



Universidade de Aveiro

Departamento de Engenharia Mecânica

ROBÓTICA INDUSTRIAL

TRABALHO PRÁTICO Nº 2

SIMULAÇÃO DE UM CÉLULA COM TRÊS ROBÔS EM
OPERAÇÕES DE MANIPULAÇÃO, PALETIZAÇÃO E
GRAVAÇÃO DE OBJETOS

Aveiro, 2 de Fevereiro de 2016

António Almeida - 64960



1 Notas preliminares e objetivos

No âmbito da unidade curricular de Robótica Industrial, realizou-se este trabalho com o objetivo de simular uma célula robótica. A célula é composta por três robôs (A, B, C) que devem realizar uma operação de gravação de uma peça tipo, de dimensões variáveis, e a sua paletização. Os robôs em questão são dois SCARA (a e C) e um antropomórfico (B) de 5DOF (RRR+RR). A produção de um vídeo de demonstração do funcionamento da célula é também um objetivo deste trabalho. Este pode ser visualizado em <https://youtu.be/sM72NpZmgzg>.

2 Cinemática

2.1 Cinemática direta

A cinemática direta é calculada pelo método de Denavit-Hartenberg. A partir dos parâmetros d , l , θ e α , é possível obter as matrizes das transformações dos elos de cada robô, e destas deduzir a cinemática.

2.1.1 SCARA

O robô Scara é composto por quatro elos, os três primeiros são rotacionais e o último é prismático. Para efeitos de representação, usando as funções de base desenvolvidas nas aulas, a matriz dos Scara tem seis linhas em vez de quatro que seriam expectáveis. A primeira linha (linha 0) cria o ângulo reto do corpo do robô, as linhas um até quatro são a representação dos elos do braço e a linha cinco representa a ponta prismática. Obtém-se assim a matriz esquematizada na tabela 1, onde θ e d são variáveis.

Tabela 1: Matriz DH Scara

Elo	θ	l	d	α
0	0	0	$L(1)$	0
1	θ_1	$L(2)$	0	0
2	θ_2	$L(3)$	0	0
3	θ_3	0	0	0
4	0	0	$d_4-L(4)$	π
5	0	0	$-L(4)$	π

2.1.2 RRR+RR

O robô antropomórfico é composto por cinco elos, que são rotacionais. Os últimos dois elos deste braço representam um punho de dois graus de liberdade. A matriz de Denavit-Hartenberg está representada na tabela 2.

2.2 Cinemática inversa

A cinemática inversa obtém-se da cinemática direta, que por sua vez resulta da multiplicação das matrizes de transformação dos elos de um robô.

$$A = A_0 A_1 \cdots A_n \quad (1)$$



Tabela 2: Matriz DH Scara

Elo	θ	l	d	α
1	θ_1	0	$L(1)$	$\frac{\pi}{2}$
2	$\theta_2 + \frac{\pi}{2}$	$L(2)$	0	0
3	θ_3	0	0	$\frac{\pi}{2}$
4	$\theta_4 + \pi$	0	$L(3) + L(4)$	$\frac{\pi}{2}$
5	θ_5	$L(5)$	0	0

Para os robôs em causa foi também utilizada, sempre que possível, a cinemática de braços desenvolvidos nas aulas.

2.2.1 Scara

A cinemática inversa dos Scara tem parecenças com a do RR, foi por isso a partir destas que se obteve parte da seguinte cinemática

$$\theta_2 = \pm \arccos\left(\frac{x^2 + y^2 - (L(2)^2 + L(3)^2)}{2L(2)L(3)}\right) \quad (2)$$

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{y(L(1) + L(2)C_2) - x(L(2)S_2)}{x(L(1) + L(2)C_2) + y(L(2)S_2)}\right) \quad (3)$$

$$d_3 = L(1) - z \quad (4)$$

$$\theta_4 = \phi - \theta_1 - \theta_2 \quad (5)$$

2.2.2 RRR+RR

No caso do robô antropomórfico a cinemática inversa teve que ser obtida através da composição de dois sistemas, um robô RRR antropomórfico e um punho RR. A cinemática de um RRR já é conhecida e é dada por

$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{x_{Pw} \text{sign}(k)}{y_{Pw} \text{sign}(k)}\right) \quad (6)$$

$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{(L(2) + L(3)C_3)(z_{Pw} - L(1)) - rL(3)C_3}{(L(2) + L(3) + L(4)C_3)r + (L(3) + L(4)S_3)(z_{Pw} - L(1))}\right) \quad (7)$$

$$\theta_3 = \arctan\left(\frac{x_{Pw}^2 + y_{Pw}^2 + (z_{Pw} + L(1))^2 - L(2)^2 - (L(3) + L(4))^2}{2L(2)(L(3) + L(4))}\right) \quad (8)$$

No entanto, para obter Pw é necessário utilizar o vetor diretor da ponta do punho, neste caso, a direção perpendicular à face da peça. Esta direção encontrar-se-á então na parte rotacional, R , da matriz de transformação A . Sabendo que $A = A_0^3 A_3^5$ tem-se que $R = R_0^3 R_3^5$, e logo $R_3^5 = (R_0^3)^{-1} R$. Das equações seguintes (onde a a_n^m é uma posição de R) tiram-se então os ângulos em falta.

$$\theta_4 = \arctan\left(\frac{a_{5y}^3}{a_{5x}^3}\right) \quad (9)$$

$$\theta_4 = \arctan\left(\frac{\pm \sqrt{(a_{5x}^3)^2 - (a_{5y}^3)^2}}{a_{5z}^3}\right) \quad (10)$$

2.3 Cinemática diferencial

Necessitou-se também de calcular a cinemática diferencial para o RRR+RR, pois a gravação consiste de duas linhas retas, perpendiculares. O cálculo do jacobiano foi efetuado recorrendo às capacidades de cálculo simbólico do *Matlab*, uma vez conhecida a cinemática direta a função *diff()* devolve a matriz que é utilizada nas trajetórias diferenciais.



3 Código e utilização

3.1 Utilizar

O código é de simples utilização, basta mandar correr e tudo acontece automaticamente. Existe uma secção editável que é configurável com argumentos de entrada (ver 'help' para saber quais). É possível ativar ou desativar uma pausa antes a demonstração da célula, ativar ou desativar os gráficos, *preview* do percurso dos robôs e *display* de informação sobre o decorrer dos cálculos. É ainda possível alterar a força de gravação, a velocidade de reprodução e o tempo entre iterações.

3.2 Código

O código está dividido em quatro grandes partes e seis subdivisões.

1. Cabeçalho editável;
2. Verificação da existência de ficheiro de configuração;
3. Alteração do diretório para a biblioteca de funções;
4. Main;
 - (a) `makeobjcell` - Criar todos os objetos e atribuir qualidades. Variável *Obj*, do tipo *struct*;
 - (b) `makecell1` - Atribuir coordenadas da célula a cada objeto e robô;
 - (c) `makecellpath_` a -Planear a trajetória tendo em conta as dimensões da célula e objetos. Neste passo o tempo de execução de cada movimento é fixo, podendo ser apenas alterado o número de iterações e a velocidade de reprodução da simulação. Nesta função são também recolhidos os dados para a produção dos gráficos. Podem também ser lançados erros caso haja movimentos impossíveis, neste caso o programa é abortado;
 - (d) `makegrafs` - Construir e mostrar gráficos, caso essa opção esteja ativa.
 - (e) `dispcell` - Cria o *layout* da célula num modelo tridimensional.
 - (f) `Animatecell` - Atribuir movimento à célula.