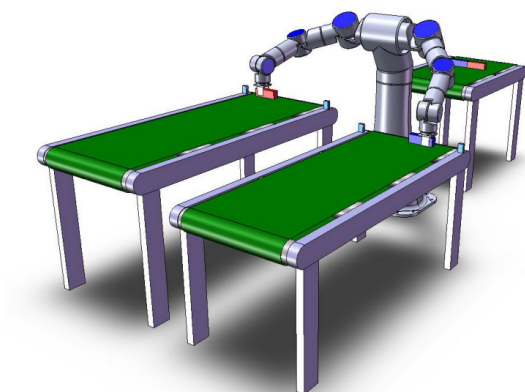


Robótica Industrial

Simulação de um processo de manipulação com um
robô Yaskawa SDA10F



Autor: Rafael Morgado - 104277

Professores: Vitor Santos, Jorge Almeida

Universidade de Aveiro

Departamento de Engenharia Mecânica

Novembro/Dezembro de 2024

Introdução

Este trabalho prático consiste no desenvolvimento de uma simulação para o robô Yaskawa SDA10F com 15 graus de liberdade, com foco na manipulação de objetos num ambiente industrial. A tarefa envolve o planeamento e execução de movimentos precisos para agarrar blocos transportados por tapetes rolantes, uni-los com os dois braços do robô e depositá-los num terceiro tapete. A simulação inclui a verificação dos limites do espaço de trabalho, a sincronização dos braços e a animação gráfica de todo o processo, destacando a aplicação de conceitos avançados de cinemática, controlo e automação em robótica.

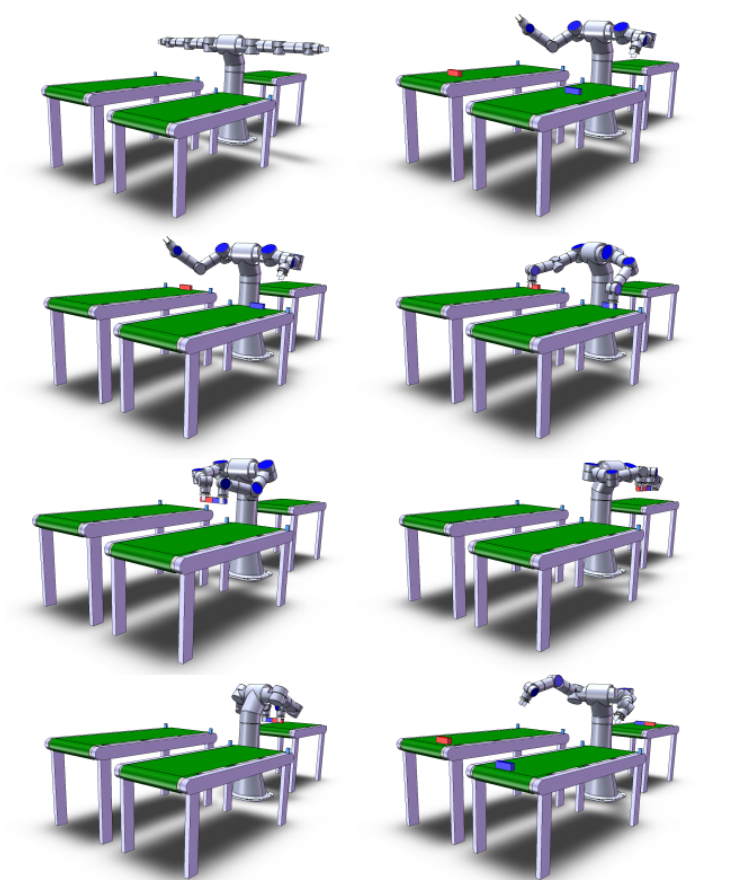


Figure 1: Movimentação do robô.

Desenvolvimento

Este trabalho envolveu o desenvolvimento de um sistema para simulação e controle da movimentação de dois braços manipuladores, incluindo a integração com ferramentas gráficas para visualização. A abordagem incluiu diversas etapas, desde a definição dos parâmetros cinemáticos dos robôs até a animação e validação do movimento, garantindo que os pontos desejados respeitassem os limites do espaço de trabalho.

Os parâmetros do robô foram definidos utilizando a convenção de Denavit-Hartenberg (DH), representando a configuração geométrica de ambos os manipuladores. A partir dessas definições, foram implementadas rotinas para resolver a cinemática inversa, permitindo calcular os ângulos das juntas necessários para atingir posições específicas no espaço tridimensional. As posições-alvo foram descritas como transformações homogêneas, incorporando transformações de translação e rotação.

O processo de animação utilizou a interpolação entre configurações intermediárias para gerar movimentos suaves e visualmente realistas. Adicionalmente, objetos como garras e blocos foram sincronizados com os end-effectors dos robôs, garantindo que seguissem suas trajetórias corretamente. Verificações de segurança foram implementadas para validar se todos os pontos-alvo estavam dentro do espaço de trabalho, encerrando o programa caso alguma posição fosse inválida.

Por fim, o programa foi estruturado para visualizar a movimentação de ambos os robôs num ambiente tridimensional, permitindo observar em tempo real o comportamento do sistema. A utilização de ferramentas gráficas e funções customizadas garantiu a flexibilidade e a clareza na execução das tarefas.

Funções usadas

Neste projeto, utilizamos diversas funções que foram aprendidas e desenvolvidas durante as aulas para criar um ambiente virtual interativo, composto por elementos como mesas, blocos e manipuladores robóticos. As principais etapas incluíram a aplicação da cinemática direta para determinar a posição e orientação dos elos do robô em função das variáveis articulares, a resolução da cinemática inversa para alcançar posições e orientações desejadas dos end-effectors, e a implementação de animações sincronizadas para simular os movimentos dos robôs e dos objetos manipulados. Essas funções foram essenciais para integrar os diferentes componentes do sistema, garantindo a precisão dos movimentos e a coerência entre a simulação e os parâmetros físicos definidos.

Além das funções fornecidas nas aulas, foram desenvolvidas funções adicionais para resolver a cinemática inversa, adaptando um exemplo disponibilizado pelo professor. Também foram implementadas verificações para garantir que os pontos estivessem dentro do espaço de trabalho, foram criados modelos para os blocos, mesas e garras, e foram adaptadas várias funções já existentes, destacando principalmente as funções de animação que permitiram a movimentação sincronizada de todos os componentes. Essas adaptações foram fundamentais para garantir a funcionalidade e a fluidez do sistema.

Cinemática Direta

A cinemática direta foi implementada para calcular a posição e a orientação do end-effector com base nos ângulos articulares do robô. Essa abordagem utiliza a matriz de Denavit-Hartenberg (DH), que parametriza cada junta do robô, permitindo a construção sequencial de transformações homogêneas. Para implementar a cinemática foram utilizadas as funções `tlinks`, `LinkOrigins`, `DrawLinks` e `DrawFrames`, enquanto a função `CD_Robot` integra essas transformações para traçar visualmente os elos e os quadros de referência do robô, proporcionando uma representação gráfica precisa.

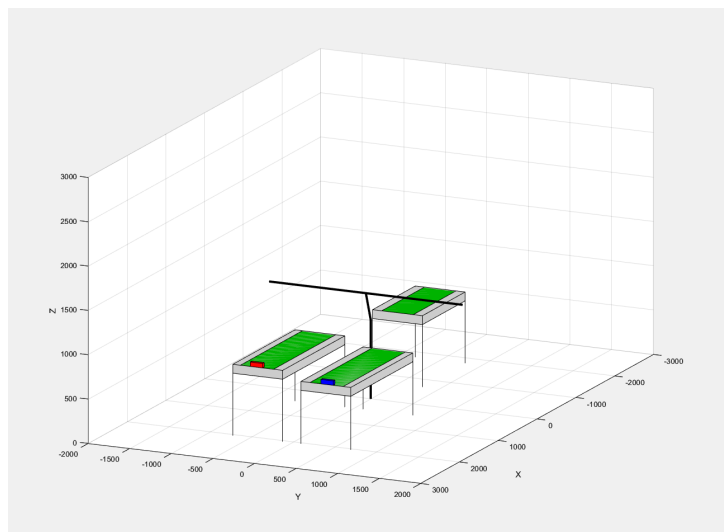


Figure 2: Cinemática direta do robô no posição zero hardware.

Cinemática Inversa

A cinemática inversa foi abordada por meio da função `invkinYaskawa`, que calcula os ângulos articulares necessários para atingir uma pose desejada do end-effector. Este cálculo foi realizado iterativamente, minimizando os erros de posição e orientação entre a pose atual e a desejada. Para garantir estabilidade, foi adotada a técnica de pseudo-inversas regularizadas (DLS – Damped Least Squares), que mitiga problemas relacionados à singularidade do Jacobiano. O algoritmo inclui limitações de passo para evitar movimentos abruptos das juntas, além de critérios de convergência baseados em tolerâncias de erro.

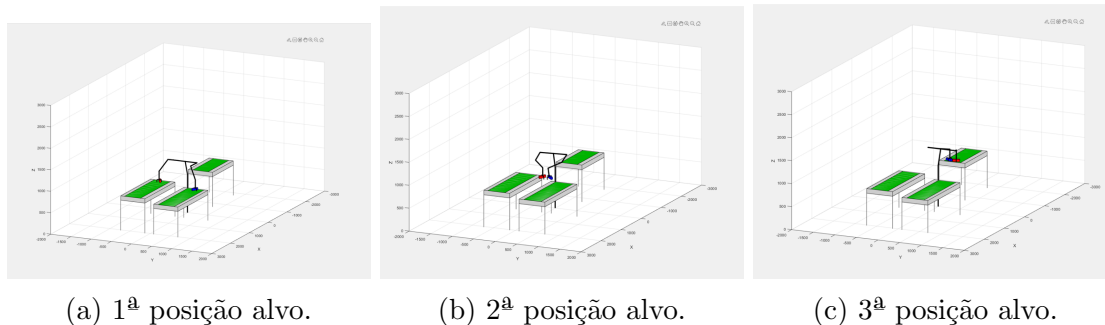


Figure 3: Representações das poses do robô e posições alvo.

Cinemática Diferencial

A cinemática diferencial, utilizada para relacionar velocidades articulares com velocidades do end-effector, foi essencial para resolver problemas de controle em tempo real. A matriz Jacobiana geométrica, calculada pela função `jacobGeom`, foi aplicada para mapear o espaço das juntas ao espaço cartesiano. Essa matriz também foi usada para calcular pequenos ajustes nas juntas durante a resolução iterativa da cinemática inversa, considerando erros de posição e orientação.

Conclusão

Este projeto integrou conceitos de cinemática para simular e animar o movimento de um robô manipulador num ambiente virtual. A implementação das cinemáticas direta, diferencial e inversa permitiu a movimentação sincronizada do robô, garantindo que as tarefas fossem realizadas dentro do espaço de trabalho. Ferramentas gráficas, como a modelagem dos elos, blocos e garras, facilitaram a visualização das operações realizadas.

Como melhorias futuras, destaca-se a implementação de movimentos lineares para agarrar e colocar blocos, utilizando a cinemática diferencial, ajustes precisos nas orientações das garras para melhorar a manipulação e o desenvolvimento de um modelo mais realista do robô. Essas evoluções tornariam o sistema mais funcional e atrativo, ampliando sua aplicação em cenários acadêmicos e industriais.

Você pode assistir ao vídeo sobre o tema no seguinte link: [Vídeo do projeto](#)