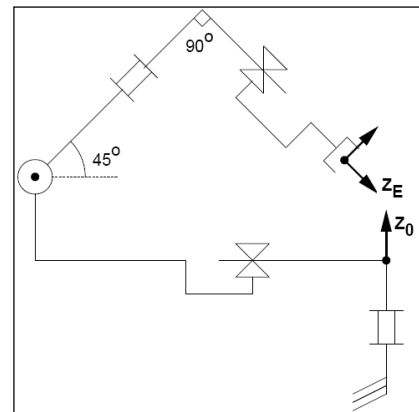


Modelo Geométrico Directo e Inverso de manipuladores

HOMEWORK #2

Data de Entrega: 11 de Novembro 2018

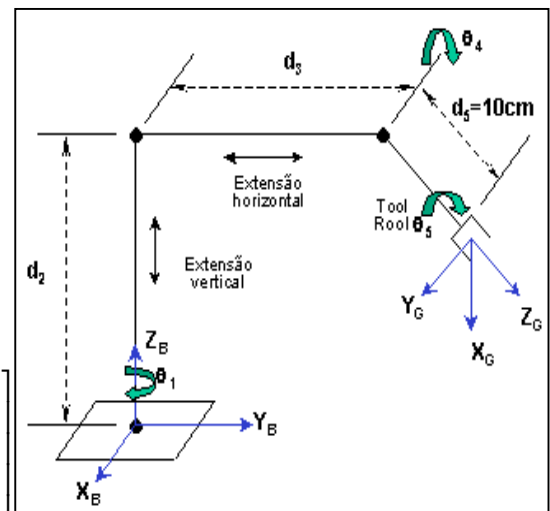
- Observe o esquemático do manipulador RPRRP que se apresenta. Atribua os sistemas de coordenadas de cada elo e indique os parâmetros cinemáticos do manipulador usando o algoritmo de Denavith-Hartenberg.



- 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

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



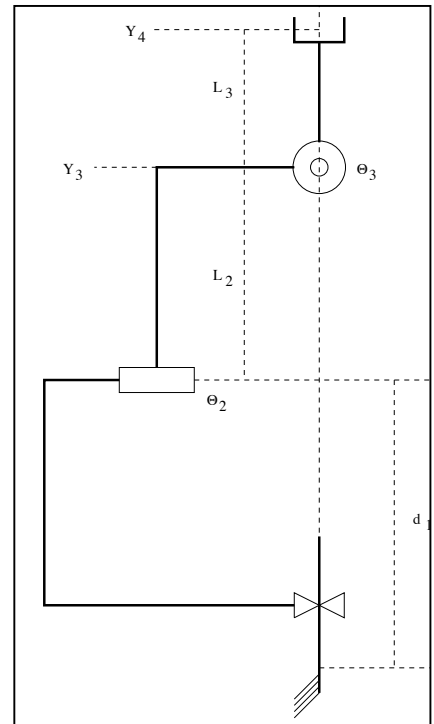
obtenha os valores de $\theta_1, d_2, d_3, \theta_4$ e θ_5 para essa posição.

- 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.

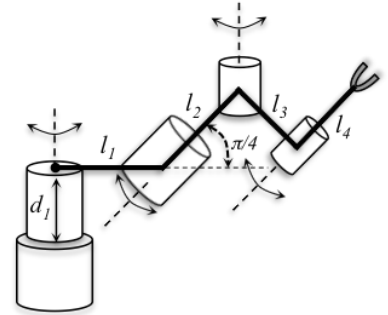
- Identifique os parâmetros de Denavit–Hartenberg $[\theta, d, a, \alpha]$ da matrix

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

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 (${}^{i-1}_iT$).



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;

- 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”;
- O modelo geométrico direto do manipulador;
- As expressões de cinemática inversa do manipulador;

- Considere o manipulador PRRRP que se apresenta na figura.

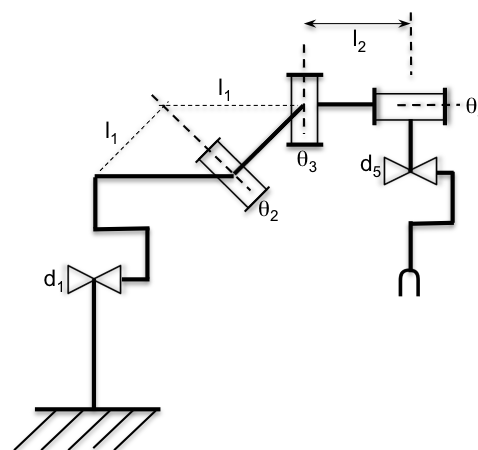
Obtenha a tabela dos parâmetros de D-H (standard).

- Transfira o esquemático do manipulador para a folha de prova e acrescente os referenciais necessários à obtenção do modelo geométrico direto do manipulador.

- Apresente as matrizes de transformação associadas a cada elo (${}^{i-1}_iT$) e a matriz de transformação 0_GT .

- Desenhe o espaço de trabalho do manipulador, considerando as seguintes amplitudes de movimento para as juntas:

$$d_1 = [0..25]\text{cm}; \quad q_2 = [0^\circ..+180^\circ]; \quad q_3 = [-90^\circ..+90^\circ]; \quad q_4 = [-90^\circ..+90^\circ]; \\ d_5 = [0..25]\text{cm};$$



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

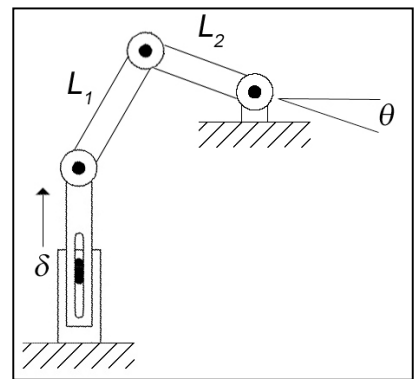
- Considere o manipulador RRRR cujos parâmetros de DH são apresentados na tabela.

	θ_i	d_i	a_i	α_i	Offset
0 → 1	θ_1	0	l_1	$-\pi/2$	0
1 → 2	θ_2	0	l_2	$\pi/2$	0
2 → 3	θ_3	0	0	$\pi/2$	$\pi/2$
3 → 4	θ_4	d	0	0	0

- Desenhe o esquemático do manipulador na sua posição de repouso (“home”). Apresente os eixos x_i e z_i dos sistemas referenciais associados a cada junta.
- Conhecendo a matriz de “pose” do “end-effector” no referencial base (0_4T), i.e., conhecendo 0_4R e ${}^0p_{04}$, obtenha a expressão que permite conhecer ${}^0p_{02}$.
- Obtenha as expressões de cinemática inversa para as juntas do manipulador, i.e, $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$. Considere comprimentos unitários para l_1, l_2, d .

- Considere o robot planar PRRR apresentado na figura.

- Obtenha o modelo geométrico do manipulador de acordo com a metodologia de D-H standard
- Assumindo que os três elos apresentam um comprimento L e que o eixo prismático realiza um deslocamento $d_1 = \delta$, obtenha $\theta = f(\delta, L)$. Considere que os pontos de acoplamento de ambas as extremidades do manipulador estão afastadas $\begin{bmatrix} x & 0 & z \end{bmatrix}$, sendo que $x = z = 1.5L$.



LABWORK #2

- Observe o **rôbo 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 .

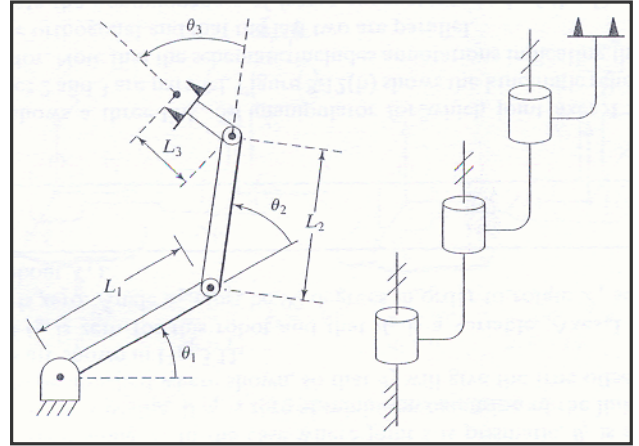
b. Usando a função $MGD_DH(PJ_DH)$ obtenha as matrizes de cinemática directa 0_2A e 0_HA para as situações:

i. $q = [\theta_1 \quad \theta_2 \quad \theta_3]^T = [0^\circ \quad 0^\circ \quad 0^\circ]^T$

ii. $q = [10^\circ \quad 20^\circ \quad 30^\circ]^T$

iii. $q = [90^\circ \quad 90^\circ \quad 90^\circ]^T$

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_HT , 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_HA obtidas em b) (validação circular). Confirme os valores obtidos comparando-os com os resultados obtidos com a função da toolbox.

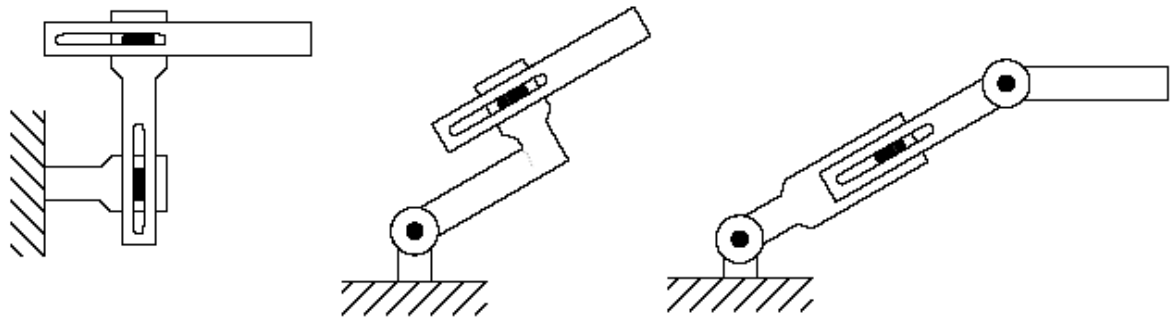
- Obtenha os **parâmetros de D-H dos 3 manipuladores planares** que se apresentam.

a. Usando as funções da toolbox Robotics, **represente graficamente** os robôs.

b. 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 $MGD_DH(PJ_DH)$.

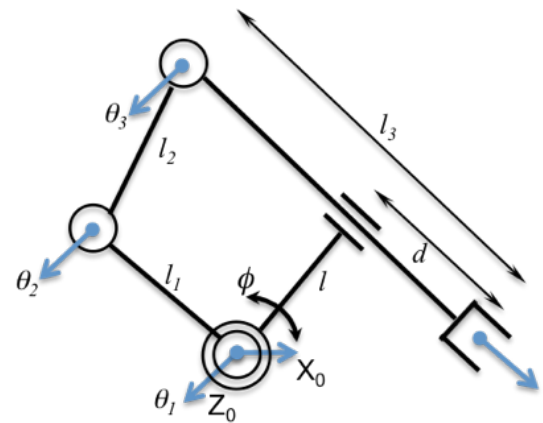
c. Obtenha o **modelo geométrico inverso** para os manipuladores apresentados. **Verifique a validade das soluções** encontradas recorrendo às funções da Toolbox Robotics.

d. **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 .

1. Apresente o modelo geométrico direto deste sistema manipulador;
2. 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.