

Esercizi per il Corso di Robotica Industriale

Paolo Arcara
DEIS

Facoltà di Ingegneria
Università di Bologna
e-mail: parcara@deis.unibo.it

Anno Accademico 2000 – 2001

Dati

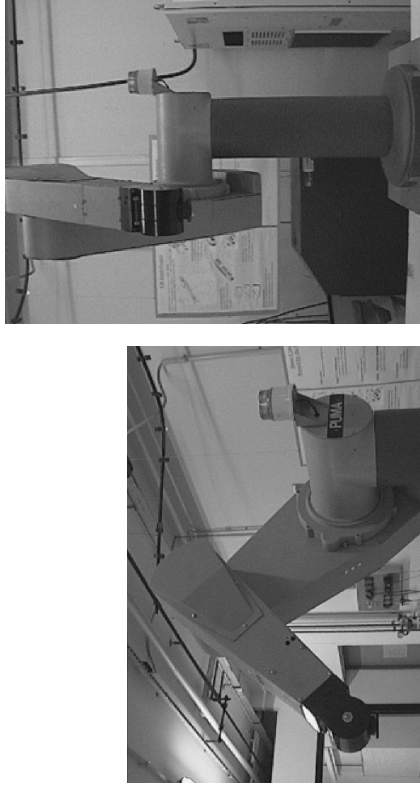


Figura 1: Il manipolatore "Puma 560"

I parametri del robot "PUMA 560" presentato in Fig. 1 sono espressi nelle Tab. 1–2 per i 6 giunti che compongono il manipolatore.

Parametri	1	2	3	4	5	6
α	$\pi/2$	0	$-\pi/2$	$\pi/2$	$-\pi/2$	0
a	0	0.4318	0.0203	0	0	0
θ	0	0	0	0	0	0
d	0	0	0.15005	0.4318	0	0

Tabella 1: I parametri di Denavit-Hartenberg del manipolatore "Puma 560"

La Tab. 1 contiene i parametri di Denavit-Hartenberg del manipolatore e la Tab. 2 contiene i restanti parametri utili per determinare la dinamica del manipolatore: m rappresenta la massa del link i -esimo; r_x , r_y ed r_z rappresentano le coordinate della posizione del baricentro del link i rispetto all'origine del sdr i ; I_{xx} , I_{yy} , I_{zz} , I_{xy} , I_{yz} e I_{xz} rappresentano le componenti della matrice di inerzia del link i ; J_m , G , B , T_c e T_v rappresentano rispettivamente l'inerzia, il rapporto di trasmissione, l'attrito viscoso e l'attrito coulombiano (per rotazioni positive e negative) associati al motore del link i .

Nelle Figg. 2–3 sono invece presentati il manipolatore "Scara" e quello "Planare verticale a 2 gradi di libertà" i cui parametri sono espressi nelle Tabb. 3–4.

Parametri	1	2	3	4	5	6
m	0	17.4000	4.8000	0.8200	0.3400	0.0900
r_x	0	-0.3638	-0.0203	0	0	0
r_y	0	0.0060	-0.0141	0.0190	0	0
r_z	0	0.2275	0.0700	0	0	0.0320
I_{xx}	0	0.1300	0.0660	0.0018	0.0003	.15e-3
I_{yy}	0.3500	0.5240	0.0860	0.0013	0.0004	.15e-3
I_{zz}	0	0.5390	0.0125	0.0018	0.0003	.04e-3
I_{xy}	0	0	0	0	0	0
I_{yz}	0	0	0	0	0	0
I_{zx}	0	0	0	0	0	0
J_m	200e-6	200e-6	200e-6	33e-6	33e-6	33e-6
G	-62.6111	107.8150	-53.7063	76.0364	71.9230	76.6860
B	1.48e-3	0.817e-3	1.38e-3	71.2e-6	82.6e-6	36.7e-6
T_{c+}	0.395	0.126	0.132	11.2e-3	9.26e-3	3.96e-3
T_{c-}	-0.435	-0.071	-0.105	-16.9e-3	-14.5e-3	-10.5e-3

Tabella 2: I parametri dinamici del manipolatore "Puma 560"

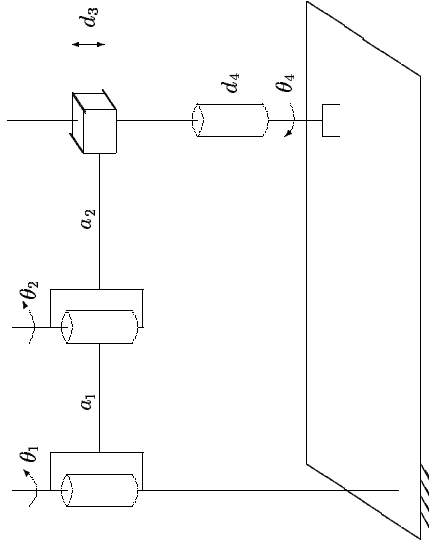


Figura 2: Il manipolatore "Scara"

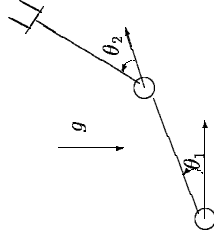


Figura 3: Il manipolatore "Planare verticale a 2 gradi di libertà"

Parametri	1	2	3	4
α	0	π	0	0
a	a_1	a_2	0	0
θ	0	0	0	0
d	0	0	0	d_4
m	m_1	m_2	m_3	m_4
r_x	$a_{c1} - a_1$	$a_{c2} - a_2$	0	0
r_y	0	0	0	0
r_z	0	0	0	0
I	\tilde{I}_1	\tilde{I}_2	\tilde{I}_3	\tilde{I}_4

Tabella 3: I parametri del manipolatore "Scara"

Parametri	1	2
α	0	0
a	3	2
θ	0	0
d	0	0
m	12	6
r_x	-1.5	-1
r_y	0	0
r_z	0	0
I	9	2

Tabella 4: I parametri del manipolatore "Planare verticale a 2 gradi di libertà"

Richieste

Manipolatore "Puma 560"

1. Determinare le 6 matrici ${}^{i-1}H_i$ che rappresentano le rototraslazioni necessarie per passare da un sdr $i-1$ associato ad un link (definito secondo le convenzioni di Denavit-Hartenberg) al successivo sdr i
2. Determinare la matrice complessiva di rototraslazione 0T_6 del manipolatore per le seguenti posizioni (esprese nelle variabili di giunto): $q(1) = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$, $q(2) = [0 \ 0 \ -\pi/2 \ 0 \ 0]^T$, $q(3) = [0 \ \pi/2 \ -\pi \ 0 \ 0]^T$, $q(4) = [0 \ \pi/4 \ -\pi \ 0 \ \pi/4 \ 0]^T$, $q(5) = [0 \ 0 \ -\pi/2 \ \pi/6 \ 0 \ -\pi/6]^T$, $q(6) = [0 \ -\pi/4 \ 0 \ 0 \ -\pi/4 \ 0]^T$ e commentare i risultati ottenuti in termini di posizionamento nello spazio di lavoro dei vari link del manipolatore

*Si considerino solo i primi 3 link del robot per le richieste successive
(Si trascuri in questo modo l'orientamento dell'end-effector e
si utilizzi il parametro d_4 per il posizionamento del sdr finale)*

3. Pianificare la traiettoria rettilinea nello spazio operativo, con profilo trapezoidale di velocità, congiungente i punti $p_0 = [0.05 \ -0.45 \ -0.05]^T$ e $p_1 = [0.60 \ 0.15 \ 0.05]^T$; tale traiettoria deve essere percorsa in 3 sec. (partendo e terminando con velocità nulla) con accelerazione iniziale e decelerazione finale (uguali tra di loro) della durata di 0.5 sec. ciascuna

4. Esprimere la traiettoria di cui al punto precedente nello spazio di giunto
5. Determinare le coppie necessarie, da applicare al manipolatore, per descrivere la traiettoria calcolata precedentemente (si considerino $q_i = 0$ per i 3 giunti associati al polso sferico)
6. Si supponga il manipolatore fermo in posizione iniziale $p_i = [0.10 \ -0.45 \ -0.15 \ 0.00]^T$ e si progetti un controllo di tipo PD con compensazione di gravità nello spazio di giunto con le matrici

$$K_P = 650 I_6; \quad K_D = 50 I_6$$

- per l'inseguimento della traiettoria desiderata calcolata precedentemente¹. Si discusso le traiettorie nello spazio di giunto e nello spazio operativo ed il valore dell'ingresso $u(t)$. Esporre come si modificano i risultati ottenuti al variare dei parametri del controllore.
7. Per risolvere il problema di inseguimento di cui al punto sopra si progetti un controllo di tipo a dinamica inversa. Si confrontino i risultati con quelli ottenuti al punto precedente.

Manipolatore "Scala"

1. Scrivere l'equazione dinamica del manipolatore (si trascurino attriti e forze esterne e si consideri il vettore forza di gravità pari a $-g\mathbf{z}_0$) sfruttando una delle due differenti formulazioni di Eulero-Lagrange o di Newton-Eulero. Elencare in dettaglio tutti i passaggi intermedi e le matrici $M(\cdot)$, $C(\cdot, \cdot)$, $g(\cdot)$ risultanti

Manipolatore "Planare verticale a 2 gradi di libertà"

1. Scrivere le espressioni delle matrici $M(\cdot)$, $C(\cdot, \cdot)$, $g(\cdot)$ della equazione dinamica del manipolatore (tenendo conto della forza di gravità $g = 10$)
2. Si supponga che l'ambiente esterno eserciti una forza f_e che vale

$$\begin{aligned} f_{ex} &= 10^6(3.05 - x); & \text{per ogni } (x, y) \text{ tale che } x \geq 3.05 \\ f_{ey} &= 0; & \text{per ogni } (x, y) \text{ tale che } x < 3.05 \\ f_{ex} &= 0; & \text{per ogni } (x, y) \\ f_{ey} &= 0; & \text{per ogni } (x, y) \end{aligned}$$

corrispondente ad un ostacolo verticale di rigidità elevata. Progettare un controllo di rigidità con ingresso di tipo

$$f = \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 10000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3.1 - x \\ 2 - y \end{bmatrix} - 100 \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix}$$

che conduca verso la posizione desiderata $x = 3.1$, $y = 2$; con l'ipotesi di partire con il manipolatore fermo in posizione $x = 1.5$, $y = 2$. Indicare la posizione di equilibrio finale che si ottiene con un controllore così progettato e riportare i risultati ottenuti in simulazione. Discutere inoltre le differenze riscontrabili tra le due configurazioni a *gomito alto* ed a *gomito basso* nell'interazione con tale tipo di ambiente esterno

¹La matrice I_6 rappresenta la matrice identità di dimensione 6×6 .