



## 6. Domaća zadaća

# Upravljanje robotskim manipulatorom

## 1. Uvod

Dinamički model  $n$ -osnog robotskog manipulatora glasi:

$$\mathbf{D}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{c}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{h}(\mathbf{q}) + \mathbf{b}(\dot{\mathbf{q}}) = \boldsymbol{\tau} \quad (1)$$

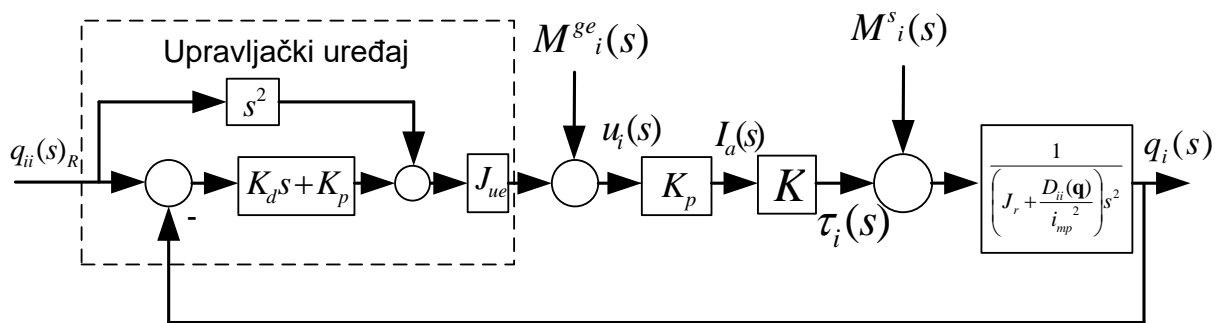
Poopćeni moment koji djeluje na svaki pojedini zglobov manipulatora sadržan je u jednom retku prethodne jednadžbe. Prema tome, za neki  $i$ -ti zglobov manipulatora možemo napisati jednadžbu momenta:

$$\mathbf{D}(\mathbf{q})\ddot{q}_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n D_{ij}(\mathbf{q})\ddot{q}_{ij} + c_i(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + h_i(\mathbf{q}) + b_i(\dot{q}_i) = \tau_i \quad (2)$$

Ako drugi, treći, četvrti i peti član s lijeve strane prethodne jednadžbe označimo kao moment smetnje  $M_i^s(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})$  tada prethodnu jednadžbu možemo zapisati na sljedeći način:

$$\ddot{q}_{ii} = \frac{1}{D(\mathbf{q})_{ii}} (\tau_i - M_i^s(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}})) \quad (3)$$

Kada dodamo regulacijsku petlju upravljanja momentom dobijemo sljedeću blokovsku shemu regulacijske petlje položaja uz upravljanje momentom:



Slika 1: Blokovska shema regulacijske petlje položaja  $i$ -tog zgloba robota, uz upravljanje po momentu s kompenzacijskim proširenjem.

Za sintezu regulatora, često su nam potrebne sljedeće vrijednosti momenta inercije: srednja vrijednost, maksimalna te minimalna. Ako poznamo trajektoriju robota, odnosno vrijednosti zakreta svih zglobova za zadanu trajektoriju  $\mathbf{q}$  jednostavno je odrediti potrebne iznose. Na primjer, srednju vrijednost momenta inercije izračunat ćemo na sljedeći način:

$$\mathbf{D}_{sr} = \frac{1}{\|\mathbf{q}_{max} - \mathbf{q}_{min}\|} \int_{\mathbf{q}_{min}}^{\mathbf{q}_{max}} \mathbf{D}(\mathbf{q})_{ii} \cdot \delta \mathbf{q} \quad (4)$$

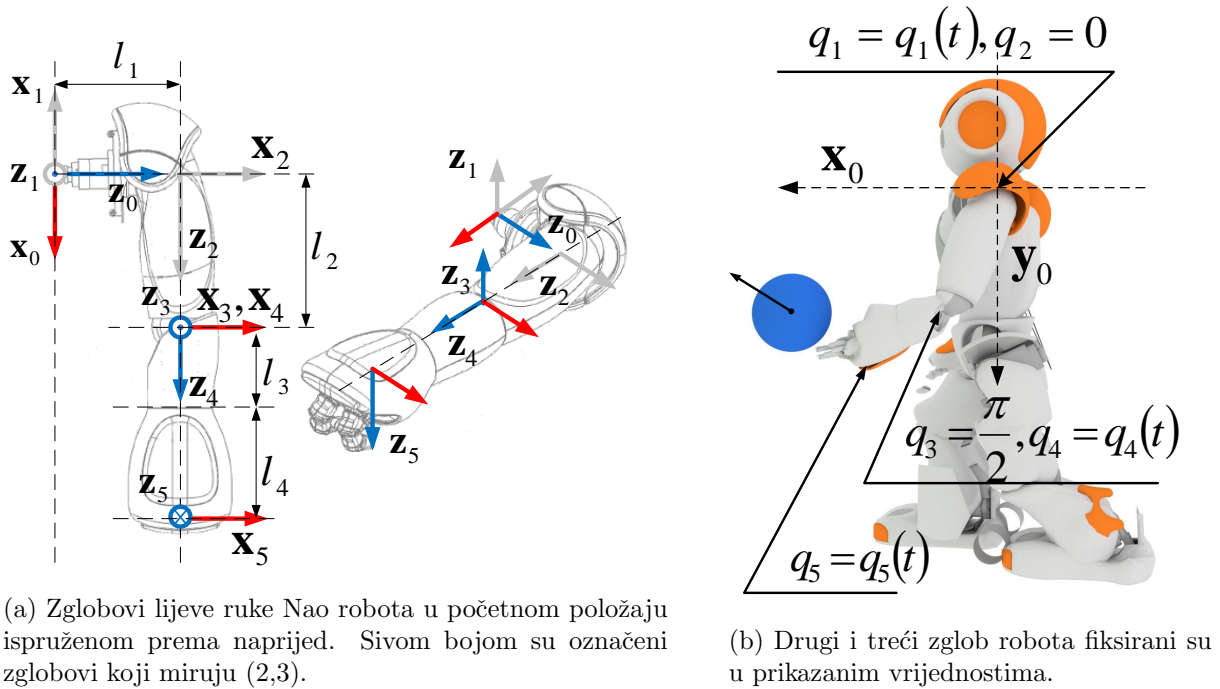
## 2. Zadatak

Poznato je da se zglobovi ruke nao robota gibaju unutar sljedećih dopuštenih graničnih iznosa:

Os zgloba	Ograničenje [°]
Os 1	(−119.5, 119.5)
Os 4	(−88.5, −2)
Os 5	(−104.5, 104.5)

Tablica 1: Ograničenja rotacije zglobova.

Pri tome možete zanemariti gibanje ostalih zglobova robota, odnosno možete smatrati da su zglobovi 2 i 3 fiksirani u položaju kao na slici 2b



Slika 2: Zglobovi lijeve ruke Nao robota u početnom položaju i u trenutku izbačaja. Sve vrijednosti na slici 2a

zadane su vodeći računa da su početne vrijednosti uvrštene, odnosno da je za  $\mathbf{q} = \mathbf{0}$  ruka NAO robota ispružena prema naprijed kao na slici 2a.

Pretpostavite da su svi motori korišteni u konstrukciji robota isti, odnosno da je moment inercije rotora svih motora jednak:

$$J_r = m_5 \frac{(l_3 + l_4)^2}{12}, \quad (5)$$

a prijenosni omjer reduktora  $i_{mp} = 2$ . Za sva tri motora u pokretu ( $q_1, q_4$  i  $q_5$ ), projektirajte regulator zakreta zgloba uz upravljanje po momentu s kompenzacijskim proširenjem. Pri tome:

Veličina	Duljina [mm]	Težina [g]
$l_1$	15.00	15
$l_2$	105.00	105
$l_3$	55.95	55.95
$l_4$	57.50	57.50

Tablica 2: Zadane vrijednosti karakterističnih duljina robota.

- Ugodite parametre regulatora svakog zgloba prema *min-max* metodi, tako da osigurate minimalan koeficijent prigušenja  $\zeta_{min} = 2$ .
- Izračunajte funkciju kompenzacije gravitacijske smetnje  $M_i^{ge}(\mathbf{q})$ , za svaki pokretni zglob  $i$  posebno.
- Pretpostavite da je pojačalo struje ugođeno tako da:

$$K_P K = 1 \quad (6)$$

**Napomena:** Većinu zadaće preporučamo rješavati ručno, kao vježbu za završni ispit. Za složene izraze preporučamo korištenje Mathematice ili Matlaba. Obavezno morate navesti ključne vrijednosti postupka. Zadaću rješavajte za opće brojeve  $l_1$ - $l_4$  uvrštavajući ih tek na kraju postupka, a vrijednosti zakreta fiksnih zglobova  $q_2$  i  $q_3$  uvrstite od početka postupka.