

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**Fakultet elektrotehnike i računarstva**  
Zavod za automatiku i računalno inženjerstvo

Seminarski zadatak iz adaptivnog upravljanja  
*Kolegij Adaptivno i robusno upravljanje*

Autori:

prof. dr. sc. Zoran Vukić, dipl. ing.  
Nikola Mišković, dipl. ing.

Ak. god. 2009./2010

## 1. UVOD

Opći diskretni proces se može opisati prijenosnom diskretnom funkcijom oblika

$$\frac{y(k)}{u(k)} = \frac{b_0 q^{-1} + b_1 q^{-2} + \dots + b_{nb} q^{-(nb+1)}}{1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{na} q^{-na}}. \quad (1.1)$$

U tom slučaju se regresijski vektor može opisati kao

$$\varphi^T(k) = [-y_{k-1} \quad \dots \quad -y_{k-na} \quad u_{k-1} \quad \dots \quad u_{k-nb-1}], \quad (1.2)$$

a vektor estimiranih parametara

$$\hat{\Theta}_{LS}^T = [\hat{a}_1 \quad \hat{a}_2 \quad \dots \quad \hat{a}_{na} \quad \hat{b}_0 \quad \hat{b}_1 \quad \dots \quad \hat{b}_{nb}]. \quad (1.3)$$

Detaljniji opisi različitih modela su navedeni u skripti s predavanja [1].

Na slici 1.1. je prikazan blok za RLS estimaciju parametara. Opis ulazno-izlaznih signala navedenog bloka se prikazan tablicom 1.1.



Slika 1.1. Blok za RLS estimaciju parametara

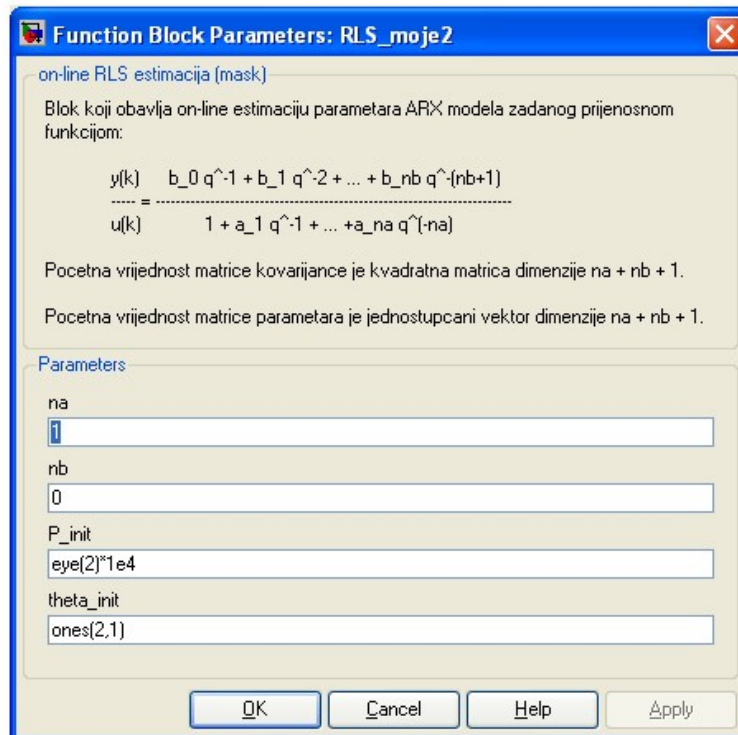
Tablica 1.1.

ULAZI	OBJAŠNJENJE
<b>u</b>	trenutna vrijednost ulaznog signala u proces (upravljački signal)
<b>y</b>	trenutna vrijednost izlaznog signala iz procesa
<b>λ</b>	faktor zaboravljanja
IZLAZI	
<b>trag(P)</b>	trag matrice kovarijance P
<b>Θ</b>	vektor estimiranih parametara procesa dimenzija 1 x (na+nb+1)

Dvostrukim klikom na blok RLS estimacije parametara dobije se upravljački prozor prikazan slikom 1.2. Postavni parametri bloka su detaljnije opisani u tablici 1.2.

Tablica 1.2.

PARAMETAR	ZNAČENJE PARAMETRA
<b>na</b>	broj parametara u nazivniku
<b>nb</b>	nb+1 je broj parametara u brojniku
<b>P_init</b>	početna vrijednost matrice kovarijance <i>dimenzije: (na+nb+1) x (na+nb+1)</i>
<b>theta_init</b>	početna vrijednost vektora estimiranih parametara <i>dimenzije: 1 x (na+nb+1)</i>



Slika 1.2.

## 2. PRIPREMNI ZADACI

### 2.1. *RLS m-funkcija*

Na web stranici kolegija ([http://www.fer.hr/predmet/aru\\_a](http://www.fer.hr/predmet/aru_a)) u repozitoriju datoteka se nalazi m-funkcija *RLS\_student* koja nije u potpunosti napisana. Pogledajte kod funkcije i nadopunite ju dijelom koda tako da ona obavlja on-line estimaciju parametara procesa. Poslužite se literaturom [1] i [2].

Gotovu funkciju spremite pod imenom *RLS\_<ime studenta>*. Ovu funkciju ćete koristiti za obavljanje ostatka vježbe.

### 2.2. *Adaptivni RST regulator*

Na web stranici kolegija ([http://www.fer.hr/predmet/aru\\_a](http://www.fer.hr/predmet/aru_a)) u repozitoriju datoteka se nalazi m-funkcija *RST\_student* koja nije u potpunosti napisana. Ova funkcija treba opisati rad adaptivnog RST (dvoparametarskog) regulatora za vaš slučaj (ne treba pisati funkciju koja će odrediti opći RST regulator!). Dovoljno je na papiru odrediti parametre RST regulatora i za taj slučaj iskodirati regulator. Adaptivni regulator mora biti projektiran tako da na ulazu prima estimirane parametre procesa i računa izlaz na osnovu estimiranih parametara. Željenu modelsku funkciju odaberite sami. Poslužite se literaturom [1] i [2].

Gotovu funkciju spremite pod imenom *RST\_<ime studenta>*. Ovu funkciju ćete koristiti za obavljanje ostatka vježbe.

### 3. SIMULACIJE OTVORENOG KRUGA

Svaki studentu su dodijeljeni parametri koji odgovaraju sljedećem diskretnom procesu:

$$\frac{y(k)}{u(k)} = \frac{b_0 q^{-1} + b_1 q^{-2}}{1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2}} \quad (3.1)$$

Vrijeme uzorkovanja je 1 [s].

Pobudite proces signalom band-limited white noise i provjeriti funkcionira li blok za on-line estimaciju ispravno. Postavite iznos faktora zaboravljanja na 1.

#### 3.1. *Utjecaj početne vrijednosti matrice P*

3.1.1 Obavite simulacije za sljedeće početne vrijednosti matrice kovarijance **P**:

- $\text{eye}(n_a+n_b+1)*1e4$
- $\text{eye}(n_a+n_b+1)*1e1$
- $\text{eye}(n_a+n_b+1)*1e-1$
- $\text{eye}(n_a+n_b+1)*0$

3.1.2 Kako izgleda trag matrice **P** (povećajte prikaz po ordinati da vidite detaljnije kako se ponaša)? Što znači kada je trag matrice **P** velik a što kada je malen?

3.1.3 Za koje početne vrijednosti matrice **P** imamo najbržu estimaciju parametara? Kako brzina estimacije ovisi o izboru početne vrijednosti matrice kovarijance **P**?

U daljnjim razmatranjima koristite početnu vrijednost matrice kovarijance koju smatrate najpogodnijom.

#### 3.2. *Utjecaj početne vrijednosti vektora estimiranih parametara*

3.2.1 Obavite simulacije za sljedeće početne vrijednosti matrice estimiranih parametara:

- Nul-vektor
- Stvarne vrijednosti parametara
- Dvostruki iznos od stvarnih vrijednosti

Komentirajte rezultate.

U daljnjim razmatranjima koristite nul-vektor za vektor početnih estimiranih parametara.

### **3.3. Utjecaj faktora zaboravljanja $\lambda$**

3.3.1 Smanjite iznos faktora zaboravljanja i odredite kako on utječe na estimaciju pri promjeni parametara. Povećajte prikaz po ordinati traga matrice **P** i odredite kako se trag ponaša za različite  $\lambda$ . Što to znači za kvalitetu estimacije? Napišite relaciju koja povezuje matricu estimiranih parametara i matricu kovarijance **P**.

3.3.2 Neka se parametar u brojniku skokovito promijeni u trenutku 150. Na ulazu procesa je skokovita funkcija s početkom u 100. Istražite ponašanje traga matrice **P** i estimiranih parametara uz faktore zaboravljanja  $\lambda=0.98$  i  $\lambda=1$ . Komentirajte zašto dolazi do tzv. blow-up učinka u matrici kovarijance.

*Za one koji žele znati više:*

3.3.3 Stavite na izlaz procesa bijeli šum varijance dovoljno male da izlazni signal bude realno zašumljen. Kako sada izgleda estimacija?

3.3.4 Kakva bi bila estimacija da je šum na izlazu obojen? Zašto? Komentirajte rezultate.

### **3.4. Promjena parametara u brojniku i nazivniku**

Dodatak A opisuje jedan od načina realizacije promjene parametra u prijenosnoj funkciji procesa.

3.4.1 U nekom trenutku nakon što su estimirani parametri sustava, dođe do skokovite promjene jednog parametra u brojniku. Koliko dobro radi estimator parametara? Kada se očekuje točna estimacija?

3.4.2 U nekom drugom trenutku dođe do promjene parametra u nazivniku. Detektira li se brže promjena parametra u brojniku ili u nazivniku?

3.4.3 Isprobajte kako se mijenja brzina estimacije za različite vrijednosti faktora zaboravljanja. Komentirajte rezultate.

### **3.5. Perzistentnost signala**

3.5.1 Nakon početne estimacije, promijenite parametar u brojniku i nazivniku kao u prethodnoj točki. Neka je sustav pobuđen slijedećim signalima:

- Step funkcija
- Rampa
- Bijeli šum
- Pravokutni periodički signal

U kojem slučaju je najbolja estimacija?

*Za one koji žele znati više:*

3.5.2 Može li nam trag matrice poslužiti kao mjera perzistencije signala? Zašto?

3.5.3 Koji signal (ne samo među navedenima) ima najveću perzistenciju pobude? Mislite li da je moguće taj signal imati cijelo vrijeme uključen u realnim sustavima?

### **3.6. Red pretpostavljanog modela**

3.6.1 Provjeriti što se događa kada je pretpostavljeni model za estimaciju višeg reda od stvarnog procesa i manjeg reda od stvarnog procesa. Komentirajte rezultate simulacije.

## **4. SIMULACIJE ZATVORENOG KRUGA**

RST regulator koji ste projektirali u 2. dijelu zajedno sa pripadajućom m-funkcijom iskoristite za ovaj dio simulacija. Na ulaz staviti pravokutni periodički signal i gledati odziv sustava.

- 4.1.** Promotrite odziv sustava kada se skokovito promijeni parametar u brojniku i potom u nazivniku bez da se koristi adaptivni RST regulator već onaj projektiran za nominalni slučaj. Ponaša li se sustav u skladu sa željenom funkcijom zatvorenog kruga? Komentirajte rezultate.
- 4.2.** Ponovite prethodnu točku s uključenim adaptivnim RST regulatorom. U kojim trenucima zatvoreni sustav nije dovoljno perzistentno pobuđen? Prikažite na grafovima sve veličine koje smatrate bitnima.
- 4.3.** Ponovite prethodnu točku uz različite vrijednosti faktora zaboravljanja. Komentirajte rezultate. Mislite li da bi promjenjivi faktor zaboravljanja poboljšao vladanje sustava? Isprobajte na simulaciji!

*Za one koji žele znati više:*

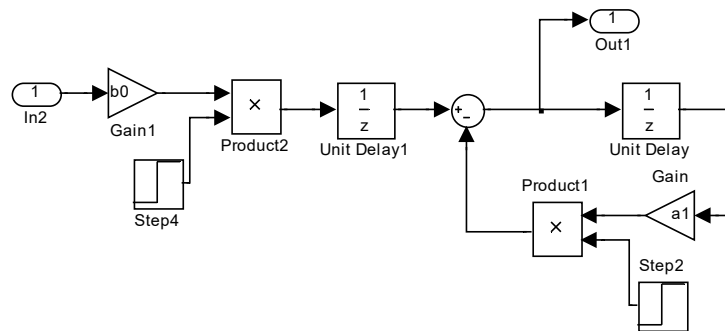
- 4.4.** Na izlaz procesa uključite bijeli šum dovoljno male varijance da odziv bude smislen. Promotrite rezultate.
- 4.5.** Bijeli šum je perzistentno pobuđujući signal. Ako je stavljen na izlaz procesa, povratnom vezom se prenosi i na ulaz pa bi se moglo reći da je sustav perzistentno pobuđen. Zašto to nije istina?
- 4.6.** Promotrite rezultate ako se parametri procesa mijenjaju linearno s vremenom? Komentirajte rezultate.



## DODATAK A ili Kako realizirati promjenu parametara

Jedan od prijedloga za realizaciju diskretne funkcije kojoj se mijenjaju parametri je razviti prijenosnu funkciju na elementarne blokove (kako je prikazano slikom) i potom pojedine parametre (odnosno izlaze iz pripadajućih gain blokova) množiti sa step funkcijom koja promijeni iznos u željenom trenutku (sve do tog trenutka izlaz iz step funkcije mora biti 1!).

Na slici je prikazana realizacija za diskretan sustav prvog reda.



**Dodatak B – parametri procesa (3-1)**

<b>Matični broj</b>	<b><math>b_0</math></b>	<b><math>b_1</math></b>	<b><math>a_1</math></b>	<b><math>a_2</math></b>
0036477049	1.4	0.3	0.7	0.1
0036480163	1.6	0.8	0.2	0.1
0036483807	1.6	0.5	0.4	0.5
0036477881	1.1	0.2	0.4	0.1
0036483987	1.6	0.8	0.3	0.1
0036480046	1.2	0.7	0.2	0.6
0036483672	2.0	0.4	0.3	0.4
0036481316	1.2	0.7	0.3	0.5
0036478511	1.4	1.0	0.2	0.1
0036484622	1.8	1.1	0.7	0.2
	2.0	1.1	0.7	0.1
	1.1	0.7	0.6	0.4

**LITERATURA**

- [1] Vukić, Z., *A Tutorial on Adaptive Control: The Self-tuning Approach*
- [2] Åström, K. J. i Wittenmark, B. *Adaptive Control*