



Universidade de Aveiro
Departamento de
Engenharia Mecânica

Robótica Industrial

Trabalho 5 - Cinemática direta e inversa de um manipulador Fanuc

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica
Mestrado em Engenharia de Automação Industrial

Objetivo

- (1) Familiarização com a cinemática direta e inversa de manipuladores robóticos reais.

1 Identificação da cinemática direta e simulação

Considere o manipulador Fanuc ArcMate M6iB 6S (Fig. 1), disponível no Laboratório de Automação e Robótica.

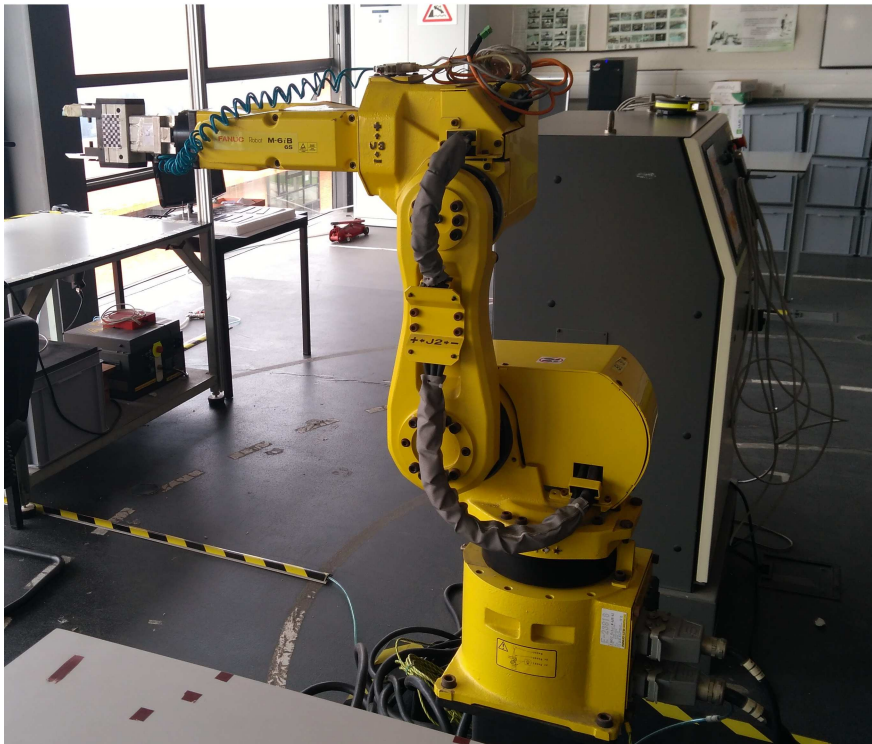


Fig. 1. Manipulador Fanuc ArcMate M6iB 6S

- a) Construir a tabela de Denavit-Hartenberg entre a base do manipulador e a sua ferramenta.

Notas:

- (i) O espaço das juntas $\mathbf{q}_0 = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6]^T = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ resulta numa disposição do manipulador Fanuc como apresentado na Fig. 1.
- (ii) Os sistemas de coordenadas da base, do *end-effector* e da ferramenta são os apresentados nas Figs. 2 e 3.
- (iii) O esquemático do sistema de elos está apresentado na Fig. 3.
- (iv) É necessário considerar a interação entre a junta 2 e a junta 3.
- (v) Os elos têm as seguintes dimensões: $L_A = 250$ mm, $L_B = 150$ mm, $L_C = 360$ mm, $L_D = 100$ mm, $L_E = 430$ mm ($L'_E = 150$ mm; $L''_E = 280$ mm) e $L_F = 100$ mm.

(vi) A tabela de Denavit-Hartenberg deve ser construída tendo em conta a implementação da cinemática inversa do manipulador. Assim, é necessário garantir que a cinemática inversa tenha solução analítica. Note que Pieper demonstrou que existe solução analítica para manipuladores de 6 eixos se 3 eixos de juntas sucessivas se intersectarem.

(b) Determinar o espaço cartesiano inicial $\mathbf{r}_0 = [x_t \ y_t \ z_t \ \phi \ \theta \ \psi]^T$ para o espaço das juntas $\mathbf{q}_0 = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6]^T = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$. Representar um modelo do manipulador para este espaço das juntas. Confirme os resultados do espaço cartesiano com o espaço cartesiano indicado na consola do manipulador.

Nota: os elos podem ser modelados com uma geometria à escolha de cada grupo, desde que as redundâncias dos elos correspondentes a θ_2 , θ_3 e θ_5 possam ser visualizadas. Todos os sistemas de coordenadas dos elos devem ser apresentados (necessário redimensionar os pontos do ficheiro *eixos.m* para milímetros).

(c) Repita a questão anterior, mas agora para o espaço das juntas $\mathbf{q}_1 = [35 \ 0 \ -40 \ 0 \ 50 \ 0]^T$. Confirme os resultados do espaço cartesiano com o espaço cartesiano indicado na consola do manipulador.

d) Repita a questão 1b, mas agora para o espaço das juntas $\mathbf{q}_2 = [35 \ -40 \ 0 \ 0 \ 50 \ 0]^T$. Confirme os resultados do espaço cartesiano com o espaço cartesiano indicado na consola do manipulador.

Nota: A interação entre a junta 2 e a junta 3 é realizada sempre que $\theta_2 \neq 0$.

e) Movimentar o manipulador desde o espaço de juntas $\mathbf{q}_i = [105 \ 60 \ -30 \ 120 \ -20 \ 40]^T$ até ao espaço de juntas $\mathbf{q}_f = [15 \ -30 \ -60 \ 20 \ -20 \ 165]^T$. Determinar os espaços cartesianos \mathbf{r}_i e \mathbf{r}_f relativos a \mathbf{q}_i e \mathbf{q}_f . Confirme \mathbf{r}_i e \mathbf{r}_f com os espaços cartesianos indicados na consola do manipulador.

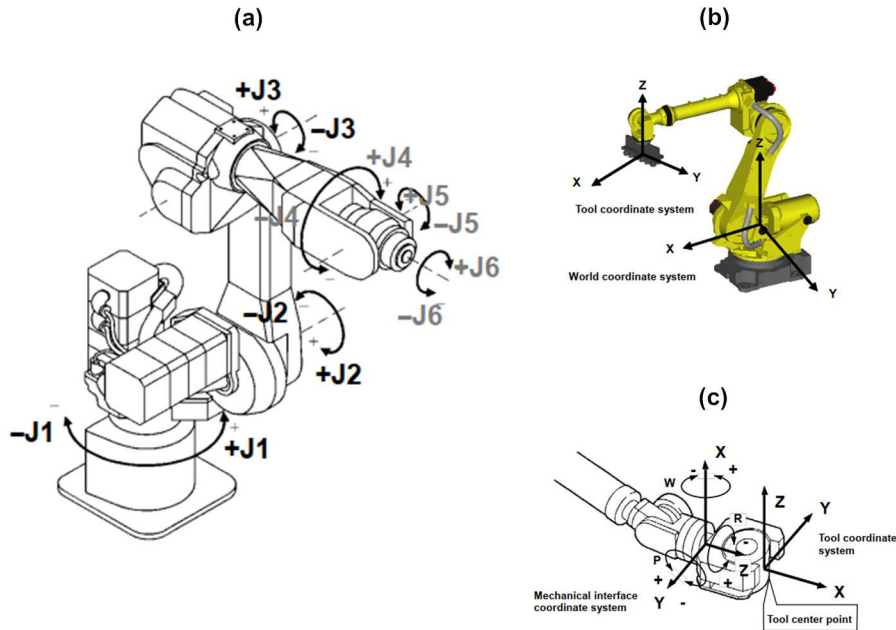


Fig. 2. Juntas e sistemas de coordenadas do Manipulador Fanuc ArcMate M6iB 6S: (a) juntas e suas direções; (b) sistema de coordenadas da base (World coordinate system); (c) sistema de coordenadas do end-effector e da ferramenta.

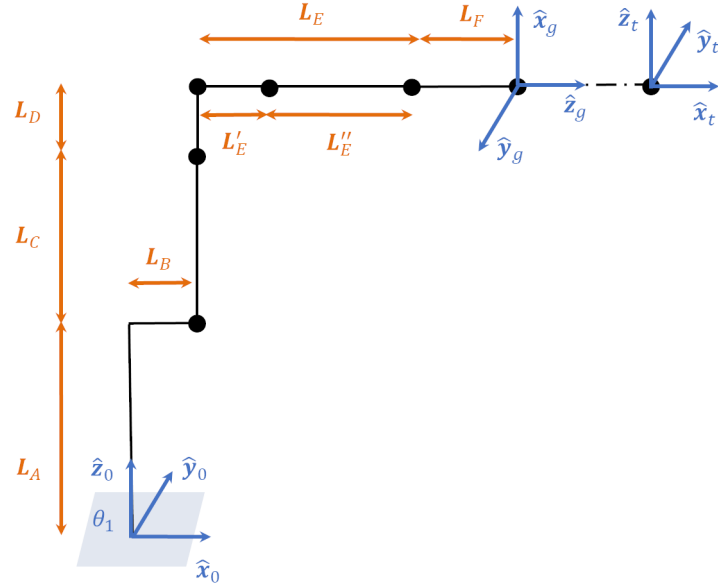


Fig. 3. Esquemático do sistema de elos do Manipulador Fanuc.

2 Identificação da cinemática inversa e simulação

a) Implementar a cinemática inversa do manipulador.

Nota: Implemente por fases: (i) considerar apenas as três primeiras juntas, a que corresponde a posição do punho (calcular θ_1 , θ_2 e θ_3); (ii) considerar as restantes juntas, a que corresponde a posição do *end-effector* (calcular θ_4 , θ_5 e θ_6).

b) Ilustrar o funcionamento da cinemática inversa para os espaços cartesianos obtidos em 1c, 1d e 1e (inicial e final). O espaço das redundâncias admissíveis e inadmissíveis deve ser identificado. Deve ser permitido a especificação no código das opções de redundância desejadas (ombro/cotovelo/punho).

c) Ilustrar o funcionamento da cinemática inversa simulando o manipulador numa operação de *pick & place*.

Informação adicional

Este trabalho deve ser realizado por grupos de 2 alunos e tem a duração de duas aulas.

Deve ser realizado um relatório (máximo: 10 páginas) que inclua a implementação da cinemática direta e inversa, assim como a análise das redundâncias. Todos os ficheiros deverão ser compactados e enviados para o docente via Elearning até ao dia 31 de dezembro de 2020. O nome do ficheiro compactado deve seguir a seguinte norma: *Trabalho5-[nmec1]-[nmec2].rar* (exemplo: *Trabalho5_01234_56789.rar*).