Fondamenti di robotica

Andrea Monguzzi, Paolo Rocco

Cinematica del robot

Esercizio 1 – Cinematica del manipolatore UR5

Si consideri il manipolatore UR5 riportato in fig. 1:

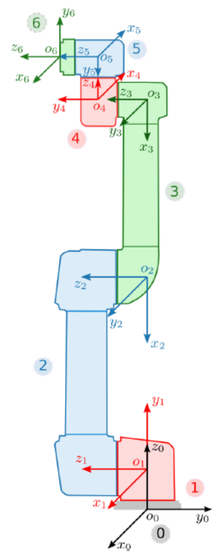


Figura 1

1.1 Si compili la tabella dei parametri di Denavit-Hartenberg.

1.2 Si assuma $d_1 = 0.08916, d_4 = 0.10915, d_5 = 0.09465, d_6 = 0.0823$ e $a_2 = -0.425, a_3 = -0.39225$. Con il costrutto `Link` si istanzino in Matlab i sei link del manipolatore e con il costrutto `SerialLink` il manipolatore nel suo complesso;

Tabella dei parametri di DH:

Link i	d_i [m]	a_i [m]	α_i [rad]
1	0.08916	0.0	$\pi/2$
2	0.0	−0.425	0
3	0.0	−0.39225	0
4	0.10915	0.0	$\pi/2$
5	0.09465	0.0	$-\pi/2$
6	0.0823	0.0	0

1.3 Con l'istruzione `plot` si visualizzi il manipolatore nella postura rappresentata in fig 1 corrispondente alle seguenti coordinate di giunto: $q_{init} = \left[0, -\frac{\pi}{2}, 0, -\frac{\pi}{2}, 0, -\pi\right]$. Si ottiene la configurazione riportata in fig.2.

1.4 Con l'istruzione `fkine` si determini la cinematica diretta del manipolatore nella postura relativa alla posizione assunta per le seguenti variabili di giunto:
$q_1 = [\frac{\pi}{4}, -\frac{3\pi}{4}, -\frac{\pi}{3}, -\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{3}]$. Si mostri poi il manipolatore in tale configurazione usando il comando `plot`. (Nota: usare la funzione `pause` per visualizzare una figura per volta). Si ottiene il risultato mostrato in fig3.

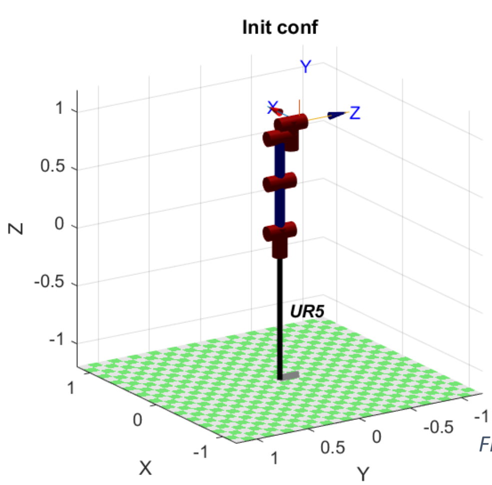


Figura 2

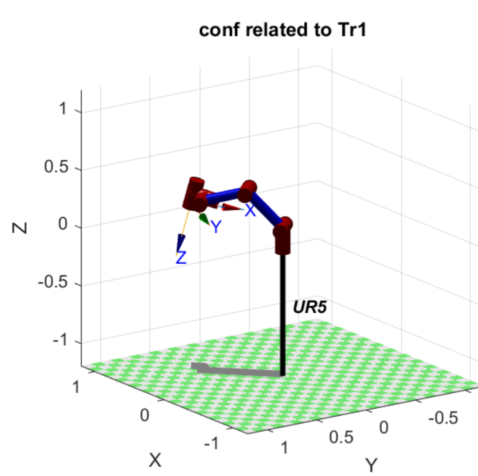


Figura 3

1.5 Con l’istruzione `jacob0` si calcoli lo Jacobiano geometrico del manipolatore nella postura q_1 (assegnata al punto precedente) e si verifichi che il robot non si trova in configurazione singolare.

1.6 Verificare che le configurazioni riportate di seguito corrispondono a configurazioni singolari:

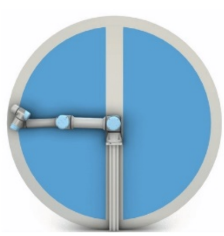
$$q_{sing1} = [0, -\frac{\pi}{6}, 0, \frac{\pi}{12}, \frac{\pi}{2}, 0] \ , q_{sing2} = [15.62, -146.55, 134.73, -184.53, 255.22, -2.10] \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$q_{sing3} = [\frac{\pi}{4}, -\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3}, -\frac{\pi}{6}, 0, \frac{\pi}{12}]$$

Singolarità di gomito (fig 4, q_{sing1}):

Avviene quando il secondo e il terzo link sono allineati, ovvero se $\theta_3 = 0$ oppure $\theta_3 = \pi$. L’effetto risultante è che il gomito si blocca in questa posizione.

Nota: la sfera in blu rappresenta il workspace raccomandato in cui muovere l’end effector per evitare le singolarità di gomito o spalla.



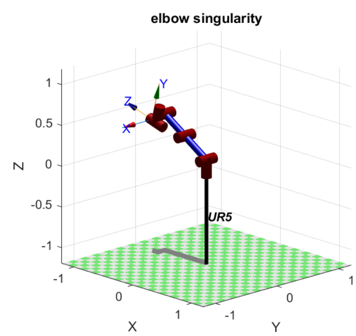
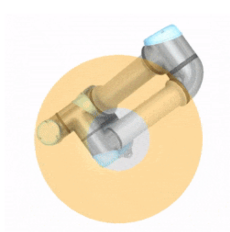
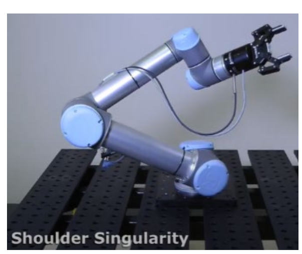


Figura 4

Singolarità di spalla (si noti che l’UR5 non ha polso sferico)(fig 5, q_{sing2}):

Avviene quando il punto di intersezione degli assi dei giunti 5 e 6 giace nel piano contenente gli assi dei giunti 1 e 2. Comporta una rotazione istantanea di 180° dei giunti 1 e 4.





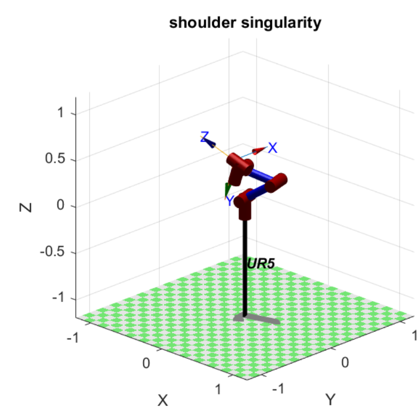
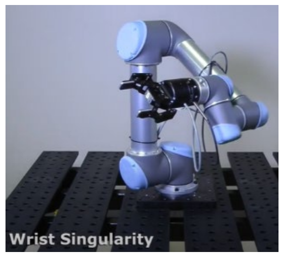


Figura 5

Singolarità di polso (si noti che l'UR5 non ha polso sferico) (fig 6, q_{sing3}):

Avviene quando gli assi del giunto 4 e 6 sono paralleli, ovvero per $\theta_5 = 0$ oppure $\theta_5 = \pi$, limitando la serie di possibili movimenti del manipolatore (i giunti 2,3,4 ruotano sempre nello stesso piano, se questa singolarità è presente anche il giunto 6 ruota su questo piano). Comporta una rotazione istantanea di 180° dei giunti 4 e 6.



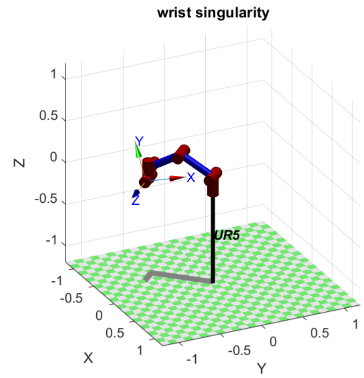


Figura 6

1.7 Usando un metodo di cinematica inversa (istruzione `ikine)`, calcolare i valori dei giunti corrispondenti all'end effector con posizione nel punto $p_{ee} = [0.5, 0, 0.25]$ e con lo stesso orientamento della terna base. Usare l'istruzione `plot` per visualizzare il manipolatore in questa configurazione (fig 7).

1.7 Usare il metodo `.teach` per visualizzare il manipolatore in una data configurazione (ad esempio quella appena calcolata) e controllare poi il valore delle variabili di giunto manualmente tramite l'interfaccia.

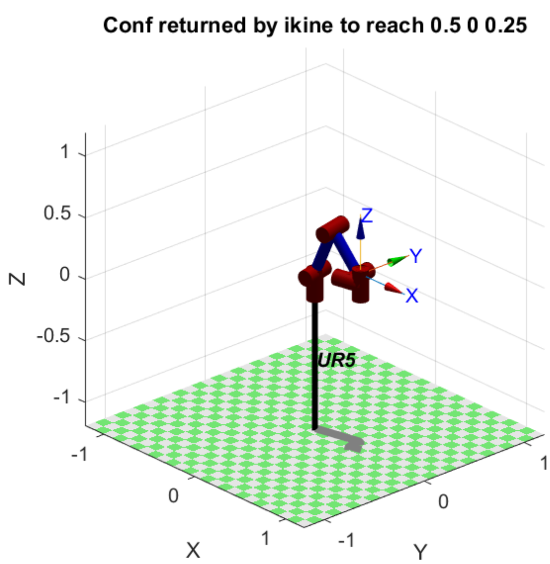


Figura 7

Esercizio 2 –Definizione dello spazio di lavoro di un manipolatore planare a tre link

2.1 Si consideri il manipolatore planare a 3 link mostrato in fig 8. Si compili la tabella dei parametri di Denavit- Hartenberg.

2.2 Si assuma $a_1 = 0.5,\ a_2 = 0.3,\ a_3 = 0.2$. Con il costrutto `Link` si istanzino in Matlab i tre link del manipolatore e tramite il costrutto `.qlim` si impongano i seguenti vincoli di giunto: $-\frac{\pi}{3} \leq \theta_1 \leq \frac{\pi}{3}$,

$-\frac{2\pi}{3} \leq \theta_2 \leq \frac{2\pi}{3}$, $-\frac{\pi}{2} \leq \theta_3 \leq \frac{\pi}{2}$. Istanziare infine con il costrutto `SerialLink` il manipolatore.

Tabella dei parametri di DH:

link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	a_1	0	0	θ_1
2	a_2	0	0	θ_2
3	a_3	0	0	θ_3

2.3 Utilizzare il comando `.plot` per visualizzare il manipolatore nella configurazione caratterizzata dalle seguenti coordinate di giunto $q = [0,0,0]$.

2.4 Determinare lo spazio di lavoro per punti, discretizzando le escursioni angolari consentite ai giunti. Calcolare quindi la corrispondente posizione della terna end-effector e, tramite il comando `plot` rappresentare le coordinate x e y. Si ottiene il risultato mostrato dalle figure 9 e 10.

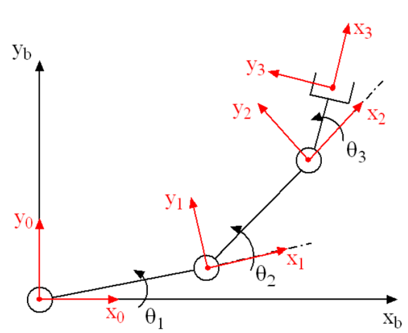


Figura 8

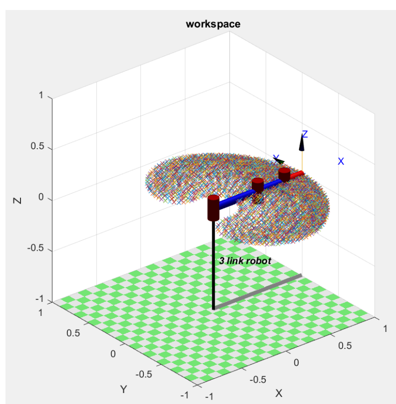


Figura 9

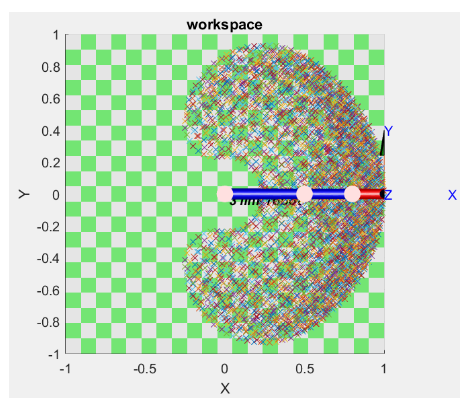


Figura 10

Esercizio 3 Calcolo simbolico dello Jacobiano e delle singolarità

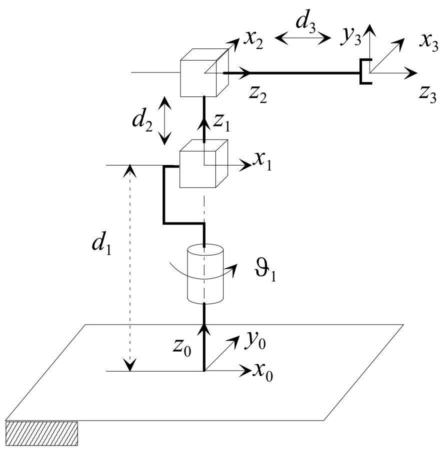


Figura 11

Si consideri il manipolatore cilindrico riportato in fig 11.

3.1 Si compili la tabella dei parametri di Denavit-Hartenberg.

link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	0	d_1	θ_1
2	0	$\pi/2$	d_2	$\pi/2$
3	0	0	d_3	0

3.2 Istanziare simbolicamente le variabili di giunto usando la definizione `syms`. Nota: è necessario installare il Symbolic Math Toolbox di Matlab.

3.3 Scrivere le tre matrici di trasformazione omogenea parziali.
3.4 Calcolare simbolicamente la matrice della cinematica diretta come prodotto delle tre matrici definite al punto precedente.
3.5 Ricavare gli elementi utili per la costruzione della matrice Jacobiana.
3.6 Calcolare simbolicamente il determinante dello Jacobiano e determinare quindi le singolarità