



Objetivos

- (1) Familiarização com a simulação de manipuladores robóticos.
- (2) Familiarização com a cinemática direta de manipuladores robóticos.

1 Transformações geométricas de um processo de manipulação

Considere o manipulador RRR ilustrado na Fig. 1. Pretende-se identificar a relação entre o *end-effector* do manipulador e o ponto de contacto com o objeto a agarrar. Considerar: $L_1 = 4$, $L_2 = 6$, $L_3 = 5$ e $L_4 = 1$; mesa com dimensão $8 \times 2 \times 1.5$ m; objeto com dimensão $2 \times 1 \times 1.5$ m.

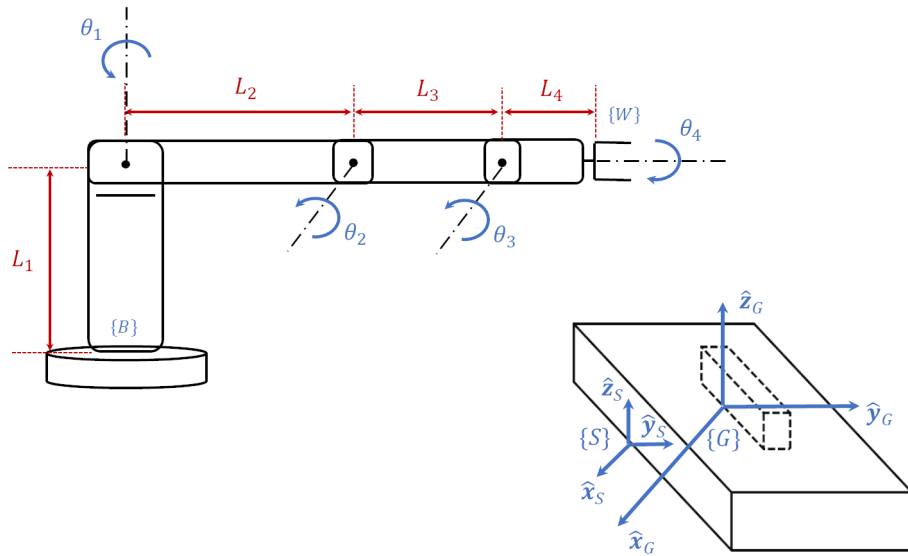


Fig. 1. Manipulador RRR e restante aparato para operações de pick & place: Referenciais e ângulos de rotação.

- a) Construir a cinemática direta do manipulador.
- b) Implementar uma função que permita calcular a matriz de transformação associada a cada um dos elos.
- c) Identificar a matriz de transformação ${}^B\mathbf{T}_W$, considerando L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , θ_1 , θ_2 , θ_3 e θ_4 como incógnitas. B é o referencial global, que coincide com o referencial da base do manipulador; W é o referencial do *end-effector*.
- d) Calcular o espaço cartesiano inicial $\mathbf{r}_{W_0} = [x_w \ y_w \ z_w \ \theta_{4x} \ \theta_{4y} \ \theta_{4z}]^T$ do *end-effector* sem qualquer rotação das juntas do manipulador (espaço das juntas: $\mathbf{q}_{B_0} = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4]^T = [0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$).

- e) Calcular uma matriz de transformação ${}^B\mathbf{T}_S$, tal que: (i) $(\hat{\mathbf{x}}_S, \hat{\mathbf{y}}_S, \hat{\mathbf{z}}_S)$ são os apresentados no referencial S ; (ii) a mesa foi sujeita a uma translação horizontal de 10.
- f) Calcular a matriz de transformação ${}^S\mathbf{T}_G$, tal que (i) $(\hat{\mathbf{x}}_G, \hat{\mathbf{y}}_G, \hat{\mathbf{z}}_G)$ são os apresentados no referencial G ; (ii) o objeto está centrado em cima da mesa.
- g) Implementar o grafo de transformação do processo de manipulação e calcular a matriz de transformação ${}^W\mathbf{T}_G$.

2 Simulação do processo de manipulação

Pretende-se construir um modelo representativo do processo de manipulação e simular o seu funcionamento. Considerar as mesmas dimensões indicadas na questão 1.

- a) Representar um modelo do manipulador (obtido pelo algoritmo de Denavit-Hartenberg) em que: (i) os elos são modelados com uma geometria à escolha de cada grupo; (ii) todos os sistemas de coordenadas dos elos são apresentados. Usar um subplot (2×1) para realizar a representação. Todos os pontos de três objetos que representam os eixos de um sistema de coordenadas cartesiano estão disponíveis no ficheiro *eixos.m* (ver Fig. 2).
- b) Comparar o espaço cartesiano inicial obtido na alínea **1d** com o obtido na alínea **2a**.
- c) Representar um modelo do manipulador (no subplot), incluindo um *gripper* (exemplo ilustrado na Fig. 3). Os sistemas de coordenadas dos elos não devem ser representados.
- d) Simular o modelo do manipulador para o espaço das juntas: $\mathbf{q}_{B_0} = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4]^T = [45^\circ \ 45^\circ \ 0 \ 90^\circ]^T$.

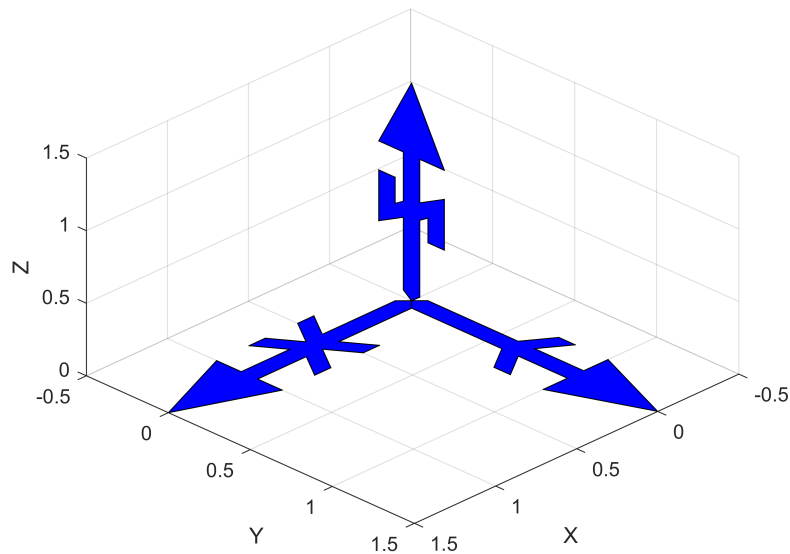


Fig. 2. Representação de um sistema de coordenadas cartesiano do manipulador RRR.

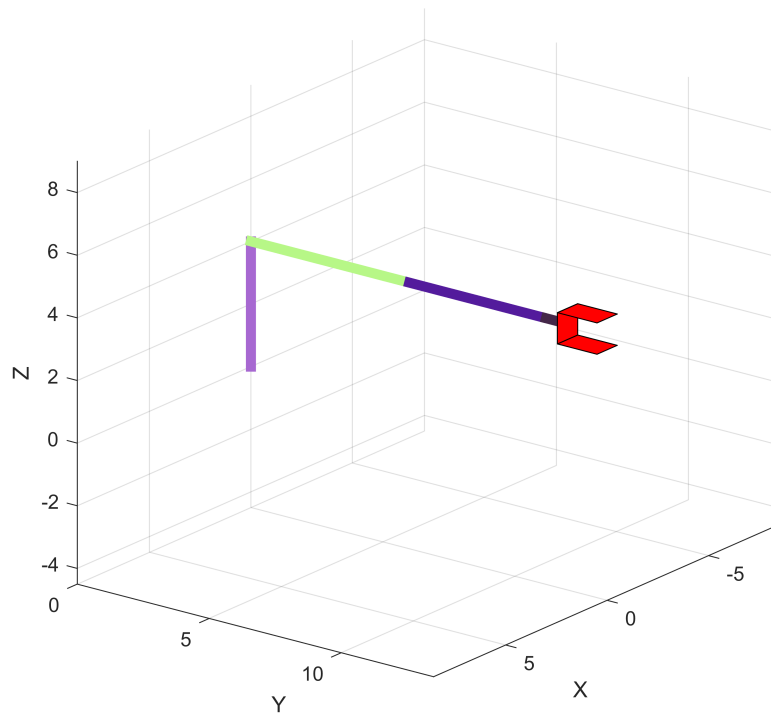


Fig. 3. *Representação do manipulador robótico.*

- e) Representar a mesa (incluindo o manipulador).
- f) Representar o objeto a ser movimentado pelo manipulador (incluindo o manipulador e a mesa).
- g) Movimentar o manipulador até ao objeto a partir da posição cujo espaço das juntas é $\mathbf{q}_{B_0} = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4]^T = [45^\circ \ 45^\circ \ 0 \ 90^\circ]^T$.

3 Trabalho à escolha do aluno

Pretende-se que cada grupo desenvolva um trabalho à sua escolha, relacionado com os conteúdos programáticos deste trabalho.

Informação adicional

Este trabalho deve ser realizado por grupos de 2 alunos e tem a duração de duas aulas. Deve ser elaborado um documento (PDF) com a cinemática direta do manipulador (exercício 1a).

Todos os ficheiros deverão ser compactados e enviados para o docente via Elearning até ao dia 27 de novembro de 2020. O nome do ficheiro compactado deve seguir a seguinte norma: *Trabalho2-[nmec1]-[nmec2].rar* (exemplo: *Trabalho2-01234-56789.rar*).