

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO

Poročilo - Vaja5
Prediktivno funkcijski generator

Inteligentni sistemi za podporo odločanju

Martin Knap, 64180369

Mentor: prof. dr. Igor Škrjanc

Asistent: doc. dr. Dejan Dovžan

Ljubljana, 3. 6. 2019

Kazalo

1	Definicija naloge	2
2	Prediktivno funkcijski generator	2
2.1	PFC v prostoru stanj	2
2.1.1	Določitev lokalnih modelev	2
2.1.2	Določitev globalnega modela	3
2.1.3	Diagram poteka	4
3	Rezultati	5
3.1	Odziv na skočno vzbujanje ter analiza odziva	6
4	Komentar in zaključek	7

Slike

1	Splošna shema prediktivnega vodenja [1].	2
2	Diagram poteka PFC.	4
3	Referenčni signal.	5
4	Odziv helio-žerjava.	5
5	Regulirni signal.	6
6	Odziv na enotsko stopnico s končno vrednostjo 45°	6
7	Odziv na enotsko stopnico s končno vrednostjo 90°	7

Tabele

1	Karakteristike odziva 45°	7
2	Karakteristike odziva 90°	7

1 Definicija naloge

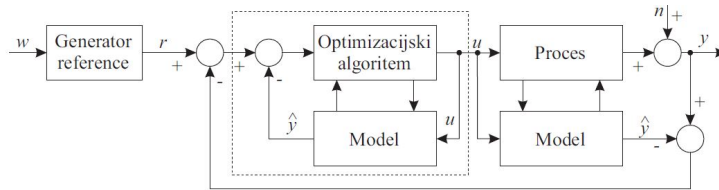
Pri tej vaji je naša naloga zasnovati prediktivno funkcijski generator (angl.: *Predictive Function Controller* - PFC) na podlagi mehkega modela helio-žerjava (angl.: *helio-crane*) pridobljenega z prejšnjo vajo. Zahtevano je da deluje na celotnem območju procesa.

2 Prediktivno funkcijski generator

PFC algoritem je bil sprva razvit za linearne sisteme z enim vhodom in enim izhodom. Izkaže se da je to dejansko PI regulator. Kasenje je bil PFC algoritem razširjen na nelinearne sisteme ter multivariabilne sisteme. Za regulacijo nelinearnih sistemov se uporablja PFC regulator na osnovi mehkega modela. Mehki model Takagi-Sugeno predstavlja aproksimacijo nelinearnega procesa z množico lokalnih linearnih modelov in je osnova za nadgrajeno izvedbo PFC algoritma.

Ideja za PFC je uporaba modela za napoved izhoda procesa na določenem horizontu H tako, da se ujameta razilka med napovedjo referenčne vrednosti $y_r(k+H)$ in trenutno vrednostjo izhoda procesa $y_p(k)$ in razlika med napovedjo modela $y_m(k+H)$ ter $y_m(k)$. Horizont je časovni trenutek v prihodnosti, kjer načrtujemo ujemanje.

$$y_r(k+H) - y_p(k) = y_m(k+H) - y_m(k) \quad (1)$$



Slika 1: Splošna shema prediktivnega vodenja [1].

2.1 PFC v prostoru stanj

Pri vodenju sistemov višjega reda je potrebna uporaba PFC regulatorja na osnovi mehkega modela v prostoru stanj. Osnova za tvorbo podmodelov procesa v prostoru stanj so parametri pridobljeni z metodo Takagi-Sugeno. Tako imamo iz 5. vaje na razpolago matriko parametrov podmodelov \underline{X} , ki jo sestavljajo residuali, zakasnjjen vhod ter enkrat in dvakrat zakasnjjen izhod $\underline{X} = [\underline{r}, \underline{u}(k-1), \underline{y}(k-1), \underline{y}(k-2)]$.

2.1.1 Določitev lokalnih modelov

Lokalni modeli so definirani po spodnjih enačbah, pri temu indeks i teče od 1 do števila podmodelov/rojev c .

$$\underline{x}_{m,i}(k+1) = \underline{A}_{m,i}\underline{x}_{m,i}(k) + \underline{B}_{m,i}\underline{u}(k) + \underline{R}_{m,i} \quad (2)$$

$$\underline{y}_{m,i}(k) = \underline{C}_{m,i}\underline{x}_{m,i}(k) \quad (3)$$

V enačbi 2 $\underline{A}_{m,i}$ predstavlja dinamsko matriko.

$$\underline{A}_{m,i} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \underline{y}_i(k-2) & \underline{y}_i(k-1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Vektor vhodov $\underline{B}_{m,i}$ ima sledečo obliko.

$$\underline{B}_{m,i} = \begin{bmatrix} 0 \\ u_i(k-1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Vektor ostankov $\underline{R}_{m,i}$ in vektor izhodov $\underline{C}_{m,i}$ pa izgledata tako:

$$\underline{R}_{m,i} = \begin{bmatrix} 0 \\ r_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\underline{C}_{m,i} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.1.2 Določitev globalnega modela

S parametri iz vaje 5. tako tvorimo prej omenjene matrike in vektorje lokalnih modelov. Iz 5. vaje prav tako uvozimo centre $\underline{\mu}$ in deviacije $\underline{\sigma}$ pridobljene z rojenjem po Gustafson-Kessel. Potrebovali jih bomo pri tvorbi globalnih $\tilde{\underline{A}}_m$, $\tilde{\underline{B}}_m$, $\tilde{\underline{R}}_m$ in $\tilde{\underline{C}}_m$.

Pri generaciji lokalnega modela moramo najprej definirati veljavnostne funkcije.

$$\beta_i = e^{\frac{1}{2} \frac{(u(k) - \mu_i)^2}{\sigma_i}} \quad (8)$$

Veljavnostne funkcije nato normiramo ter določimo globalne $\tilde{\underline{A}}_m$, $\tilde{\underline{B}}_m$, $\tilde{\underline{R}}_m$ in $\tilde{\underline{C}}_m$.

$$\tilde{\underline{A}}_m = \beta_1 \underline{A}_{m,1} + \dots + \beta_c \underline{A}_{m,c} \quad (9)$$

$$\tilde{\underline{B}}_m = \beta_1 \underline{B}_{m,1} + \dots + \beta_c \underline{B}_{m,c} \quad (10)$$

$$\tilde{\underline{R}}_m = \beta_1 \underline{R}_{m,1} + \dots + \beta_c \underline{R}_{m,c} \quad (11)$$

$$\tilde{\underline{C}}_m = \beta_1 \underline{C}_{m,1} + \dots + \beta_c \underline{C}_{m,c} \quad (12)$$

Sedaj lahko zapišemo globalni model kot:

$$\underline{x}_m(k+1) = \tilde{\underline{A}}_m \underline{x}_m(k) + \tilde{\underline{B}}_m \underline{u}(k) + \tilde{\underline{R}}_m \quad (13)$$

$$\underline{y}_m(k) = \tilde{\underline{C}}_m \underline{x}_m(k) \quad (14)$$

Pri temu se regulirni signal $\underline{u}(k)$ določi na sledeč način.

$$\underline{u}(k) = \tilde{\underline{G}}(\underline{y}_r(k) - \underline{y}_p(k)) + \tilde{G}_0^{-1} \underline{y}_m(k) - \tilde{G}_0^{-1} \tilde{\underline{C}}_m \tilde{\underline{A}}_m^H \underline{x}_m(k) - \tilde{\underline{B}}_m^H \tilde{\underline{R}}_m \quad (15)$$

Kjer je $\tilde{\underline{G}}$:

$$\tilde{\underline{G}} = \tilde{G}_0^{-1} (\underline{I} - \underline{A}_r^H) \quad (16)$$

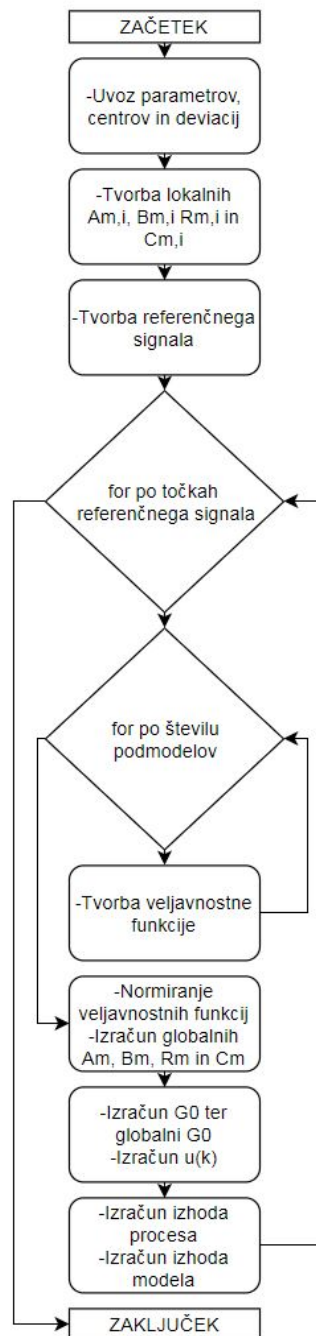
\tilde{G}_0 pa:

$$\tilde{G}_0 = \tilde{\underline{C}}_m (\tilde{\underline{A}}_m^H - \underline{I})(\tilde{\underline{A}}_m - \underline{I})^{-1} \tilde{\underline{B}}_m \quad (17)$$

Pri temu pa je potrebno definirati tudi referenčni model za katerega smo predpostavili dinamski sistem prvega reda, zato v enačbi 16 matrika \underline{A}_r preide v skalar A_r ter identiteta \underline{I} v 1.

2.1.3 Diagram poteka

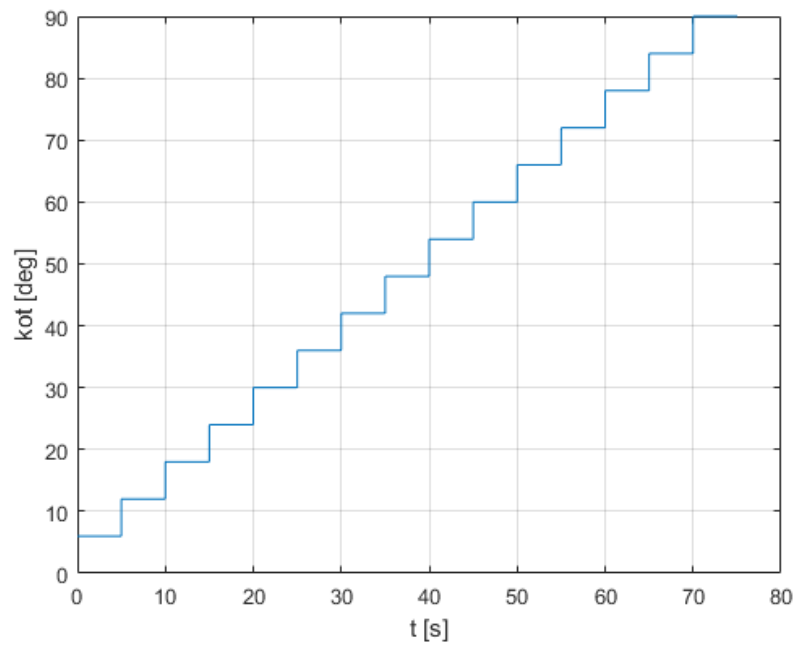
Na spodnji sliki je predstavljen diagram poteka algoritma PFC.



Slika 2: Diagram poteka PFC.

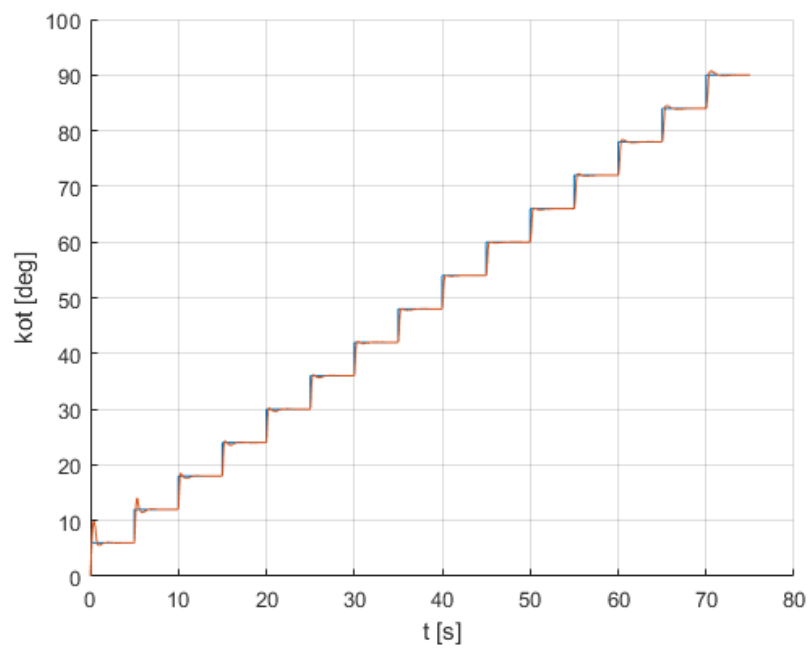
3 Rezultati

Regulacijo obravnavanega sistema smo preizkusili z referenčnim signalom y_r v celotnem območju delovanja procesa. Oblika signala vzbujanja je prikazana na spodnji sliki.



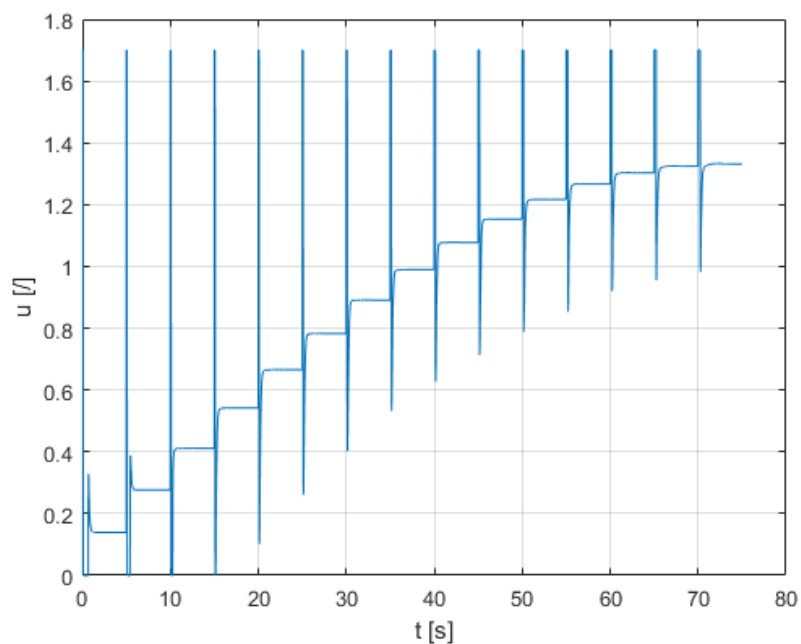
Slika 3: Referenčni signal.

Odziv sistema reguliranega s PFC metodo pa je prikazana na sledeči sliki.



Slika 4: Odziv helio-žerjava.

Regulirni signal je pri tem imel sledečo obliko.

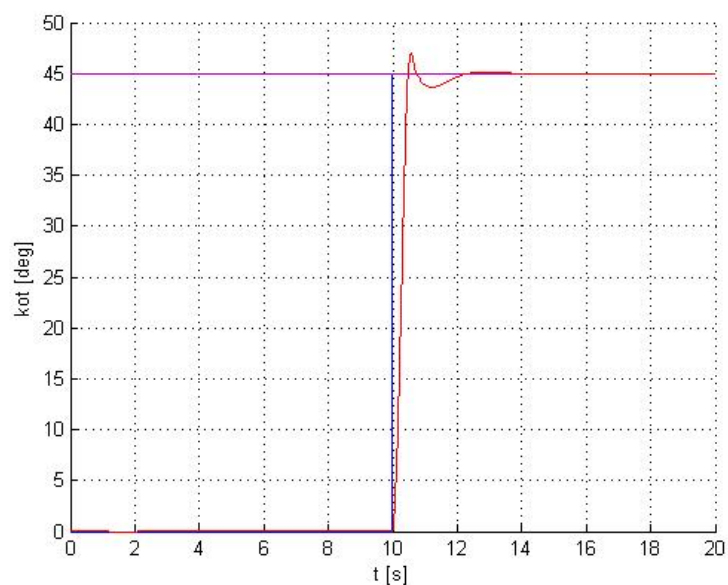


Slika 5: Regulirni signal.

3.1 Odziv na skočno vzbujanje ter analiza odziva

Sistem je bil vzbujan tudi z referenčnim signalom v obliki enotske stopnice. Na osnovi odziva je bila izvedena analiza dinamskih karakteristik krmiljenega sistema. Izračunani so bili čas dviga t_r (10% - 90% amplitude), maksimalni prenihaj M_p , čas ustalitve t_s (znotraj 5% končne vrednosti) ter napaka v stacionarnem stanju err_{stat} .

Najprej je bilo izvedeno vzbujanje s končnim kotom 45° .

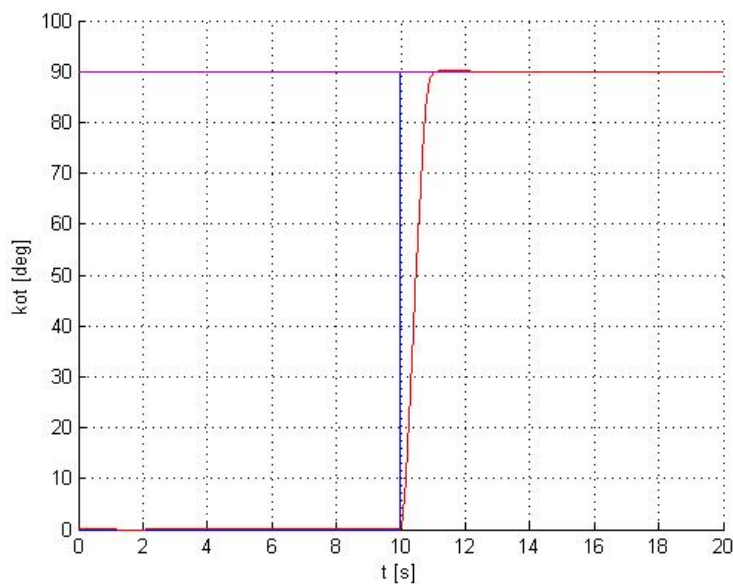


Slika 6: Odziv na enotsko stopnico s končno vrednostjo 45° .

Tabela 1: Karakteristike odziva 45°

t_r	0.32	s
M_p	4.30	%
t_s	0.75	s
err_{stat}	0.0011	%

Sledilo je še vzbujanje s končnim kotom 90° .

Slika 7: Odziv na enotsko stopnico s končno vrednostjo 90° .Tabela 2: Karakteristike odziva 90°

t_r	0.60	s
M_p	0.17	%
t_s	1.10	s
err_{stat}	$5.58 \cdot 10^{-4}$	%

4 Komentar in zaključek

Najprej je bilo izvedeno vzbujanje helio-žerjava z nizom stopnic v celotnem območju delovanja naprave. Z grafa (slika 4) vidimo, da se sistem ne odziva enako v celotnem območju. Na to ugotovitev kažeta tudi sliki 6 ter 7. To je ugotovitev, ki jo moramo zagotovo upoštevati pri vodenju omenjenega procesa. Na kvaliteto odziva smo vplivali s paramterom A_r referenčnega modela 1. reda, katerega vrednost 0.9 je bila določena s poizkušanjem.

Če primerjamo sliki 6 in 7 opazimo, da je v drugem primeru čas dviga večji, prav tako je večji tudi čas ustalitve. To je nekako pričakovano, saj se mora ročica nihala dvigniti na višji nivo. Kar se tiče maksimalnega prenihaja ter napake stacionarnega stanja je v drugem primeru rezultat precej ugodnejši. Oblika odzivov pri skočnem vzbujanju je skladna z delnimi odzivi slike 4. Zelo majhna napaka stacionarnega stanja je skladna z začetno trditvijo, da je PFC regulator enakovreden PI regulatorju.

V primerjavi s klasičnimi načini regulacije (kombinacije P, I in D regulatorjev) je PFC verjetno računsko zahtevnejši ter zahteva poznavanje modela, vendar je z znanim modelom (v našem primeru) potreba po nastavitvi le enega parametra namesto največ treh (k_p , k_i in k_d).

Literatura

- [1] Igor Škrjanc, *Inteligentni sistemi za podporo odločanju*. Ljubljana, 2016
- [2] Andrej Zdešar, Otta Cerman, Dejan Dovžan, Petr Hušek & Igor Škrjanc, *Fuzzy Control of a Helio-Crane*.