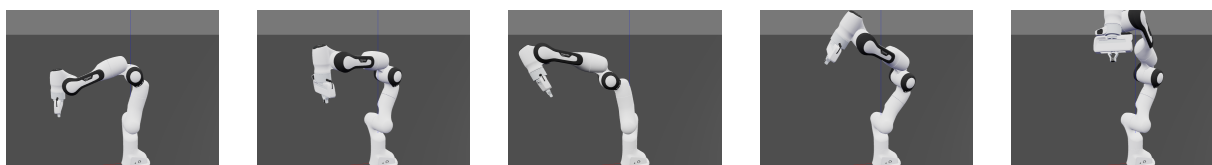


Figura 1: Sequência, da esquerda para a direita, das poses do manipulador Panda no ambiente simulado.

Para que o manipulador, em simulação, operasse de maneira automática, foi implementado um controlador em malha fechada como na Figura 2. O bloco “Controlador” representa duas estratégias distintas, simuladas separadamente:

1. Malha fechada com ganho unitário: o erro entre a posição atual e a desejada é realimentado diretamente, sem processamento adicional; e
2. Malha fechada com controlador: aplicação de controlador PID, por articulação, sintonizado para cada posição.

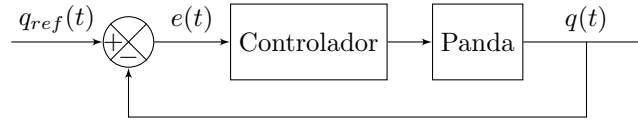


Figura 2: Diagrama de blocos do sistema simulado.

Os ganhos do controlador PID foram sintonizados via Evolução Diferencial, visando minimizar a métrica ISE (Integral do Erro Quadrático), conforme Equação 1.

$$ISE = \int_0^T e^2(t) dt \quad (1)$$

A posição do efetuador final foi rastreada em cada simulação (com e sem controlador), possibilitando calcular o tempo de acomodação médio, \bar{T}_s , e o erro médio absoluto, MAE, para cada estratégia.

3 Resultados e Discussões

Com a aplicação da metodologia descrita, foi possível comparar as trajetórias do efetuador final em cada estratégia de controle. Está representado na Figura 3 o comparativo da posição absoluta, norma do vetor de coordenadas a cada passo de simulação, do efetuador final em cada pose. Observa-se maior rapidez nos movimentos, assim como redução do erro, quando se aplica o controlador PID otimizado.

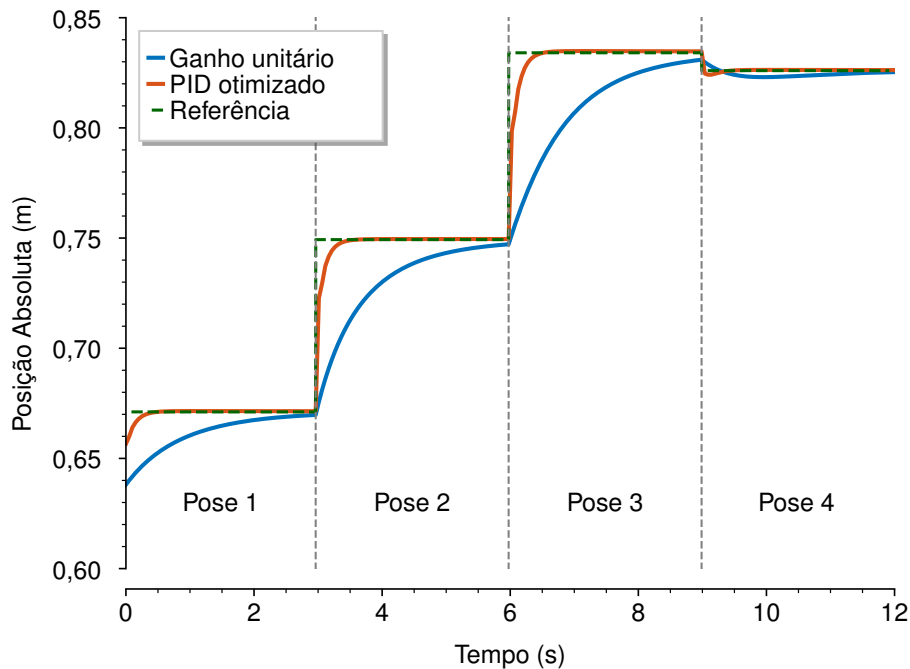


Figura 3: Gráfico da posição absoluta do efetuador final ao longo do tempo. As linhas tracejadas verticais indicam o início da mudança de trajetória.

Contido na Tabela 1 está o comparativo de desempenho entre as estratégias de controle, com base nos valores do tempo de acomodação médio (\bar{T}_s) e do erro médio absoluto (MAE). Os resultados confirmam que o ajuste otimizado do controlador, obtido por meio da estratégia baseada em Evolução Diferencial, proporciona maior velocidade e estabilidade nos movimentos de cada articulação do manipulador durante a formação das poses.

Tabela 1: Comparação de desempenho entre estratégias de controle (valores aproximados).

Estratégia	\bar{T}_s	MAE
Ganho unitário	2,7 s	0,077 m
PID otimizado	0,3 s	0,009 m

Considerando que o manipulador robótico analisado permite velocidades cartesianas de até 2 m/s para o efetuador final, os deslocamentos simulados entre as poses formadas — que variaram de aproximadamente 3,5 a 8,5 cm em um tempo médio de 0,3 s, com a aplicação do controlador otimizado — mostram-se coerentes com a dinâmica esperada para esse tipo de sistema.

4 Considerações Finais

Os resultados demonstram que o uso da metodologia para a otimização adotada permite ajustar os ganhos de um controlador PID de forma automatizada, resultando em melhor desempenho em métricas como MAE e tempo de acomodação médio, quando comparado ao controle com ganho unitário.

Ressalta-se que a abordagem proposta pode ser vantajosa especialmente em estágios iniciais de desenvolvimento ou em aplicações onde não se dispõe de modelos dinâmicos detalhados. A possibilidade de ajustar os parâmetros diretamente com base em critérios de desempenho permite reduzir a necessidade de conhecimento prévio aprofundado sobre a modelagem analítica do sistema, embora isso não signifique ignorar a importância da dinâmica para a segurança e robustez em aplicações reais. Essa flexibilidade pode acelerar o desenvolvimento de controladores em contextos experimentais, ou servir como ponto de partida para refinamentos futuros com modelos mais precisos.

Adicionalmente, o estudo reforça a relevância do uso de simulações baseadas em modelos cinemáticos e dinâmicos como etapa fundamental para a validação de estratégias de controle.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Laboratório Assert, Polo de Inovação do IFPB e ao LaSEA — Laboratório de Sistemas e Estruturas Ativas (UFPB) pelo apoio fornecido no desenvolvimento do trabalho.

Referências

AHMAD, M. F. et al. Differential evolution: A recent review based on state-of-the-art works. *Alexandria Engineering Journal*, Elsevier BV, v. 61, n. 5, p. 3831–3872, maio 2022.

CORKE, P. *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in Python*. 3. ed. Cham: Springer Cham, 2023. v. 146. (Springer Tracts in Advanced Robotics, v. 146). ISBN 978-3-031-06469-2.

CORKE, P.; HAVILAND, J. Not your grandmother's toolbox—the robotics toolbox reinvented for python. In: *IEEE. 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. [S.l.], 2021. p. 11357–11363.

SAHU, V. S. D. M.; SAMAL, P.; PANIGRAHI, C. K. Modelling, and control techniques of robotic manipulators: A review. *Mater. Today*, Elsevier BV, v. 56, p. 2758–2766, 2022.