

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ROBOTİĞE GİRİŞ FİNAL SINAV SORULARI 09.01.2015

Sınav süresi **150** dakikadır. Cevaplar okunaklı ve anlaşılır olarak yazılmalıdır. Aksi takdirde yapılanlar dikkate alınmayacaktır. Başarılar dilerim.

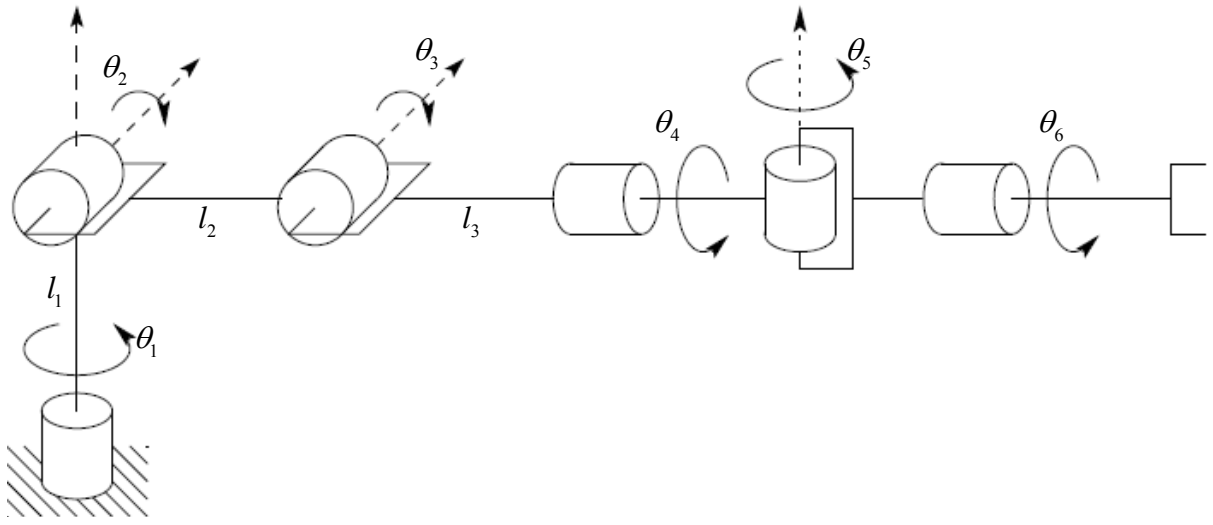
Y.Doç.Dr. Yunus Ziya Arslan

Öğrenci adı:

Numarası:

SORU 1.

Aşağıdaki 6 serbestlik dereceli robotun Denavit-Hartenberg parametrelerini elde ediniz.

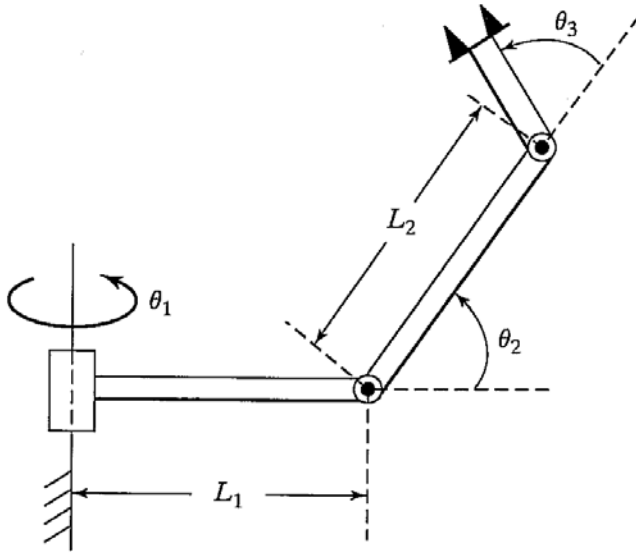


i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
-----	----------------	-----------	-------	------------

SORU 2. Aşağıda görülen 3 serbestlik dereceli robotun;

- Koordinat eksenlerini, şekil üzerinde, ilgili eklemlere yerleştirerek Denavit-Hartenberg parametrelerini elde ediniz. Koordinat eksenlerini, robotların üzerlerinde belirtilen tüm parametreleri işleme katacak şekilde yerleştiriniz. Kendiniz parametre atamayınız.

- ii) Robotun eklem parametrelerini bildiğimiz varsayılırsa düz (forward) kinematik analiz yolu ile (transformasyon matrislerini kullanarak) uç noktanın pozisyonunu (P_x, P_y, P_z) bulunuz.
- iii) Robotun uç noktasının pozisyonunu ve oryantasyonunu bildiğimiz varsayılırsa ters (inverse) kinematik analiz yolu (transformasyon matrislerini kullanarak) ile eklem parametrelerini bulunuz.
- iv) Robotun, $\{0\}$. Frame göre Jacobian'ını $({}^0J(d, \theta))$ elde ediniz.
- v) Robotun uç noktasına $F(t) = F_x(t)\vec{i} + F_y(t)\vec{j} + F_z(t)\vec{k}$ kuvveti etkiyorsa, bu kuvvetin eklemlerde oluşturduğu momentleri Jacobian matrisi kullanarak hesaplayınız.



DH Parametreleri				
i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i

Not:

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1}d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
ROBOTİĞE GİRİŞ FİNAL SINAV SORULARI **09.01.2015**

Sınav süresi 150 dakikadır. Cevaplar okunaklı ve anlaşılır olarak yazılmalıdır. Aksi takdirde yapılanlar dikkate alınmayacaktır. Başarılar dilerim.

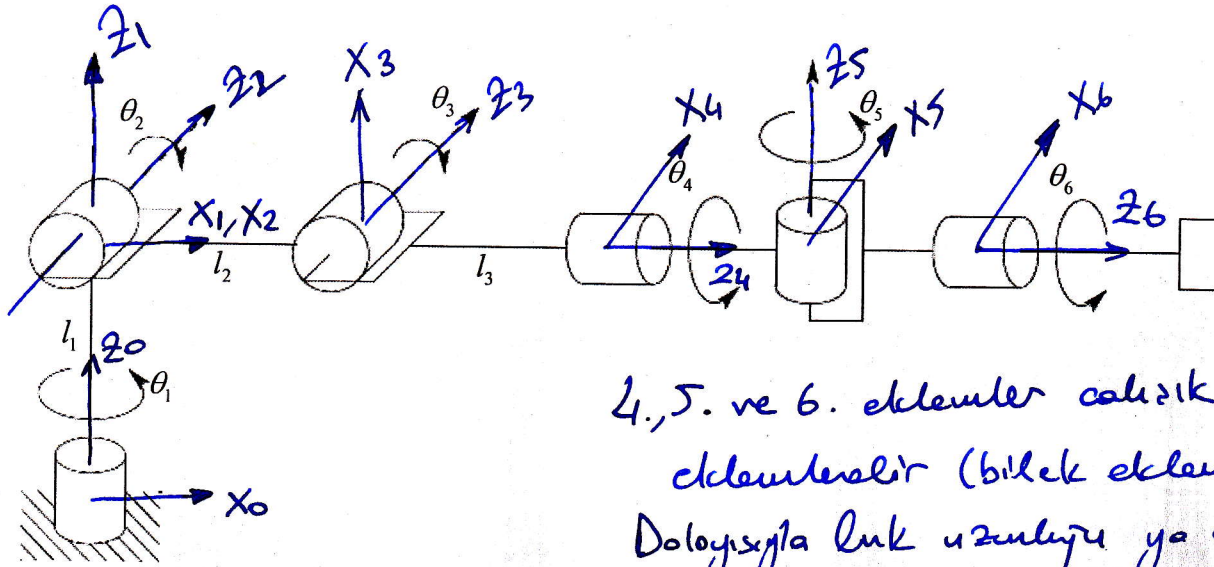
Y.Doç.Dr. Yunus Ziya Arslan

Öğrenci adı:

Numarası:

SORU 1.

Aşağıdaki 6 serbestlik dereceli robotun Denavit-Hartenberg parametrelerini elde ediniz.



4., 5. ve 6. eklemler calizik eklemlerdir (bilek eklemi gibi). Dolayısıyla link uzunluğu ya da offset (a, d) yoktur.

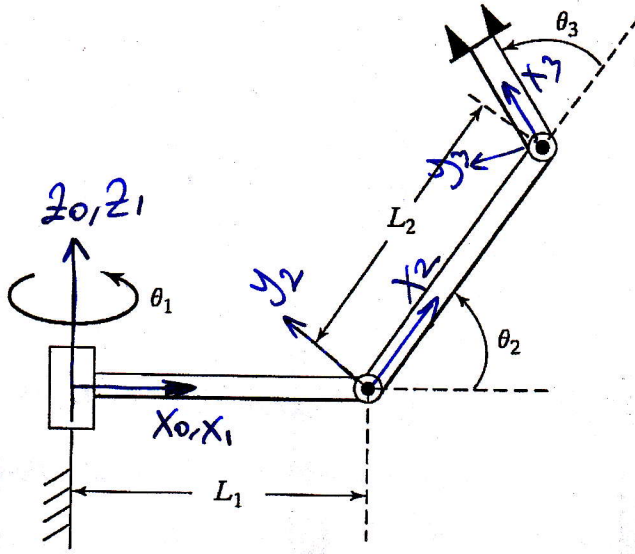
i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	l_1	θ_1
2	-90	0	0	θ_2
3	0	l_2	0	$\theta_3 - 90$
4	-90	0	l_3	$\theta_4 - 90$
5	-90	0	0	θ_5
6	90	0	0	θ_6

Yalnızca θ_3 yazılırsa da kabul edilebilir. " " " " "

SORU 2. Aşağıda görülen 3 serbestlik dereceli robotun;

- i) Koordinat eksenlerini, şekil üzerinde, ilgili eklemlere yerleştirerek Denavit-Hartenberg parametrelerini elde ediniz. Koordinat eksenlerini, robotların üzerlerinde belirtilen tüm parametreleri işleme katacak şekilde yerleştiriniz. Kendiniz parametre atamayınız.

- ii) Robotun eklem parametrelerini bildiğimiz varsayılırsa düz (forward) kinematik analiz yolu ile (transformasyon matrislerini kullanarak) uç noktanın pozisyonunu (P_x, P_y, P_z) bulunuz.
- iii) Robotun uç noktasının pozisyonunu ve oryantasyonunu bildiğimiz varsayılırsa ters (inverse) kinematik analiz yolu (transformasyon matrislerini kullanarak) ile eklem parametrelerini bulunuz.
- iv) Robotun, $\{0\}$. Frame göre Jacobian'ını $({}^0J(d, \theta))$ elde ediniz.
- v) Robotun uç noktasına $F(t) = F_x(t)\vec{i} + F_y(t)\vec{j} + F_z(t)\vec{k}$ kuvveti etkiliyorsa, bu kuvvetin eklemlerde oluşturduğu momentleri Jacobian matrisi kullanarak hesaplayınız.



DH Parametreleri

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	90	L_1	0	θ_2
3	0	L_2	0	θ_3

Not:

$${}_{i-1}T_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1}d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(ii)

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & 0 \\ S_1 & C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1_2T = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & l_2 \\ S_3 & C_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow {}^0_1T \cdot {}^1_2T \cdot {}^2_3T = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} & -C_1 S_{23} & S_1 & C_1 (l_2 C_2 + l_1) \\ S_1 C_{23} & -S_1 S_{23} & -C_1 & S_1 (l_1 + l_2 C_2) \\ S_{23} & C_{23} & 0 & S_2 l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Rightarrow P_x = l_1 C_1 + l_2 C_1 C_2$$

$$P_y = l_1 S_1 + l_2 S_1 C_2$$

$$P_z = l_2 S_2$$

(iii)

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & P_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & P_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 C_{23} & -C_1 S_{23} & S_1 & C_1 (l_2 C_2 + l_1) \\ S_1 C_{23} & -S_1 S_{23} & -C_1 & S_1 (l_1 + l_2 C_2) \\ S_{23} & C_{23} & 0 & S_2 l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Known (bilinier)

Bilineariter.
(Unknown)

$$S_1 = r_{13}$$

$$C_1 = -r_{23}$$

$$\Rightarrow \theta_1 = \text{Atan} 2(r_{13}, -r_{23})$$

$$S_2 L_2 = P_2 \rightarrow S_2 = \frac{P_2}{L_2}$$

$$C_2 = \pm \sqrt{1 - S_2^2}$$

$$\Rightarrow \theta_2 = \text{Atan} 2(S_2, C_2)$$

$$r_{31} = S_{23}$$

$$r_{32} = C_{23}$$

$$\Rightarrow \theta_2 + \theta_3 = \text{Atan} 2(r_{31}, r_{32})$$

$$\Rightarrow \theta_3 = \text{Atan} 2(r_{31}, r_{32}) - \text{Atan} 2(S_2, C_2)$$

iv

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_x}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_x}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_x}{\partial \theta_3} \\ \frac{\partial P_y}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_y}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_y}{\partial \theta_3} \\ \frac{\partial P_z}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_z}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_z}{\partial \theta_3} \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} -l_1 S_1 - l_2 S_1 C_2 & -l_2 C_1 S_2 & 0 \\ l_1 C_1 + l_2 C_1 C_2 & -l_2 S_1 S_2 & 0 \\ 0 & l_2 C_2 & 0 \end{bmatrix}$$

