

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko  
Laboratorij za robotiko



Predmet

## **Vodenje robotov**

**Laboratorijske vaje**  
**SIMULACIJSKE VAJE**

as. dr. Sebastjan Šlajpah  
sebastjan.slajpah@robo.fe.uni-lj.si  
tel: (01) 4768 229

doc. dr. Janez Podobnik  
janez.podobnik@fe.uni-lj.si  
tel: (01) 4768 190

## **SIMULACIJSKE VAJE VODENJA ROBOTA S 6 PROSTOSTNIMI STOPNJIAMI**

Izberite si eno nalogo in jo implementirajte v okolju Matlab/Simulink. Pri tem si pomagajte z znanjem in kodo, ki ste jo osvojili pri predmetu Kinematika in dinamika.

Težavnost naloge pogojuje tudi maksimalno oceno, ki jo lahko dobite pri tej vaji.

Ocena    Naloga

- 6        Sklepni proporcionalno-diferencialni regulator s kompenzacijo gravitacije
- 7        Vodenje robota na osnovi inverzne dinamike v notranjih koordinatah
- 8        PD regulacija položaja s kompenzacijo gravitacije v zunanjih koordinatah
- 9        Vodenje robota na osnovi inverzne dinamike v zunanjih koordinatah
- 10      Impedančno vodenje z vsebovano regulacijo lege

ALI

Neposredna regulacija sile na osnovi inverzne dinamike

V primeru, da ste nalogo uspešno rešili in vam je še ostal čas, lahko rešujete novo nalogo za višjo oceno.

### **Vaje rešujete samostojno!**

Naloge se rešuje v programskem paketu Matlab/Simulink. Za vsako nalogo je na voljo osnovna shema z ustreznim blokom, ki definira referenčne trajektorije, ter blok za povezavo z vizualizacijo. V primeru, da so potrebne kakšne dodatne funkcije, so te priložene oziroma je v navodilih podano, kje se dobi ustrezno znanje.

Ko odprete Simulink shemo se vam avtomatsko zažene tudi vizualizacija. Če jo vmes zaprete, jo lahko ponovno odprete z dvojnim klikom na MotomanVodenje.exe.

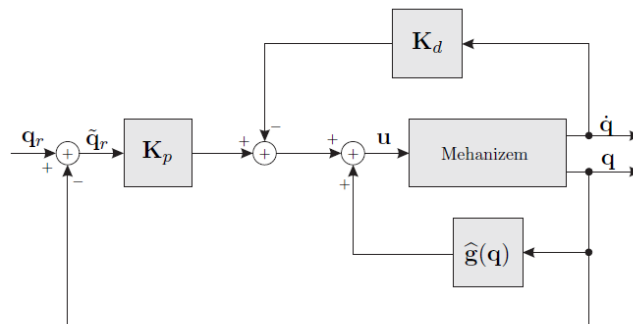
Pri reševanju priporočamo uporabo knjige Vodenje robotov (Mihelj, Bajd, Munih) ter lastnih zapiskov iz predavanj.

### Ocena 6: Sklepni proporcionalno-diferencialni regulator s kompenzacijo gravitacije

Načrtajte sklepni proporcionalno-diferencialni regulator za robotski mehanizem s 6 prostostnimi stopnjami (Vodenje robotov, poglavje 1.4).

Mehanizem modelirajte z dinamičnim modelom, kot ste ga spoznali pri predmetu Kinematika in dinamika robotov. Pri KDR ste izvedli dinamični model robota za 3 prostostne stopnje, sedaj pa ga nadgradite za 6 prostostnih stopenj. Pri tem uporabite priloženo funkcijo  $\text{torque.m}$ .

Ojačenja regulatorja nastavite sami; pri tem izhajajte iz ocene, da je  $K_d \approx 0,1 K_p$ . Testirajte tudi odziv sistema pri konstantni referenci, ko je kompenzacija gravitacije aktivna ter ko je izklopljena.

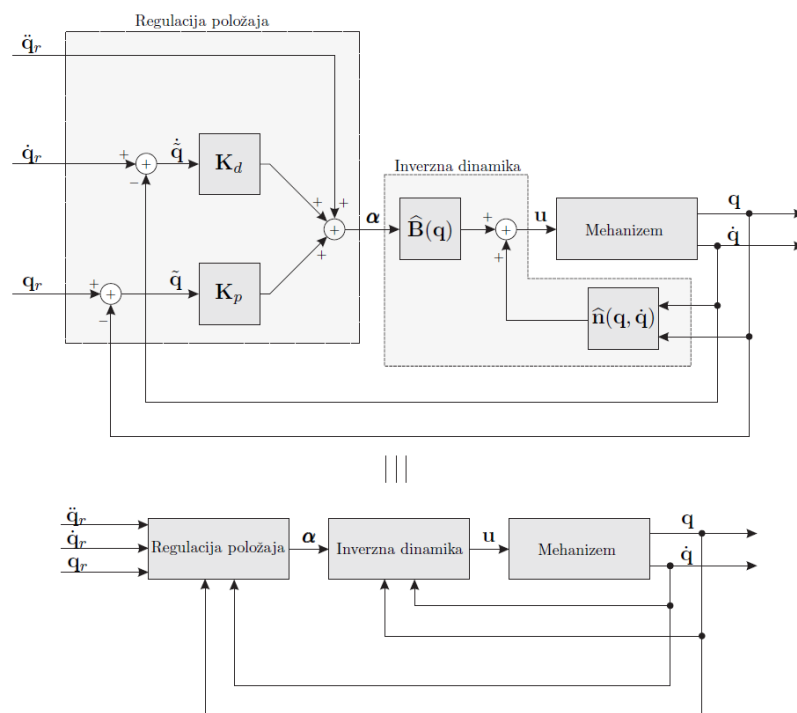


## Ocena 7: Vodenje robota na osnovi inverzne dinamike v notranjih koordinatah

Načrtajte vodenje robota na osnovi inverzne dinamike v notranjih koordinatah, ki je sestavljeno iz regulacije položaja sklepov ter inverzne dinamike (Vodenje robotov, poglavje 1.5).

Mehanizem modelirajte z dinamičnim modelom, kot ste ga spoznali pri predmetu Kinematika in dinamika robotov. Pri KDR ste izvedli dinamični model robota za 3 prostostne stopnje, sedaj pa ga nadgradite za 6 prostostnih stopenj. Pri tem uporabite priloženo funkcijo torque.m.

Ojačenja regulacije nastavite sami; pri tem izhajajte iz ocene, da je  $K_d \approx 0,1 K_p$ .

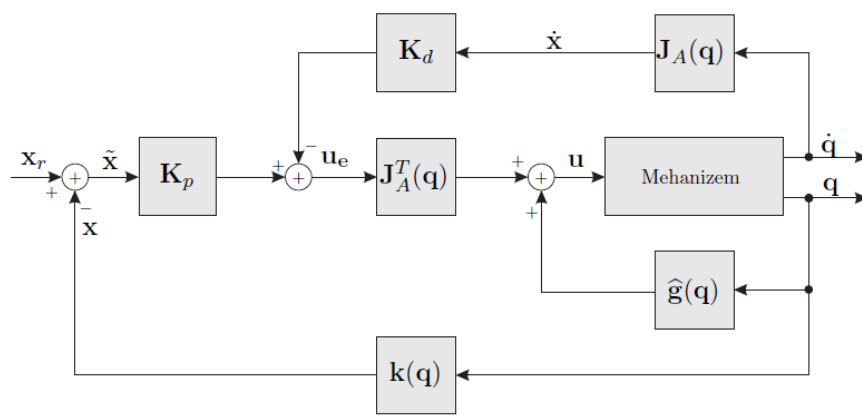


### Ocena 8: PD regulacija lege s kompenzacijo gravitacije v zunanjih koordinatah

Načrtajte proporcionalno-diferencirno regulacijo lege robota s kompenzacijo gravitacije v zunanjih koordinatah (Vodenje robotov, poglavje 2.2).

Mehanizem modelirajte z dinamičnim modelom, kot ste ga spoznali pri predmetu Kinematika in dinamika robotov. Pri KDR ste izvedli dinamični model robota za 3 prostostne stopnje, sedaj pa ga nadgradite za 6 prostostnih stopenj. Pri tem uporabite priloženo funkcijo torque.m. Zamenjajte tudi izračun Eulerjevih kotov v kombinacijo XYZ – ustrezne enačbe so v priloženi .pdf datoteki. Ustrezno popravite tudi izračun analitične Jacobijeve matrike.

Ojačenja regulacije nastavite sami; pri tem izhajajte iz ocene, da je  $K_d \approx 0,1 K_p$ .

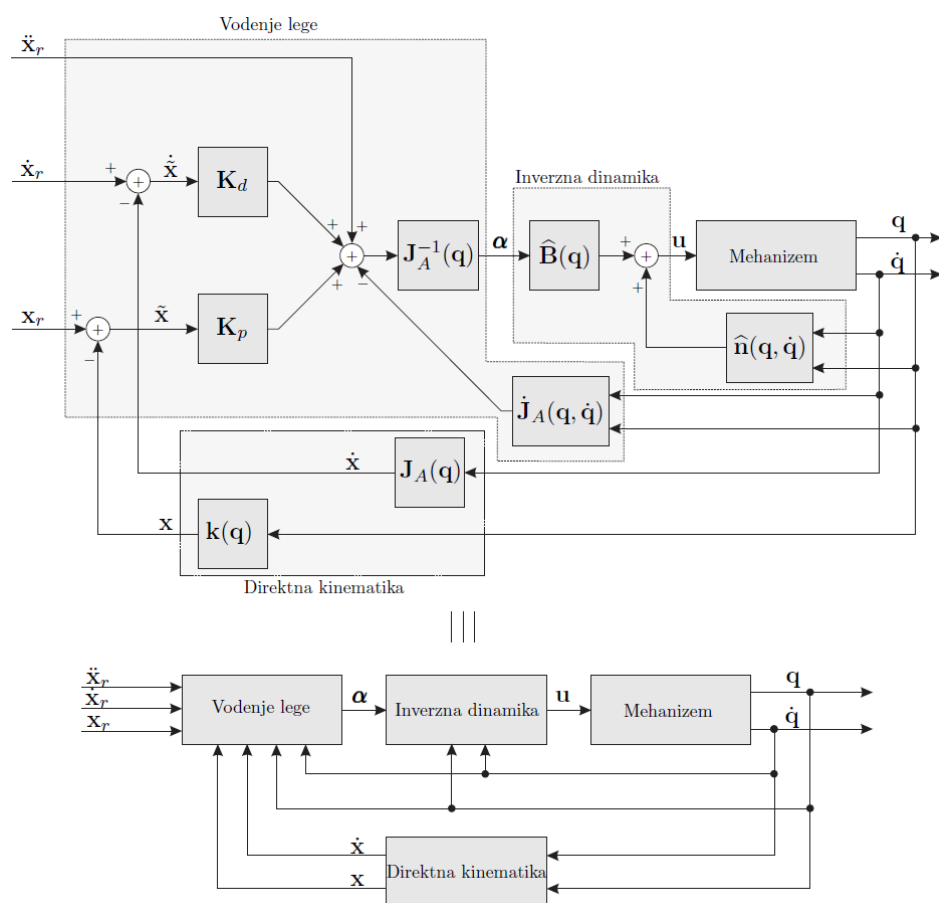


## Ocena 9: Vodenje robota na osnovi inverzne dinamike v zunanjih koordinatah

Načrtajte vodenje robota na osnovi inverzne dinamike v zunanjih koordinatah, ki je sestavljeno iz vodenja lege ter inverzne dinamike (Vodenje robotov, poglavje 2.3).

Mehanizem modelirajte z dinamičnim modelom, kot ste ga spoznali pri predmetu Kinematika in dinamika robotov. Pri KDR ste izvedli dinamični model robota za 3 prostostne stopnje, sedaj pa ga nadgradite za 6 prostostnih stopenj. Pri tem uporabite priloženo funkcijo torque.m. Zamenjajte tudi izračun Eulerjevih kotov v kombinacijo XYZ – ustrezne enačbe so v priloženi .pdf datoteki. Ustrezno popravite tudi izračun analitične Jacobijeve matrike. Za izračun odvoda Jacobijeve matrike imate pripravljen ustrezen blok v predlogi sheme.

Ojačenja regulacije nastavite sami; pri tem izhajajte iz ocene, da je  $K_d \approx 0,1 K_p$ .



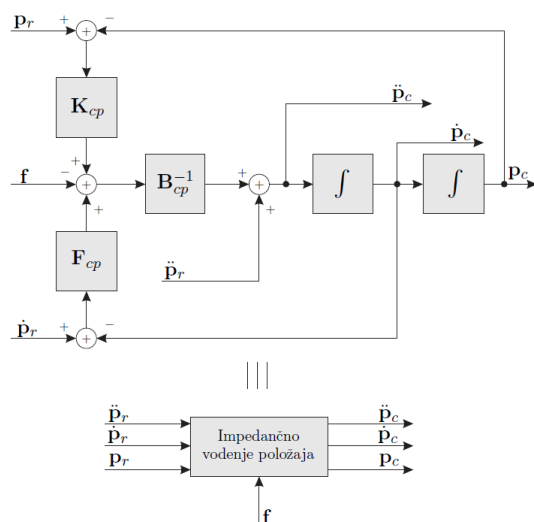
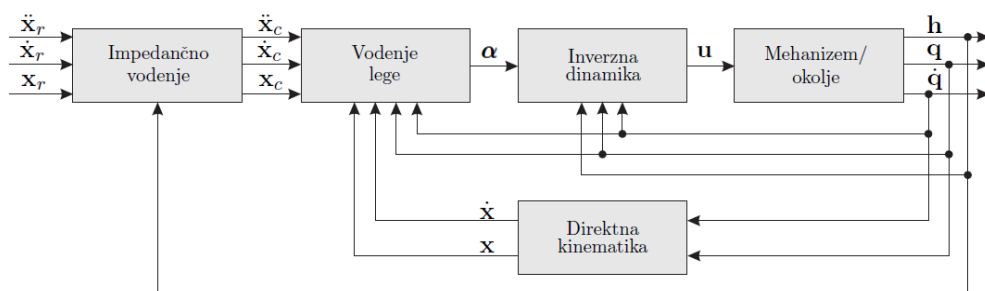
## Ocena 10: Impedančno vodenje z vsebovano regulacijo položaja

Načrtajte impedančno vodenje položajnih prostostnih stopenj robota z vsebovano regulacijo položaja (Vodenje robotov, poglavje 3.2.1).

Mehanizem modelirajte z dinamičnim modelom, kot ste ga spoznali pri predmetu Kinematika in dinamika robotov. Pri KDR ste izvedli dinamični model robota za 3 prostostne stopnje, sedaj pa ga nadgradite za 6 prostostnih stopenj. Pri tem uporabite priloženo funkcijo torque.m. Zamenjajte tudi izračun Eulerjevih kotov v kombinacijo XYZ – ustrezne enačbe so v priloženi .pdf datoteki. Ustrezno popravite tudi izračun analitične Jacobijeve matrike. Za izračun odvoda Jacobije matrike imate pripravljen ustrezen blok v predlogi sheme.

V predlogi sheme imate tudi model senzorja sil in navorov – senzor vrača podatke v svojem lastnem koordinatnem sistemu, ki sovпада s koordinatnim sistemom na vrhu robota.

Ojačenja regulacije nastavite sami; pri tem izhajajte iz ocene, da je  $K_d \approx 0,1 K_p$ . Testirajte različne vrednosti parametrov impedance.



## Ocena 10: Neposredna regulacija sile na osnovi inverzne dinamike

Načrtajte neposredno regulacijo sile na osnovi inverzne dinamike. (Vodenje robotov, poglavje 4.1).

Mehanizem modelirajte z dinamičnim modelom, kot ste ga spoznali pri predmetu Kinematika in dinamika robotov. Pri KDR ste izvedli dinamični model robota za 3 prostostne stopnje, sedaj pa ga nadgradite za 6 prostostnih stopenj. Pri tem uporabite priloženo funkcijo torque.m. Zamenjajte tudi izračun Eulerjevih kotov v kombinacijo XYZ – ustrezne enačbe so v priloženi .pdf datoteki. Ustrezno popravite tudi izračun analitične Jacobijeve matrike. Za izračun odvoda Jacobije matrike imate pripravljen ustrezen blok v predlogi sheme.

V predlogi sheme imate tudi model senzorja sil in navorov – senzor vrača podatke v svojem lastnem koordinatnem sistemu, ki sovpada s koordinatnim sistemom na vrhu robota.

Ojačenja regulacije nastavite sami; pri tem izhajajte iz ocene, da je  $K_d \approx 0,1 K_p$ .

