Universidade Federal de Lavras

Engenharia de Controle e Automação

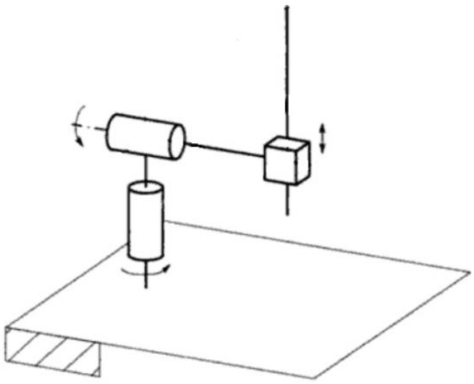
Robótica | *Exercício*

Professor: Leonardo Paiva

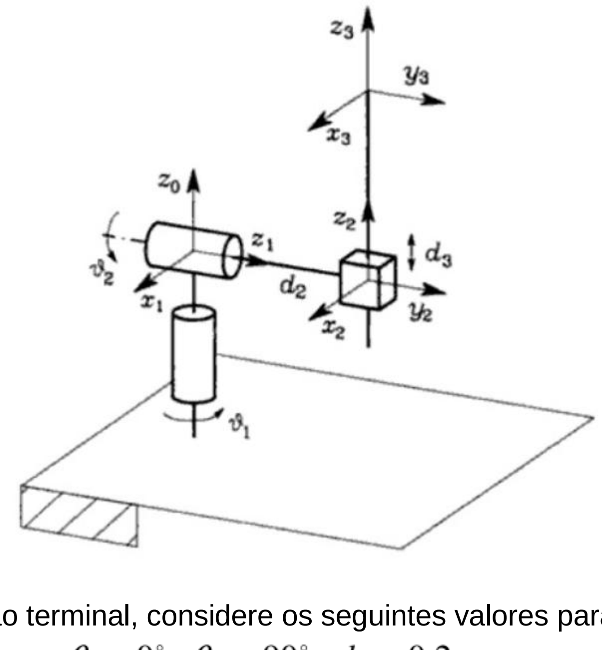
Data:

Aluno:

Exercício 1) Determine os parâmetros DH do robô esférico abaixo, e depois descreva o órgão terminal com relação ao sistema da origem.



Utilize os sistemas de coordenadas do manipulador, conforme figura abaixo



Para calcular a posição do órgão terminal, considere os seguintes valores para as variáveis das juntas:

$$\theta_1 = 0^\circ,\ \theta_2 = 90^\circ,\ d_3 = 0{,}2m$$

Assumimos também que d1 = d2 = 0,4m.

Considerando que a descrição do centro do órgão terminal, com relação ao sistema 3, é:

$$p_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$$

Calcule a descrição do órgão terminal em relação a base:

Exercício 2) Validação do modelo de Denavit-Hartenberg.

O presente texto foi retirado do artigo " MODELAGEM CINEMÁTICA DE UM ROBÔ MANIPULADOR" apresentado no COBENGE 2006.

"... *O eixo referencial foi estabelecido com uma altura de 9,3cm a partir de um plano fixado como base do manipulador. O primeiro elo, a partir do eixo referencial, possui comprimento de 19,1cm, enquanto que o segundo possui 19,3cm de comprimento. O efetuador foi posicionado no punho, com um comprimento de 3,7cm. Nas Figuras 2 e 3 são demonstrados detalhes da estrutura do protótipo e na Tabela 1 são relacionados os ângulos das juntas e o comprimento dos elos*...".

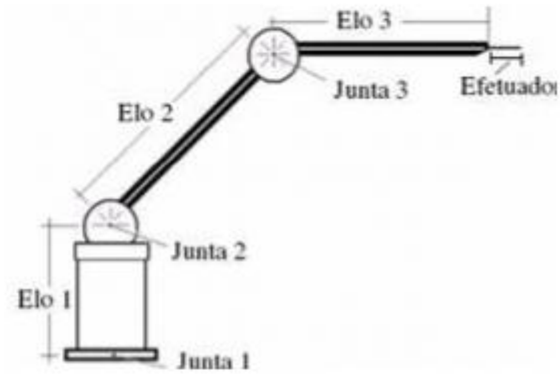


Figura 2- Detalhes da cadeia cinemática do protótipo.

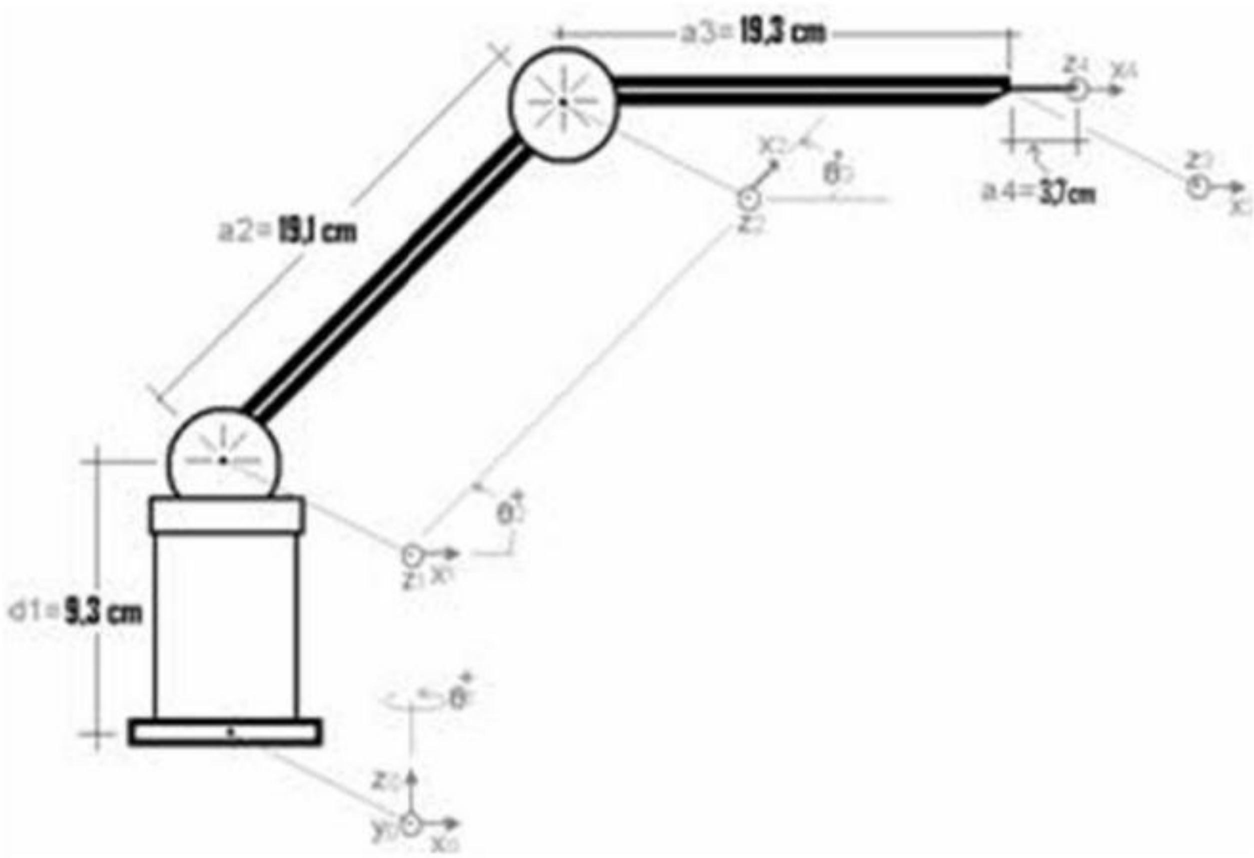
Figura 3- Protótipo da cadeia cinemática do robô manipulador.

Tabela 1- Elementos da Cadeia Cinemática

ELEMENTO	RANGE	DIMENSÃO
Junta 1	0° / 90°	---------
Elo 1	---------	9,3 cm
Junta 2	0° / 90°	---------
Elo 2	---------	19,1 cm
Junta 3	-90° / 0°	---------
Elo 3	---------	19,3 cm
Efetuador	---------	3,7 cm

"...*Como pode ser visto na Figura 3, os elos do manipulador foram constituídos por perfis de alumínio. Para a tomada das medidas dos parâmetros do manipulador e da posição final do* *efetuador, foi fixada uma folha de papel milimetrado na base do protótipo e uma escala em cada uma das juntas*...".

Abaixo segue a cadeia cinemática com os parâmetros de Denavit-Hartenberg



Com base no que foi dado até o momento, pede-se:

a) Determinação das matrizes homogêneas parciais

b) Determinação da matriz homogênea total

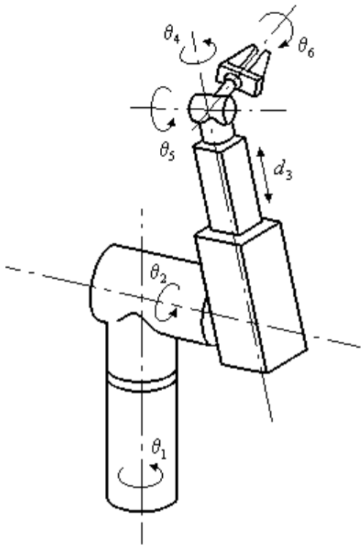
c) Validação do modelo encontrado para um posicionamento de

$$\varphi_1 = 45°,\ \varphi_2 = 90° \text{ e } \varphi_3 = -70°.$$

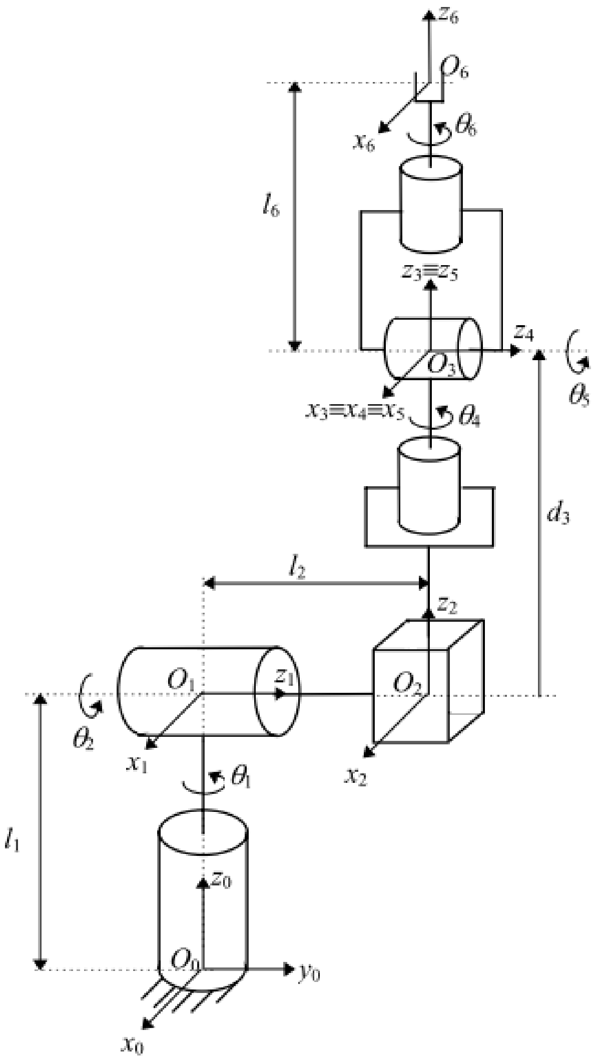
d) Para os valores medidos qual o erro relativo encontrado pelo método teórico
os valores medidos são: X = 15,3 cm; Y = 15,3 cm e Z = 36,3 cm.

Exercício 3)

Robô de Stanford. A Figura abaixo apresenta o robô de Stanford de 6 graus de liberdade, sendo 5 articulações de revolução e uma prismática.



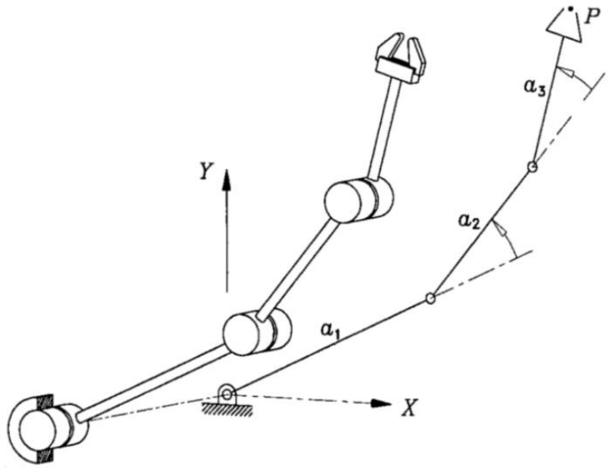
A próxima Figura apresenta um esquema deste robô com as suas articulações e com os sistemas de coordenadas posicionados nos ligamentos.



Dada a posição do manipulador apresentada acima, determine os parâmetros de D.H. bem como as matrizes de transformações homogêneas parciais e a matriz de transformação homogênea total.

Exercício 4)

Para o robô planar de três graus de liberdade abaixo:

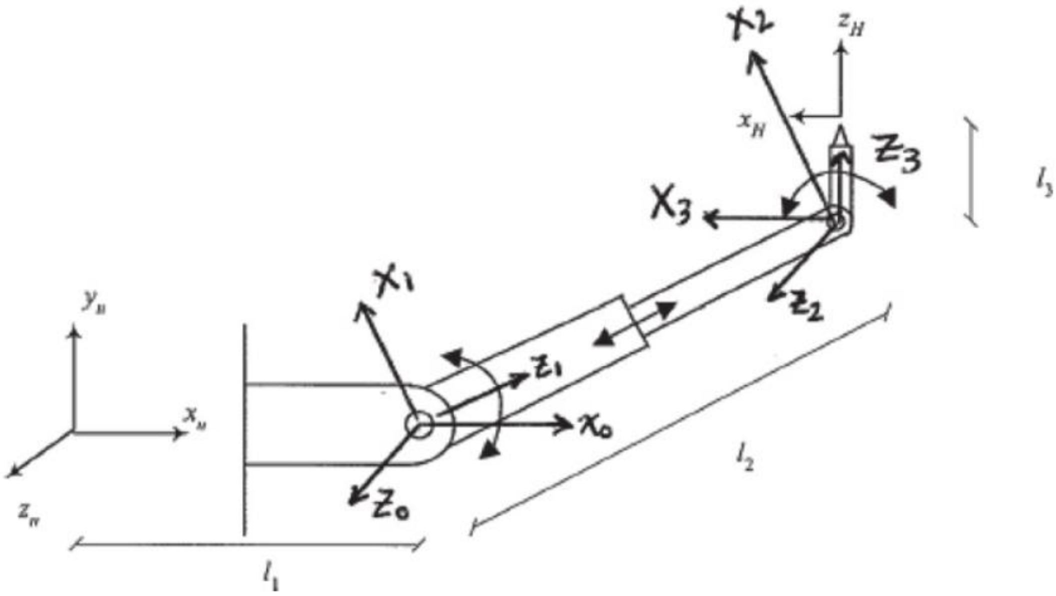


a) Determine os parâmetros DH;

b) Explique o significado de cada um dos parâmetros encontrados

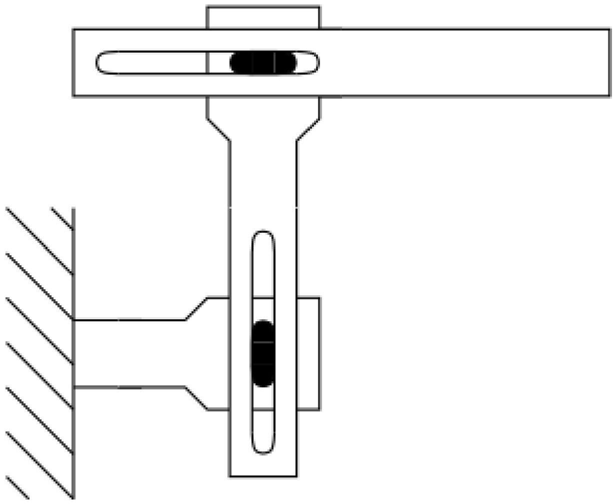
c) Determine a posição do órgão terminal para os seguintes parâmetros:
a1 = a2 = a3 = 40cm ;
θ1= 30º
θ2 = 0º
θ3 = 45º

Exercício 5) Um robô de pulverização especial de 3-DOF foi concebido como se segue:

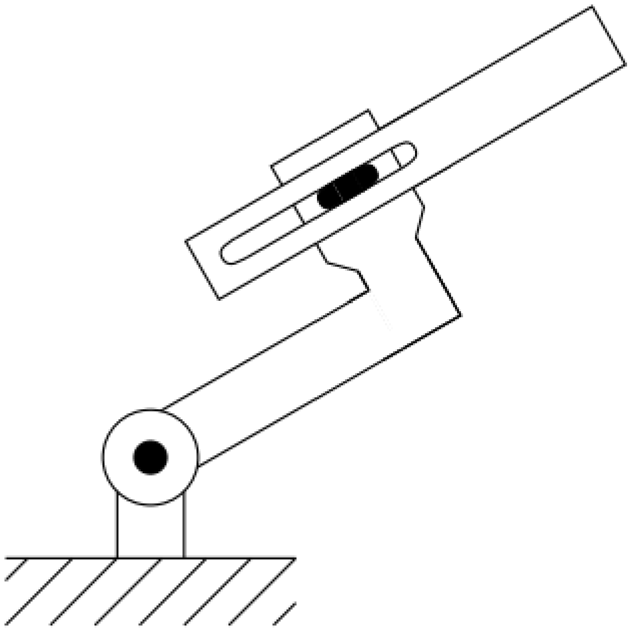


- Preencha a tabela de parâmetros.
- Escreva todas as matrizes A.
- Escreva a matriz ${}^{U}T_{H}$ em função das matrizes A.

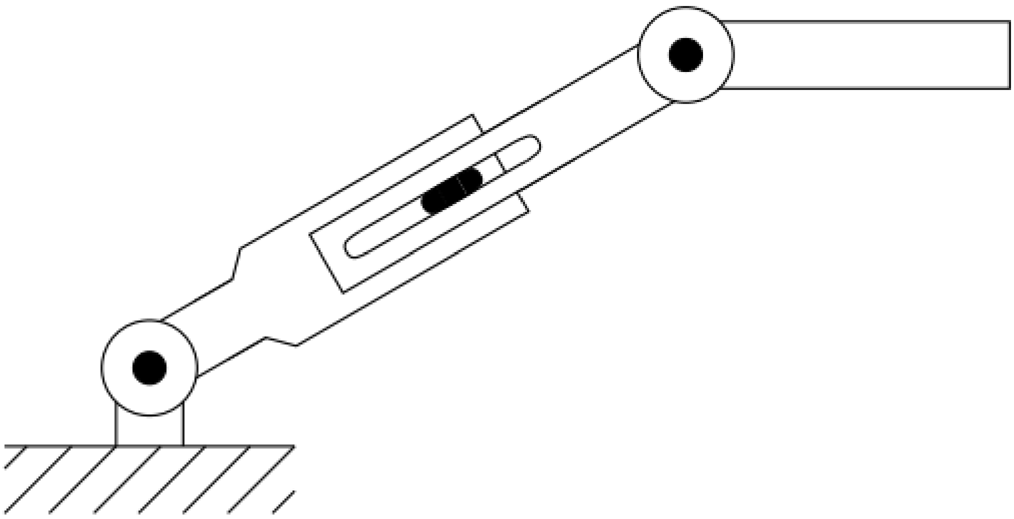
Exercício 6) Consider the two-link cartesian manipulator. Derive the forward kinematic equations using the DH-convention.



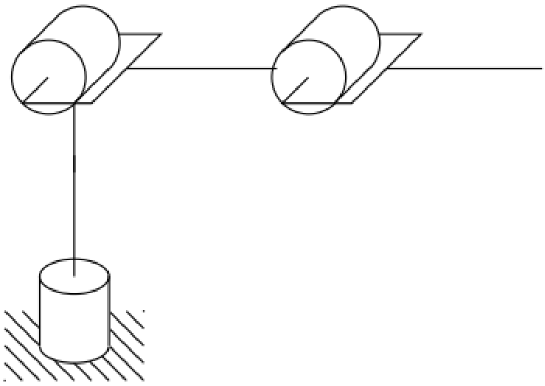
Exercício 7) Consider the two-link manipulator which has joint 1 revolute and joint 2 prismatic. Derive the forward kinematic equations using the DH-convention.



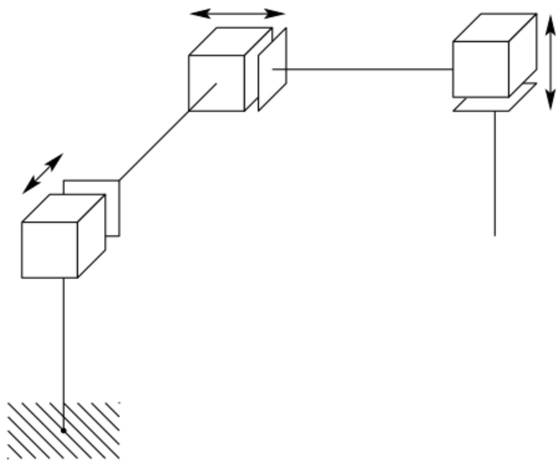
Exercício 8) Consider the three-link planar manipulator. Derive the forward kinematic equations using the DH-convention.



Exercício 9) Consider the three-link articulated robot. Derive the forward kinematic equations using the DH-convention.

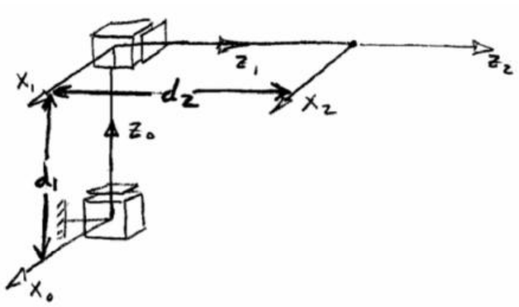


Exercício 10) Consider the three-link cartesian manipulator. Derive the forward kinematic equations using the DH-convention.



Resolução

6)

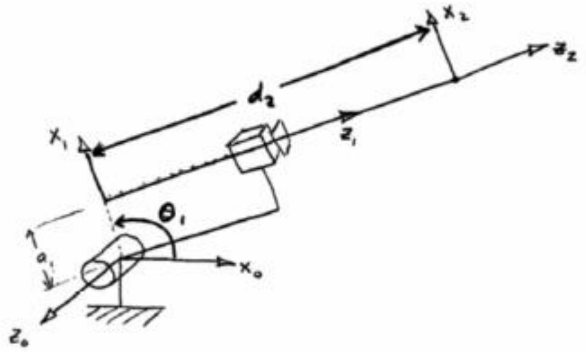


link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	-90°	d_1	0
2	0	0	d_2	0

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \qquad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_0^2 = A_1 A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

7)

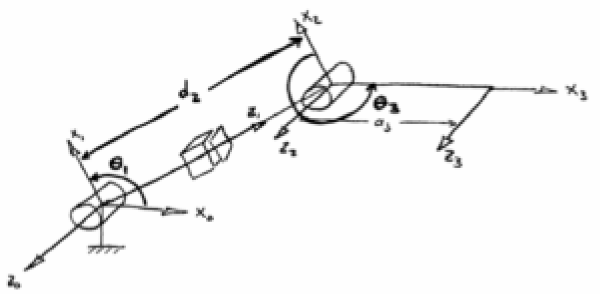


link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	90°	0	θ_1
2	0	-90°	d_2	0
3	a_3	0	d_3	θ_3

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} ; A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_0^2 = A_1 A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

8)



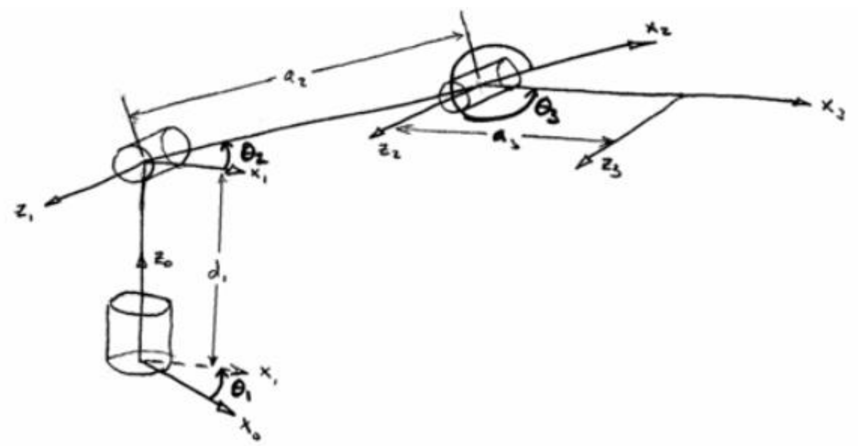
link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	90°	0	θ_1
2	0	-90°	d_2	0
3	a_3	0	d_3	θ_3

$$A_1 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} ; A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & a_3 c_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & a_3 s_3 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_0^3 = A_1 A_2 A_3 = \begin{bmatrix} c_{13} & -s_{13} & 0 & s_1 d_2 + a_3 c_{13} \\ s_{13} & c_{13} & 0 & -c_1 d_2 + a_3 s_{13} \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

9)



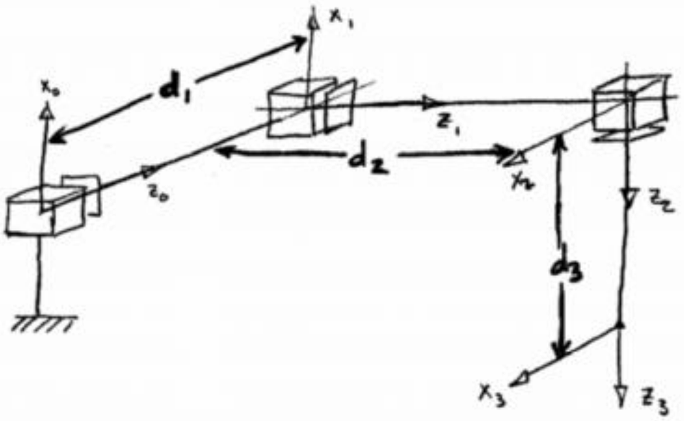
link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	90	0	θ_1
2	a_2	0	0	θ_2
3	a_3	0	0	θ_3

$$A_1 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & -c_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_2 = \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & a_2c_2 \\ s_2 & c_2 & 0 & a_2s_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_3 = \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & a_3c_3 \\ s_3 & c_3 & 0 & a_3s_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

where

$$\begin{aligned}
r_{11} &= c_1c_2c_3 - c_1s_2s_3 = c_1c_{23} \\
r_{12} &= -c_1c_2s_3 - c_1c_3c_2 = -c_1s_{23} \\
r_{13} &= s_1 \\
d_x &= a_2a_2c_1c_2 + a_3c_1c_2c_3 - a_3c_1s_2s_3 = a_2c_1c_2 + a_3c_1c_{23} \\
r_{21} &= c_2c_3s_1 - s_1s_2s_3 = x_1c_{23} \\
r_{22} &= -c_2s_1s_3 - c_3s_1s_2 = -s_1s_{23} \\
r_{23} &= -c_1 \\
d_y &= a_2c_2s_1 + a_3c_2c_3s_1 - a_3s_1s_2s_3 = a_2c_2s_1 + a_3s_1c_{23} \\
r_{31} &= c_2s_3 + c_3s_2 = s_{23} \\
r_{32} &= c_2c_3 - s_2s_3 = c_{23} \\
r_{33} &= 0 \\
d_z &= a_2s_2 + a_3c_2s_3 + a_3c_3s_2 = a_2s_2 + a_3s_{23}
\end{aligned}$$

10)



link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	$-90°$	d_1	0
2	0	$90°$	d_2	$90°$
3	0	0	d_3	$-90°$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_0^3 \quad = \quad A_1 A_2 A_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & d_3 \\ -1 & 0 & 0 & d_2 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$