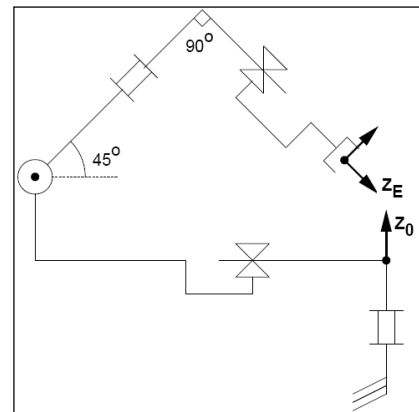


Modelo Geométrico Directo e Inverso de manipuladores

HOMEWORK #2

Data de Entrega: 29 de Outubro 2017

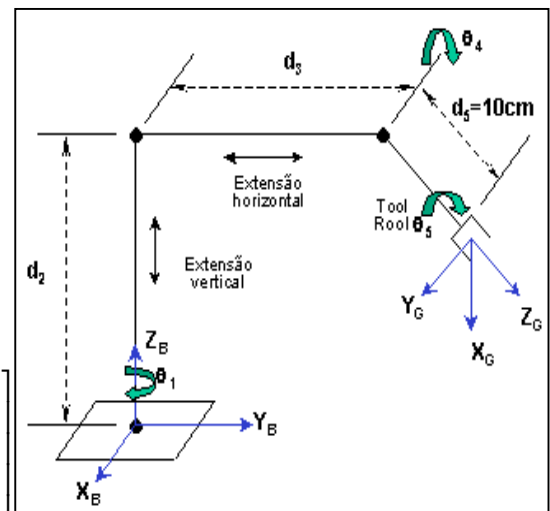
- Observe o esquemático do manipulador RPRRP que se apresenta. Atribua os sistemas de coordenadas de cada elo e indique os parâmetros cinemáticos do manipulador usando o algoritmo de Denavith-Hartenberg.



- Considere o manipulador de cinco graus de mobilidade (RPPRR) cujo diagrama se apresenta na figura.

- Recorrendo à representação de Denavit-Hartenberg obtenha ${}^B T_G$.
- Sabendo que ${}^B T_G$ para a posição de Home do manipulador é igual a

$${}^B T_G = \begin{bmatrix} 0.7071 & -0.5 & 0.5 & 28.2843 \\ -0.7071 & -0.5 & 0.5 & 28.2843 \\ 0 & -0.7071 & -0.7071 & 30.0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



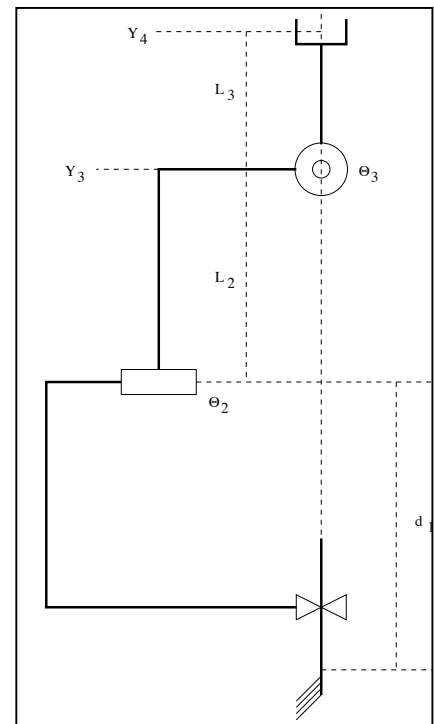
obtenha os valores de $\theta_1, d_2, d_3, \theta_4$ e θ_5 para essa posição.

- Considere o manipulador PRR cuja tabela de Denavit-Hartenberg é apresentada de seguida. O sistema referencial da 1ª junta está relacionado com um sistema de coordenadas base através da transformação expressa na 1ª linha da tabela (transformação corpo-rígido).

i	a_i	d_i	α_i	θ_i
$B \mapsto 0$	a_0	d_0	$-\pi/2$	$-\pi/2$
$0 \mapsto 1$	0	*	0	0
$1 \mapsto 2$	a_2	0	$\pi/2$	*
$2 \mapsto G$	a_3	0	$-\pi/2$	*

1. Obtenha o desenho esquemático do manipulador na sua posição de "home" (variáveis de junta nulas).
2. Dado ${}^B d_{B,G}$, obtenha ${}^0 d_{0,G}$
3. Conhecendo ${}^0 d_{0,G}$ é possível obter uma das variáveis de junta independentemente das restantes variáveis. Indique qual a variável de junta e obtenha a equação de cinemática inversa para essa variável de junta.
4. Obtenha as equações de cinemática inversa para as restantes variáveis do manipulador, mantendo a consideração de que apenas é conhecido ${}^0 d_{0,G}$.

- Analise o manipulador PRR que se apresenta em anexo. Assumindo comprimentos genéricos para os elos, obtenha a tabela dos parâmetros de D-H (standard). Transfira o esquemático do manipulador para a folha de prova e acrescente os referenciais necessários à obtenção do modelo geométrico directo do manipulador.



1. Apresente as matrizes de transformação associadas a cada elo (${}^{i-1}T_i$).
2. Apresente a função de configuração da ferramenta para o robot, isto é, os 6 graus de liberdade $w(q) = [p_x \ p_y \ p_z \ roll \ pitch \ yaw]^T$.
3. Apresente a solução de cinemática inversa que assegura ${}^0 p_{4,org} = [-L_2 \ L_3 \ d_1]^T$.
4. Assumindo que $L_2 = 2L_3 = 0.5m$ e que $0.5m \leq d_1 \leq 1.0m$, $-\pi \leq \theta_2 \leq 0$ e $-\pi/2 \leq \theta_3 \leq 0$, apresente o espaço de trabalho 3D do manipulador.

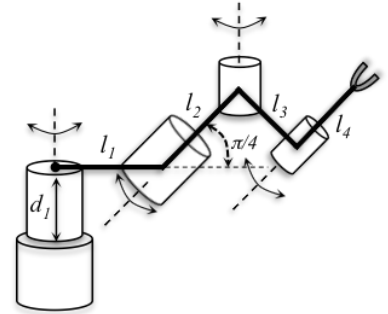
- Identifique os parâmetros de Denavit-Hartenberg $[\theta, d, a, \alpha]$ da matrix

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 & -\frac{\sqrt{2}}{2} & -\sqrt{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} & -\sqrt{2} \\ 0 & -1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Considere que os parâmetros de rotação apresentam valores no intervalo $[0..2\pi]$.

Desenho o esquemático do elo i .

- Analise o manipulador PRRR que se apresenta na figura. Assumindo os comprimentos de elo ($l_1=2$, $l_2=2$, $l_3=l_4=1$), obtenha a tabela dos parâmetros de D-H (standart). Transfira o esquemático do manipulador para a folha de prova e acrescente os referenciais necessários à obtenção do modelo geométrico directo do manipulador. Apresente as matrizes de transformação associadas a cada elo (${}^{i-1}T_i$).



NOTA : A configuração apresentada na figura corresponde à posição de “home”.

- Considere um manipulador cilíndrico (PRP) equipado com uma garra esférica ao qual corresponde a tabela de DH que se apresenta. O vector das variáveis de junta é dado por $q = [d_1, \theta_2, d_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6]$.

	θ_i	d_i	a_i	α_i
0->1	0°	d_1	0	0°
1->2	θ_2	0	0	-90°
2->3	0°	d_3	0	-90°
3->4	θ_4	2	0	90°
4->5	θ_5	0	0	-90°
5->6	θ_6	1	0	0°

Obtenha:

- O desenho esquemático do manipulador na sua posição de “home”;
- As expressões de cinemática inversa do manipulador;

LABWORK #2

- Escrever uma função **MGD_DH** que permita estabelecer a posição e orientação da ferramenta de um robô com estrutura arbitrária: n graus de liberdade e com juntas de revolução e/ou prismáticas.

a. Atribua os sistemas de coordenadas e identifique os parâmetros cinemáticos do robô usando o **algoritmo de Denavith–Hartenberg**, armazenando os **parâmetros das juntas numa matriz PJ_DH** , onde cada linha da matriz corresponde a $[\theta_i, d_i, \alpha_i, a_i]_{i=1..n}$. Esta matriz constitui o parâmetro de entrada da **função $MGD_DH(PJ_DH)$** .

b. Para cada linha da matriz obter a **matriz de transformação do elo ${}^{i-1}_i A$** . Cada matriz é representada por

$${}^{i-1}_i A = \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i} \cdot c_{\alpha_i} & s_{\theta_i} \cdot s_{\alpha_i} & a_i \cdot c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i} \cdot c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i} \cdot s_{\alpha_i} & a_i \cdot s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

c. A **cinemática directa** é obtida através da multiplicação das matrizes

$${}^0_n A = \prod_{j=0}^{n-1} {}^j_{j+1} A = {}^0_1 A \cdot {}^1_2 A \cdots {}^{n-1}_n A$$

- Observe o robô planar com 3-DOF (RRR) da figura. O comprimento dos elos são conhecidos e são iguais a $L_1 = 4$, $L_2 = 3$ e $L_3 = 2$ (m).

a. Obtenha a **matriz dos parâmetros** de D-H: **PJ_DH** .

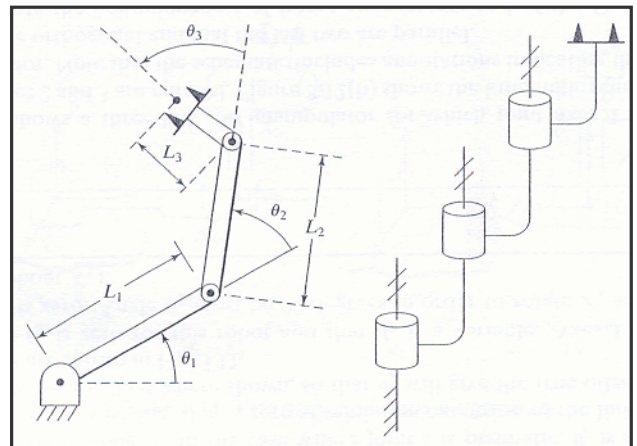
b. Usando a função **$MGD_DH(PJ_DH)$** obtenha as **matrizes de cinemática directa ${}^0_2 A$ e ${}^0_H A$** para as situações:

- $q = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3]^T = [0^\circ \ 0^\circ \ 0^\circ]^T$
- $q = [10^\circ \ 20^\circ \ 30^\circ]^T$
- $q = [90^\circ \ 90^\circ \ 90^\circ]^T$

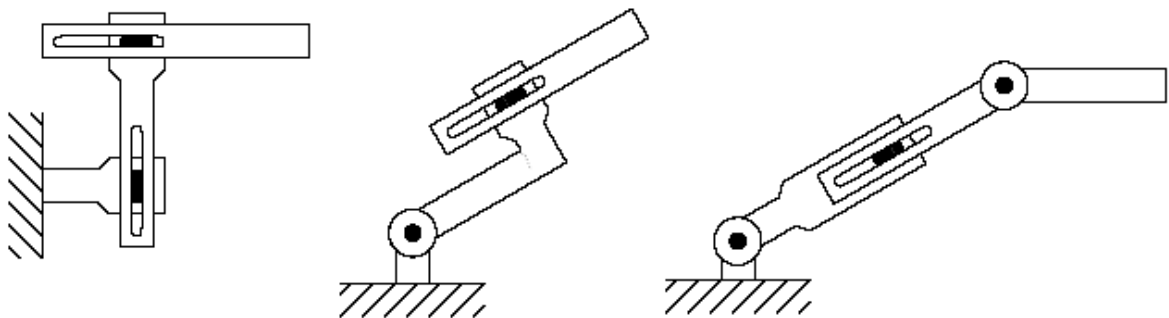
Confirme **visualmente (desenho)** os resultados obtidos.

c. Confirme todos os seus resultados usando as **funções da toolbox Robotics**.

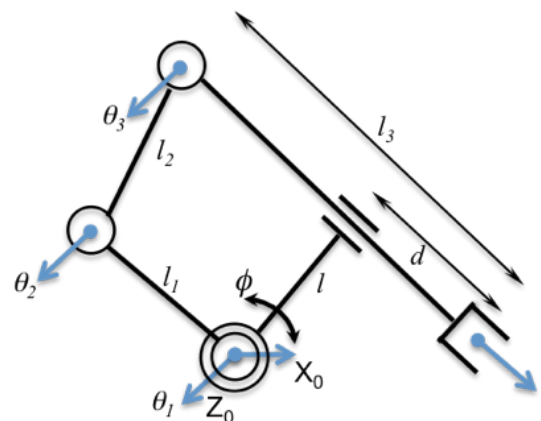
d. Deduza analiticamente a solução de cinemática inversa para o referido manipulador. Dada uma transformação ${}^0_H T$, calcule todas as possíveis soluções para $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$.



- e. Com base nas expressões deduzidas analiticamente em d), implemente uma função em MATLAB que resolva o problema da cinemática inversa deste manipulador. Teste os resultados para as matrizes ${}^0_H A$ obtidas em b) (validação circular). Confirme os valores obtidos comparando-os com os resultados obtidos com a função da toolbox.
- Obtenha os parâmetros de D-H dos 3 manipuladores planares que se apresentam.
 - Usando as funções da toolbox Robotics, represente graficamente os robôs.
 - Imagine que acoplava um punho esférico a estes manipuladores. Obtenha os parâmetros de D-H e represente-os graficamente usando as funções da toolbox Robotics. Confirme os resultados usando a função *MGD_DH(PJ_DH)*.
 - Obtenha o modelo geométrico inverso para os manipuladores apresentados. Verifique a validade das soluções encontradas recorrendo às funções da Toolbox Robotics.
 - Confirme a validade da solução encontrada usando as funções da toolbox Robotics.



- Considere o sistema manipulador em malha fechada que se apresenta na figura. O sistema é constituído por dois mecanismos cooperantes que permitem o deslocamento linear da garra função do ângulo de orientação ϕ .
 - Apresente o modelo geométrico direto deste sistema manipulador;
 - Obtenha as expressões para as variáveis de junta $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$ função da



variável de orientação do mecanismo ϕ e amplitude de deslocamento d .

3. Sabendo que $l_1 = l_2 = \sqrt{2} \cdot l$, calcule o comprimento de elo l_3 que assegura a máxima amplitude de movimento d .

4. Usando as funções disponíveis na Toolbox Robotics, apresente graficamente a estrutura articulada e demonstre a funcionalidade do modelo geométrico inverso anteriormente obtido.

- Considere um manipulador RRP equipado com uma garra esférica ao qual corresponde a tabela de Denavit–Hartenberg que se apresenta. O vector das variáveis de junta é dado por $q = [\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6]^T$.

	θ_i	d_i	a_i	α_i
0 -> 1	$\pi/2 + \theta_1$	10	0	$-\pi/2$
1 -> 2	$-\pi/2 + \theta_2$	0	0	$-\pi/2$
2 -> 3	0°	d_3	0	0°
3 -> 4	θ_4	0	0	$-\pi/2$
4 -> 5	θ_5	0	0	$\pi/2$
5 -> G	θ_6	1	0	0°

Obtenha:

- O desenho esquemático do manipulador na sua posição de “home”;
Usando a Toolbox Robotics, apresente a estrutura geométrica do manipulador e confirme o desenho esquemático anteriormente obtido.
- As expressões de cinemática inversa do manipulador; Verifique a validade das soluções encontradas recorrendo às funções da Toolbox Robotics.
- Confirme a validade da solução encontrada usando as funções da toolbox Robotics.