

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

TEHNIKE UPRAVLJANJA U MEHATRONICI

## **6. laboratorijska vježba**

Priprema i upute za rad na vježbi

Zagreb, siječanj 2024.

## 1. Uvod

U sklopu ove laboratorijske vježbe obrađivat će se utjecaji implementacije algoritama upravljanja u konačnoj aritmetici. U svim prethodnim vježbama pretpostavljala se implementacija algoritama u aritmetici s beskonačnom preciznosti. Brojevi predstavljeni u računalu moraju biti spremljeni unutar ograničenog broja bit-a, najčešće 8, 16, 32 ili 64. Implementacija algoritma u konačnoj aritmetici utječe na sustav upravljanja na dva osnovna načina. Za početak sve varijable i unutarnja stanja sustava, kao što su  $e$ ,  $u$  ili  $x$  nisu predstavljeni točno nego s određenom pogreškom. Ovakav tip greški najčešće se analiziraju kao dodani izvori šuma. Drugi tip pogreški nastaje zbog toga što se koeficijenti jednadžbi  $a_i$  i  $b_i$  u zapisu s konačnom preciznosti razlikuju od željenih. Iz tog razloga računalo rješava nešto drugačije jednadžbe od prvotnih što može dovesti do raznih efekata; od promijenjenog vladanja sustava do njegove nestabilnosti.

### 1.1. Cilj vježbe

Cilj ove vježbe je upoznati se s utjecajima kvantizacija koeficijenata algoritma (regulatora) te utjecajima implementacije algoritma na njegovo vladanje. U prvom dijelu vježbe dane su upute za implementaciju regulatora u konačnoj aritmetici te simulaciju odziva zatvorenog sustava upravljanja s dobivenim regulatorima. U drugom dijelu vježbe vršit će se implementacija regulatora pomoću C koda.

## 2. Opis sustava

### 2.1. Matematički model rotacijskog modula

Regulator koji će se obrađivati u sklopu ove vježbe koristi se za upravljanje brzinom vrtnje rotacijskog modula. Za potrebe ove vježbe, sustav kojime se upravlja je dovoljno opisati prijenosnom funkcijom prvog reda:

$$\frac{\omega(s)}{U_a(s)} \approx \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2.1)$$

Parametri sustava dani su u Tablici 2.1.

**Tablica 2.1:** Parametri rotacijskog modula.

	Quanser
$K$	1.187
$\tau$	0.186
nazivni napon	$\pm 6$ V

Za potrebe simulacije, matematički model elektromehaničkog sustava potrebno je prikazati unutar Simulink grafičkog okruženja pomoću odgovarajuće prijenosne funkcije i bloka zasićenja kojim se ograničava upravljački signal ispod nazivnog napona motora.

Zadani su parametri PID regulatora:

**Tablica 2.2:** Parametri kontinuiranog PID regulatora.

$P$	0.8
$I$	5
$D$	0.001
$N$	10

Dani parametri odgovaraju prijenosnoj funkciji :

$$G_{PID}(s) = P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + \frac{N}{s}} \quad (2.2)$$

### 3. Implementacija regulatora u MATLAB-u

#### 3.1. Implementacija regulatora u kontinuiranoj domeni

Prvi korak koji je potrebno napraviti u ovoj vježbi je implementirati kontinuirani PID regulator koji će služiti za evaluaciju kvalitete ponašanja diskretnih regulatora. Budući da je sam postupak projektiranja već odrađen kroz prethodne laboratorijske vježbe, ovdje ga nije potrebno raditi, već samo implementirati regulator koristeći parametre dane u Tablici 2.2.

#### 3.2. Implementacija regulatora u diskretnoj domeni s "double" koeficijentima

U drugom koraku vježbe potrebno je izvršiti diskretizaciju regulatora koristeći zapis s koeficijentima u dvostrukoj preciznosti - double koeficijentima (standardni oblik zapisa u MATLAB-u). Diskretizaciju je potrebno izvršiti za dva vremena uzorkovanja  $T_s$  dana u sljedećoj tablici:

**Tablica 3.1:** Vremena uzorkovanja

$T_{s1}$	$T_{s2}$
0.03 s	0.005 s

Za postupak diskretizacije potrebno je koristiti Tustinovu metodu. Preporučuje se korištenje funkcije `c2d(...)`.

Simulirajte sustave s dobivenim regulatorima te usporedite odzive. Poboljšava li smanjenje vremena uzorkovanja vladanje sustava?

### 3.3. Implementacija regulatora u diskretnoj domeni s "fixed point" koeficijentima

U ovom koraku potrebno je pretvoriti prethodno dobivene koeficijente regulatora iz double preciznosti u zapis s konačnom preciznosti. U sklopu ove vježbe koristit će se zapis Q16.8, tj zapis s predznakom, veličine 16 bita od kojih je 8 decimalni dio.

Numerički zapis ovakvog tipa u MATLAB-u se definira preko naredbe:

```
fiTyp = numerictype(1,16,8);
```

Pretvaranje određene double vrijednosti X u fixed point oblik postiže se koristeći funkciju:

```
Xfi = fi(X, fiTyp)
```

Da bismo simulirali efekte zapisa u konačnoj preciznosti izvršit ćemo pretvaranje diskretne prijenosne funkcije Gr u diskretnu prijenosnu funkciju Gr\_fi koristeći sljedeće naredbe:

```
fiTyp      = numerictype(1,16,8);  
[num,den]  = tfdata(Gr);  
[num_fi]   = double(fi(num{1}, fiTyp));  
[den_fi]   = double(fi(den{1}, fiTyp));  
Gr_fi      = tf(num_fi, den_fi, Ts);
```

Simulirajte sustave s dobivenim regulatorima te usporedite odzive. Usporedite odzive s onima iz prethodnog dijela vježbe. Poboljšava li smanjenje vremena uzorkovanja i u ovom slučaju vladanje sustava?

Usporedite položaje polova i nula regulatora s double i fixed point koeficijentima. Polovi i nule sustava u MATLAB-u se prikazuju koristeći funkciju `pzmap(...)`.

### 3.4. Implementacija kaskadnog regulatora u diskretnoj domeni s "fixed point" koeficijentima

Kako bismo poboljšali vladanje regulatora s fixed point koeficijentima, PID regulator ćemo prvo predstaviti kao kaskadu dva podsustava koje ćemo zasebno diskretizirati i čije ćemo koeficijente zasebno pretvoriti u fixed point zapis. Zapis kontinuiranog PID regulatora iz jednadžbe (2.2) u kaskadnom obliku je sljedeći:

$$G_{PID}(s) = K \frac{(s - z_1)(s - z_2)}{s(s + N)} = K \frac{(s - z_1)}{s} \frac{(s - z_2)}{(s + N)} = G_1 G_2 \quad (3.1)$$

pri čemu je:

$$K = P + DN \quad (3.2)$$

dok se nule prijenosne funkcije  $z_1$  i  $z_2$  dobivaju kao rješenje jednadžbe:

$$s^2 + \frac{(I + PN)}{(P + DN)}s + \frac{IN}{P + DN} = 0 \quad (3.3)$$

Za nalaženje korijena navedene jednadžbe preporučuje se korištenje MATLAB naredbe `roots(...)`.

Dobivene prijenosne funkcije potrebno je diskretizirati te im pretvoriti koeficijente u fixed point zapis kao za direktne prijenosne funkcije iz prethodnih primjera. Prilikom transformacija vremena uzorkovanja i parametri fixed point zapisa ostaju nepromijenjeni.

Simulirajte sustave s dobivenim regulatorima te usporedite odzive. Usporedite odzive s onima iz prethodnog dijela vježbe. Je li došlo do poboljšanja odziva sustava za manje vrijeme uzorkovanja?

## 4. Implementacija regulatora pomoću C koda

Cilj ovog dijela vježbe je implementacija regulatora iz prethodnog dijela u programskom jeziku C. Rezultat će se provjeriti pomoću MATLAB Gradera<sup>1</sup>, a dobivene datoteke se uz minimalne izmjene mogu koristiti za programiranje mikrokontrolera.

Budući da MATLAB Grader trenutno ne podržava izravno učitavanje datoteka, potrebnu funkciju učitati ćemo pomoću Google Drivea<sup>2</sup> sljedećim koracima:

1. Proučite predložak `controller.c` dostupan u predmetnim materijalima te implementirajte regulator u diskretnoj domeni u direktnoj formi s vremenom uzorkovanja  $T_{s2}$ . Prijenosna funkcija regulatora za implementaciju treba biti oblika:

$$G(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}}.$$

2. Učitajte datoteku na privatni Google Drive i generirajte poveznicu za dijeljenje datoteke. Bitno je ukloniti ograničenje pristupa<sup>3</sup>.
3. Generirajte poveznicu za izravno preuzimanje datoteke koristeći alat `gdocs2direct`<sup>4</sup>. Na istoj stranici nalaze se upute za dijeljenje datoteke.
4. Dobivenu poveznicu za preuzimanje upišite na za to predviđeno mjesto u Graderu.
5. Pokretanjem skripte u Graderu rješenje će se usporediti s referentnim.

U slučaju da ne želite koristiti Google Drive za ovaj dio vježbe, isto je moguće postići pomoću Dropboxa ili OneDrivea i MATLAB naredbe `websave`<sup>5</sup>. Međutim, postupak je malo kompliciraniji (slobodno se javite za pomoć).

---

<sup>1</sup><https://grader.mathworks.com/>

<sup>2</sup><https://drive.google.com>

<sup>3</sup>[https://sites.google.com/site/gdocs2direct/#h.p\\_ADJt1ZlhTdss](https://sites.google.com/site/gdocs2direct/#h.p_ADJt1ZlhTdss)

<sup>4</sup><https://sites.google.com/site/gdocs2direct/>

<sup>5</sup><https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/websave.html>