



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مکانیک

پروژه درس رباتیک

ربات 6 درجه آزادی Kinova gen3

نگارش

حنانه زندوکیلی-نیوشا تحصیلی

استاد

دکتر حامد غفاری راد

خرداد-1402

چکیده

ابتدا معرفی ربات، فرم گذاری مناسب و استخراج جدول دینوییت هارتنبرگ انجام شده. سینماتیک مستقیم و سینماتیک معکوس ربات 6 درجه آزادی Kinova gen3 به کمک کد زنی در MATLAB صورت گرفته. همچنین برای سینماتیک مستقیم و معکوس از ابزار پیتراکورک هم استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی:

رباتیک، ربات، Kinova gen3، سینماتیک مستقیم، سینماتیک معکوس، MATLAB، دینوییت- هارتنبرگ، peter-corke.

صفحه

فهرست عناوین

1	مقدمه.....	1
3	روبات kinova gen3.....	2
4	2.1 معرفی ربات.....	
7	2.2 ابعاد ربات و فرم گذاری.....	
10	3 سینماتیک ربات.....	3
10	3.1 سینماتیک مسقیم.....	
	3.1.1 استخراج جدول دنوییت-هارتنبرگ.....	
		10
	3.1.2 ماتریس های تبدیل.....	
		10
11	3.2 سینماتیک معکوس.....	
	3.2.1 محاسبات دستی مربوط به سینماتیک معکوس و بررسی تعدد جواب.....	
		11
15	3.3 حالات تکین ربات.....	
16	3.4 صحنه گذاری سینماتیک.....	

صفحه	فهرست اشکال
2	شکل 1-1 ربات Kinova gen3
4	شکل ربات 2-1 Kinova gen3-6DOF
5	شکل ربات 2-2 Kinova gen3-7DOF
6	شکل 2-3 ربات Kinova gen3 با جهت گیری های مختلف
7	شکل 2-4 فضای کاری ربات
8	شکل 2-5 فرم گذاری

صفحه

فهرست جداول

5	جدول 1-1 مشخصات ربات.....
7	جدول 2-1 جدول ابعاد ربات.....
10	جدول 3-1 دینوییت-هارتنبرگ.....
15	جدول 3-2 نقاط تکین.....

فهرست علائم

α

β

γ

π

1

فصل اول

مقدمه

مقدمه

پروژه ربات 6 درجه آزادی Kinova gen3 شامل: فرم گذاری، استخراج جدول پارامترهای DH، ماتریس های تبدیل همگن، سینماتیک مستقیم موقعیت و جهت گیری، حل تحلیلی سینماتیک معکوس، بررسی تعداد جواب سینماتیک معکوس، بررسی سینماتیک مستقیم و معکوس برای چند وضعیت متفاوت و صحنه گذاری، می باشد.



شکل 1-1) ربات Kinova gen3

2

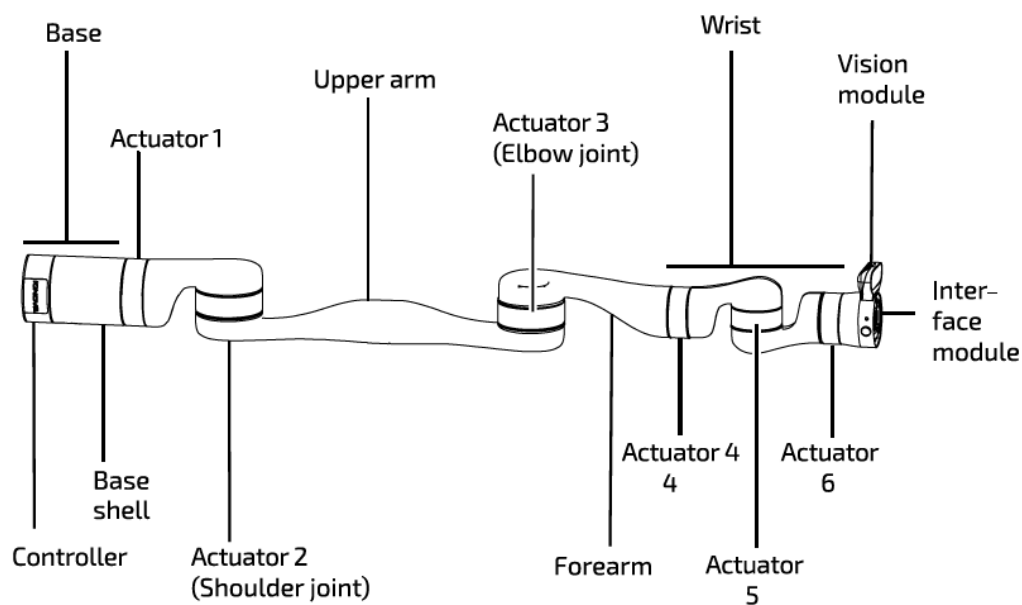
فصل دوم

ربات Kinova gen3

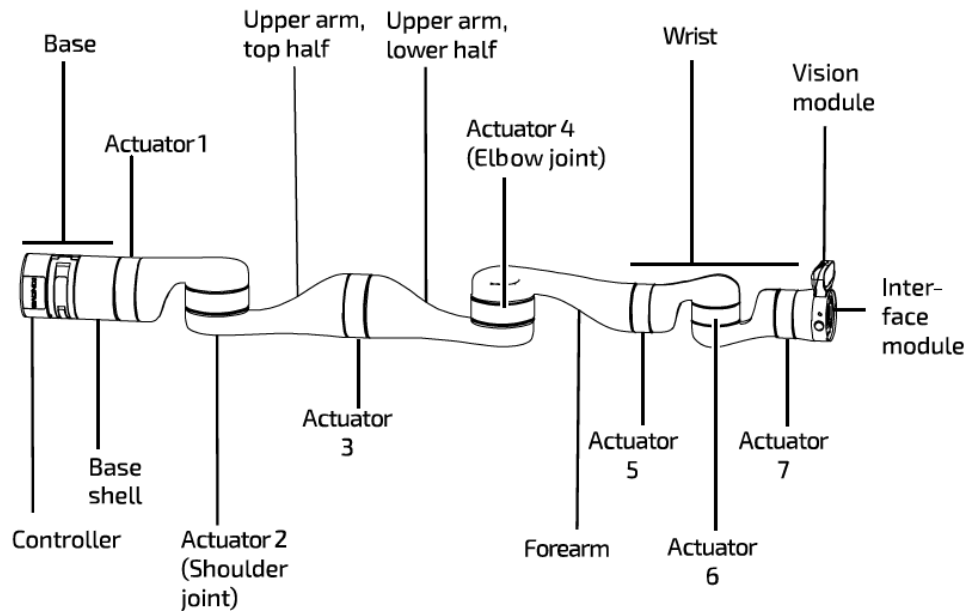
2.1 معرفی ربات

ربات **Kinova Gen3 Ultra lightweight** دارای دو صورت 6 درجه آزادی و 7 درجه آزادی موجود می-باشد. ربات شامل بخش های زیر است:

- base
- actuators
- interface module
- vision module (option)



شکل 2-1 Kinova gen3-6DOF



شکل 2-2 Kinova gen3-6DOF

جدول 2-1 مشخصات ربات

DOF	6	7
Payload(full-range continuous)	2 kg	
Payload(mid-range continuous)	4 kg	
Total weight	7.2 kg	8.2 kg
Maximum reach	891 mm	
Maximum speed	50 cm/s	
Actuator joint range	infinite	
Power supply voltage	20 to 30 VDC, 24 VDC nominal	
Average power	36 W	
Ingress protection	IP33	

ویژگی و قابلیت های ربات شامل:

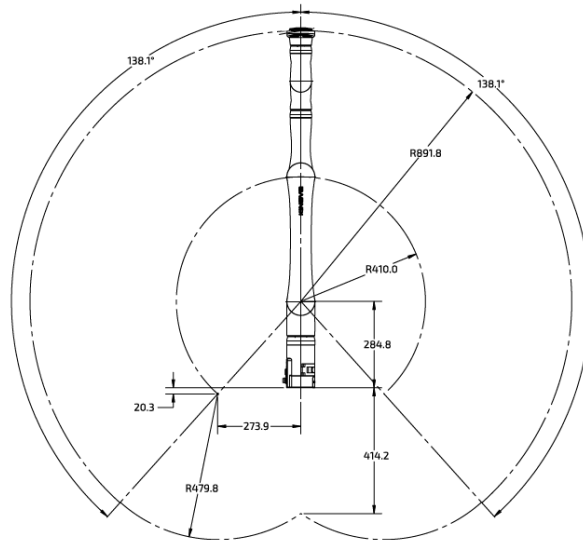
- کنترل high-level و low-level (1kHz low-level closed-loop control)
- چرخش بی نهایت در تمام مفاصل
- محرک های هوشمند با سنسورهای گشتاور یکپارچه
- ماژول دید 2D/3D

- Actuator های کارآمد و شفاف با کنترلر تعبیه شده.
 - این ربات به زبان شما صحبت می کند: با استفاده از نرم افزار Kinova Kortex™ API. علاوه بر این، می توانید از برنامه وب Kinova Kortex در هر دسکتاپ یا دستگاه تلفن همراه استفاده کنید.
 - به لطف کنترلر تعبیه شده، footprint کوچک، سبکی و مصرف کم انرژی، Gen3 Kinova کاندیدای ایده آل برای mobile robots است.
 - عمر باتری بیشتر، عیب یابی سریعتر، نسبت بار به وزن باورنکردنی نیز از مزایای آن است.
 - از ساده به پیچیده طیف وسیعی از عملیات را آزمایش و انجام می دهد:
- dynamic grasping
 - vision-based manipulation
 - dexterous assembly
 - haptics
 - deep learning
 - mobile manipulation



شکل 2-3) ربات Kinova gen3 با جهت گیری های مختلف

فضای کاری ربات در شکل نمایش داده شده:



شکل 2-4) فضای کاری ربات

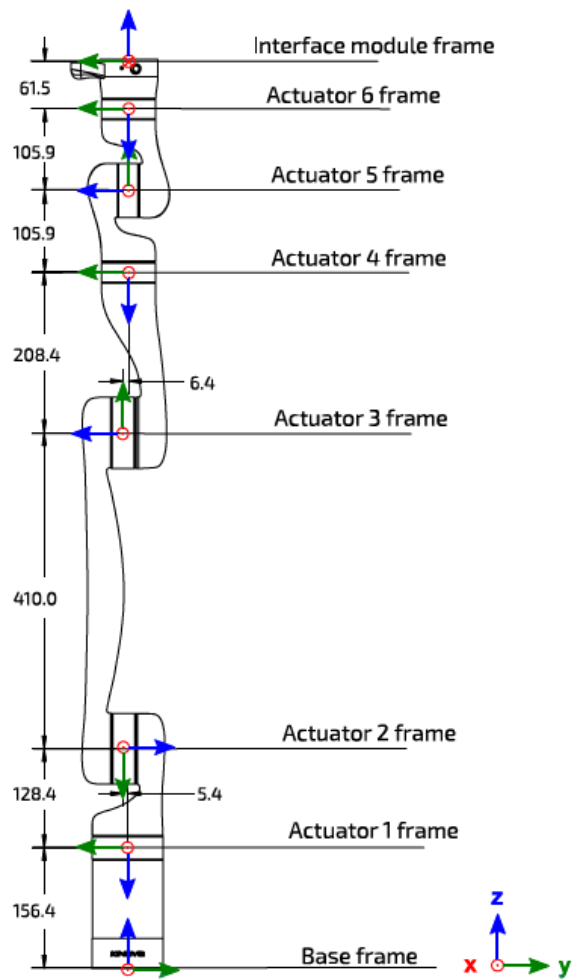
در این پروژه نسخه 6 درجه آزادی ربات، شامل با 6 مفصل دورانی مورد بررسی قرار گرفته است

2.2 ابعاد ربات و فرم گذاری

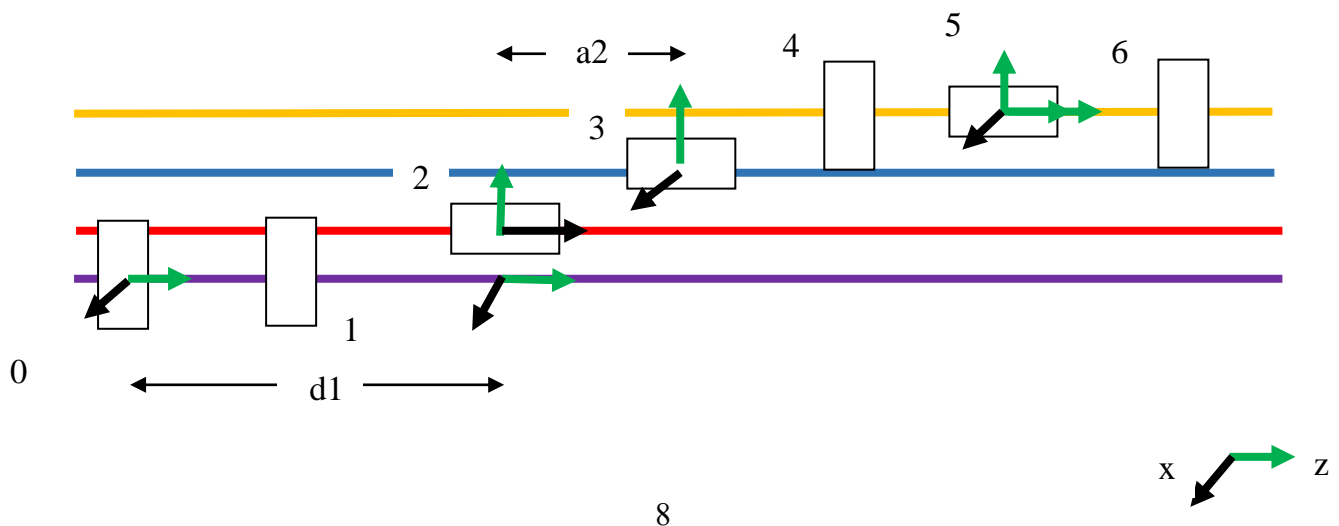
باتوجه به فرم گذاری انجام شده خواهیم داشت:

جدول 2-1) جدول ابعاد ربات.

Description	Length[mm]
Base to actuator 1	156.4
Base to shoulder	284.8
Upper arm length	410
Forearm Length (elbow to wrist)	208.4
First wrist length	105.9
Second wrist length	105.9
Last actuator to interface module	61.5
Joint 1-2 offset	5.4
Joint 3-4 offset	6.4



شکل 5-2) فرم گذاری



3

فصل سوم

سینماتیک ربات

3.1 سینماتیک مستقیم

در این بخش، هدف محاسبه موقعیت مفاصل و عملگر نهایی در فضای کارترین، با معلوم بودن زوایای هر مفصل در فضای کارترین، با معلوم بودن زوایای هر مفصل در فضای مفصلی می‌باشد. به گونه‌ای که با داشتن متغیرهای مربوط به ربات در فضای مفصلی، بتوان رابطه‌ای برای موقعیت و وضعیت عملگر نهایی در فضای کارترین استخراج نمود.

3.1.1 استخراج جدول دینوییت-هارتنبرگ

با توجه به دستگاه مختصات انتخاب شده جدول دینوییت-هارتنبرگ به شکل زیر خواهد بود.

جدول 1-3) دینوییت-هارتنبرگ

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	156.4+128.4	θ_1
2	90	0	5.4	$\theta_1 + 90$
3	0	2×210.4	3×6.4	$\theta_3 - 90$
4	-90	0	105.9+208.4	θ_4
5	90	0	0	θ_5
6	-90	0	0	θ_6

3.1.2 ماتریس‌های تبدیل:

برای مشخص کردن position و orientation اندافتور ماتریس ${}^{i-1}T_i$ برای تمامی لینک‌ها نوشته میشود. نتایج آن از کد متلب قرار داده شده در فایل قابل استخراج است.

3.2 سینماتیک معکوس

از روش های Algebraic (جبری) ، Algebraic by reduction to polynomial و Pieper (روش سوم: استفاده از ست زوایای-ویلری Z-Y-Z) برای استخراج زوایا استفاده شده است. محاسبات دستی و نحوه استخراج در بخش بعدی آورده شده. همچنین نتایج با استفاده از کد متلب قرار داده شده قابل استخراج می باشند.

3.2.1 محاسبات دستی مربوط به سینماتیک معکوس و بررسی تعداد

جواب

$$\begin{aligned}
 P_{4ORG}^0 &= T_1^0 T_2^1 T_3^2 P_{4ORG}^3 = T_1^0 T_2^1 \underbrace{\begin{bmatrix} s_3 & c_3 & 0 & a_3 \\ c_3 & s_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ 1 \end{bmatrix}} \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ d_4 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}}_{\begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ 1 \end{bmatrix}} = T_1^0 \begin{bmatrix} -s_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -d_2 \\ c_2 & -s_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} c_1 g_1 - s_1 g_2 \\ s_1 g_1 + c_1 g_2 \\ d_1 + g_3 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} f_1 = c_3 d_4 + a_2 \\ f_2 = s_3 d_4 \\ f_3 = d_3 \end{cases} \quad \begin{cases} g_1 = -s_2 f_1 - c_2 f_2 = -s_2 c_3 d_4 - s_2 a_2 - c_2 s_3 d_4 = -s_{23} d_4 - s_2 a_2 \\ g_2 = -f_3 = -d_3 \\ g_3 = c_2 f_1 - s_2 f_2 = c_2 c_3 d_4 + c_2 a_2 - s_2 s_3 d_4 = c_{23} d_4 + c_2 a_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_3 = f_1^2 + f_2^2 + d_3^2 + d_1^2 \\ k_2 = f_2 \\ k_1 = f_1 \end{cases}$$

$$r = x^2 + y^2 + z^2$$

$$x = c_1 g_1 - s_1 g_1$$

$$z = d_1 + g_3 = d_1 + c_{23} d_4 + c_2 a_2$$

$$x^2 + y^2 = g_1^2 + g_2^2 = d_3^2 + s_{23}^2 d_4^2 + s_2^2 a_2^2 + 2d_4 a_2 s_2 s_{23}$$

$$r = g_1^2 + g_2^2 + (g_3 + d_1)^2 = d_4^2 + a_2^2 + d_1^2 + d_3^2 + 2d_4 a_2 c_3 + 2d_1 a_2 c_3 + 2d_1 d_4 c_{23} + 2d_1 c_2 a_2$$

$$\begin{cases} r = f_1^2 + f_2^2 + d_3^2 + d_1^2 + 2d_1 c_2 f_1 - 2d_1 s_2 f_2 = -k_3 + 2d_1 (k_1 c_2 - k_2 s_2) = k_3 + 2d_1 (z - d_1) \\ z = d_1 + c_2 f_1 - s_2 f_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow k_3 = r - 2d_1 (z - d_1) = f_1^2 + f_2^2 + d_3^2 + d_1^2 \rightarrow f_1^2 + f_2^2 = r - 2d_1 z - d_3^2$$

$$\rightarrow c_3^2 d_4^2 + a_2^2 + 2c_3 d_4 a_2 + s_3^2 d_4^2 = r - 2d_1 z - d_3^2 \rightarrow 2c_3 d_4 a_2 = \underbrace{r - 2d_1 z - d_3^2 - d_4^2 - a_2^2}_{P_1}$$

$$\rightarrow c_3 = \frac{P_1}{2d_4a_2} \quad s_3 = \pm\sqrt{1 - c_3^2} \quad \rightarrow \quad \theta_3 = \text{Atan2}(s_3, c_3)$$

$$z = d_1 + g_3 = d_1 + (c_2c_3 - s_2s_3)d_4 + c_2a_2$$

$$\underbrace{(a_2 + d_4c_3)}_a c_2 - \underbrace{(s_3d_4)}_b s_2 = \underbrace{z - d_1}_c$$

$$\theta_2 = 2tg^{-1}\left\{\frac{b \pm \sqrt{b^2 + a^2 - c^2}}{a + c}\right\}$$

$$x = c_1g_1 - s_1g_2 \rightarrow \theta_1 = 2tg^{-1}\left\{\frac{b \pm \sqrt{b^2 + a^2 - c^2}}{a + c}\right\}$$

$$R_6^0 = \begin{bmatrix} A & B & J \\ D & E & F \\ G & H & I \end{bmatrix}$$

$$\left. \begin{array}{l} I = c_\beta \\ G^2 + H^2 = s_\beta \end{array} \right\} \beta = \theta_5 \quad \text{دو جواب}$$

$$\left. \begin{array}{l} J = c_\alpha s_\beta \\ F = s_\alpha c_\beta \end{array} \right\} \alpha = \theta_4 \quad \text{دو جواب}$$

$$\left. \begin{array}{l} G = -s_\beta c_\gamma \\ H = s_\beta s_\gamma \end{array} \right\} \gamma = \theta_6 \quad \text{دو جواب}$$

3.3 حالات تکین ربات:

Singularity	Definition	Description
Boundary singularity	The robot is at full extension.	The robot will slowly try to reach a straight position. If you try to move the robot purely in the x or y direction starting from this position, you will not be able to. The robot will follow the command as best as possible. It will move in x and y while going down in the z direction.
Joints 1 and 4 singularity	Joints 2 and 3 are at 0° so that joints 1 and 4 are aligned.	Due to singularity crossing algorithm, the robot will make a minor deviation from a straight line trajectory when going through this pose in Cartesian mode.

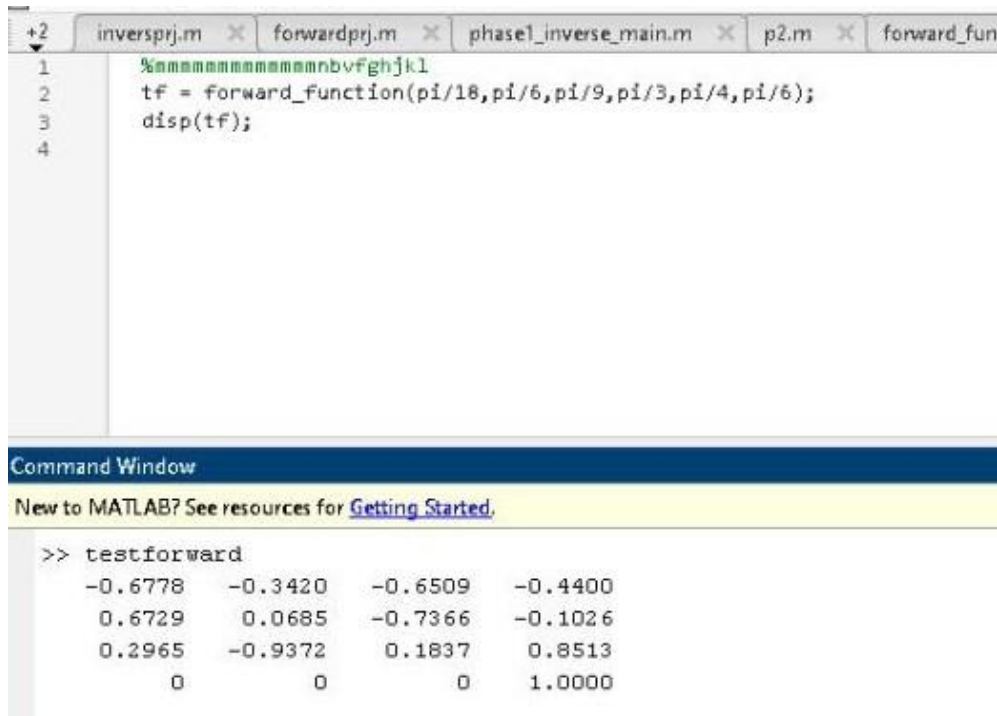
Singularity	Definition	Description
Joints 1 and 6 singularity	Joints 2, 3, and 5 are at a position such that Joints 1 and 6 are aligned and have the same effect. Happens if $\theta_2 + \theta_3 + \theta_5 = 0$ if θ is defined between $\pm \pi$.	Due to singularity crossing algorithm, the robot will make a minor deviation from a straight line trajectory when going through this pose in Cartesian mode.
Joints 4 and 6 singularity	Joint 5 is at 0° so joints 4 and 6 are perfectly aligned and have the same effect.	Due to singularity crossing algorithm, the robot will make a minor deviation from a straight line trajectory when going through this pose in Cartesian mode.

جدول 2-3) نقاط تکین

3.4 صحنه گذاری سینماتیک

چند نمونه صحنه گذاری در این بخش آورده شده. لازم به ذکر است که صحنه گذاری با پیتز کورک نیز انجام شده و کد آن در فایل قرار داده شده قابل ملاحظه است و از قرار دادن نتایج آن اجتناب شده.

نتایج صحنه گذاری اول:



The image shows a MATLAB script editor with several tabs: 'inversprj.m', 'forwardprj.m', 'phase1_inverse_main.m', 'p2.m', and 'forward_fun'. The script in the active tab contains the following code:

```
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%bvfghjkl
2 tf = forward_function(pi/18,pi/6,pi/9,pi/3,pi/4,pi/6);
3 disp(tf);
4
```

Below the script editor is the Command Window, which displays the output of the script:

```
>> testforward
-0.6778    -0.3420    -0.6509    -0.4400
 0.6729     0.0685    -0.7366    -0.1026
 0.2965    -0.9372     0.1837     0.8513
         0         0         0         1.0000
```



```

forward.m x clcT.m x inversprj.m x forwardprj.m x forward_function.m x
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%bvfgghjkl
2 tf = forward_function(0,pi/7,pi/4,pi/13,pi/8,pi/10);
3 disp(tf);
4

Command Window

New to MATLAB? See resources for Getting Started.

>> testinverse
    0.0113    0.4494    0.7845    0.2127   -0.3906    0.3414

>>

```

نتایج صحه گذاری سوم:

```

forward.m x clcT.m x inversprj.m x forwardprj.m x forward_funct
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%bvfgghjkl
2 tf = forward_function(pi/17,pi/6,pi/8,pi/10,pi/2,pi/3);
3 disp(tf);
4

Command Window

New to MATLAB? See resources for Getting Started.

>> testforward
   -0.7014    0.4955   -0.5123   -0.4474
    0.7068    0.5764   -0.4101   -0.1087
    0.0921   -0.6498   -0.7545    0.8406
         0         0         0         1.0000

```

```

forward.m x clcT.m x inversprj.m x forwardprj.m x forward_function.m x
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%bvfgghjkl
2 tf = forward_function(pi/17,pi/6,pi/8,pi/10,pi/2,pi/3);
3 disp(tf);
4

```

Command Window

New to MATLAB? See resources for [Getting Started.](#)

```

>> testinverse
    0.1966    0.5251    0.3898    0.3069   -1.5693    1.0565

```

نتایج صحنه گذاری چهارم:

```

forward.m x clcT.m x inversprj.m x forwardprj.m x forward_!
1 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%bvfgghjkl
2 tf = forward_function(pi/12,pi/18,pi/36,0,pi/11,pi/5);
3 disp(tf);
4

```

Command Window

New to MATLAB? See resources for [Getting Started.](#)

```

>> testforward
    0.5151   -0.6942   -0.5027   -0.1428
    0.7466    0.6515   -0.1347   -0.0637
    0.4211   -0.3059    0.8539    1.0028
         0         0         0         1.0000

```

	forward.m	clcT.m	inversprj.m	forwardprj.m	forward_function.m
1	%mjhbdjkwefssssp111111				
2	r06 = [0.5151 -0.6942 -0.5027;				
3	0.7466 0.6515 -0.1347;				
4	0.4211 -0.3059 0.8539];				
5	ti = inverse_function(-0.1428,-0.0637,1.0028,r06);				
6	disp(ti);				
7					

Command Window					
New to MATLAB? See resources for Getting Started .					
>> testinverse					
0.2965	0.1803	0.0762	-0.0629	-0.2912	0.6588

منابع و مراجع

[1]

جزوه

رباتیک

استاد

غفاری

پیوست ها

فایل تمامی کدها مربوط به سینماتیک مستقیم و معکوس و CAD در پوشه موجود می باشد.

با تشکر از توجه شما