

Využitie fuzzy regulátorov pri kaskádovom riadení chemického reaktora (2)

Kaskádové fuzzy riadenie

V klasickom spätnoväzbovom obvode môže byť fuzzy regulátor (obr. 5) použitý v známych klasických variantoch regulátora:

- P regulátor: ak e je A , potom u je B ,
- PI regulátor: ak e je A , potom Δu je B ,
- PD regulátor: ak e je A a Δe je B , potom u je C ,
- PID regulátor: ak e je A a Δe je B , potom Δu je C .

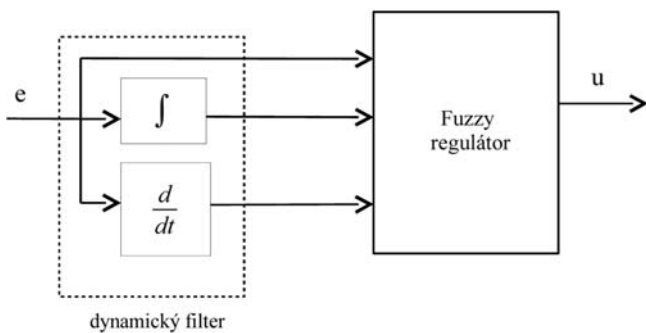
V Matlabe možno na návrh fuzzy regulátora využiť neuro-fuzzy systém ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System). Je to päťvrstvová dopredná neurónová sieť, ktorej učenie je založené na minimalizácii odchýlok metódou najmenších štvorcov a zodpovedá úprave premisných a konzekventných parametrov. Tento systém je funkčne ekvivalentný s fuzzy regulátorom Sugenovho typu [10], ktorý je známy aj ako TSK fuzzy model, navrhnutý Takagim, Sugenom a Kangom. Fuzzy pravidlá sa generujú na základe vstupno-výstupných údajov.

Typické pravidlo Sugenovho fuzzy modelu je v tvare:

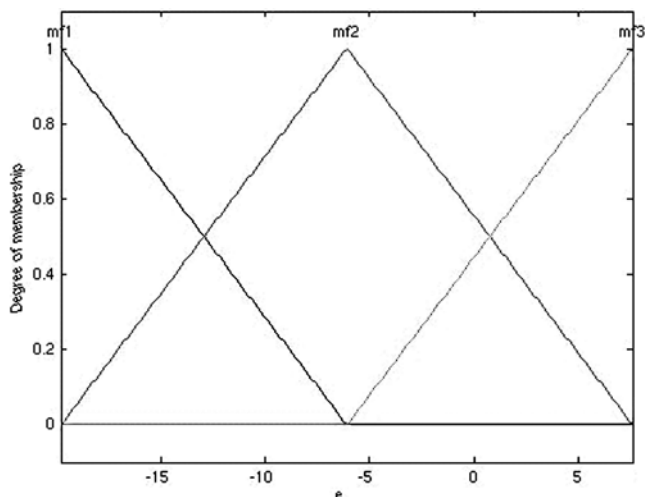
$$\text{Ak } x \text{ je } A \text{ a } y \text{ je } B \text{ potom } z = f(x, y) \quad (9)$$

A a B sú fuzzy množiny premisnej časti pravidla, z je ostrá hodnota konzekventnej časti, $f(x, y)$ je obyčajne polynóm vstupných premenných, ale môže to byť ľubovoľná funkcia, vystihujúca výstup systému vo fuzzy oblasti špecifikovanej premisnou časťou pravidla.

Pri kaskádovom riadení reaktora sa predpokladali tri možnosti: v primárnom obvode bol použitý klasický regulátor a v sekundár-



Obr.5 Fuzzy regulátor



Obr.6 Funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú e

p_i	q_i
-0,0208	0,0026
-0,0208	0,0008
-0,0208	-0,0010

Tab.5 Parametre konzekventnej časti pravidiel

e		
a_i	b_i	c_i
-33,45	-19,78	-6,09
-19,78	-6,09	7,58
-6,09	7,58	21,26

Tab.6 Parametre trojuholníkových funkcií príslušnosti

nom fuzzy regulátor podľa (10), v primárnom obvode bol použitý fuzzy regulátor podľa (11) a v sekundárnom P regulátor a aj v primárnom aj v sekundárnom obvode boli použité fuzzy regulátory.

Pre vstupnú regulačnú odchýlku e a výstup regulátora u je fuzzy inferenčný systém Sugenovho typu v tvare:

$$R^i : \text{ak } e(k-1) \text{ je } A_i \text{ potom } u(k) = p_i e(k-1) + q_i \quad i = 1, \dots, 3 \quad (10)$$

A_i sú fuzzy množiny, charakterizované lingvistickými premennými malá, stredná, veľká s trojuholníkovými funkciami príslušnosti. Parametre konzekventov sú uvedené v tab. 5, funkcie príslušnosti sú znázornené na obr. 6.

Pre vstupnú regulačnú odchýlku e je deriváciou de a výstup regulátora u je fuzzy inferenčný systém Sugenovho typu v tvare:

$$R^i : \text{ak } e(k-1) \text{ je } A_i \text{ a } de(k-1) \text{ je } B_i \text{ potom} \\ du(k) = p_i e(k-1) + q_i de(k-1) + r_i \quad i = 1, \dots, 9 \quad (11)$$

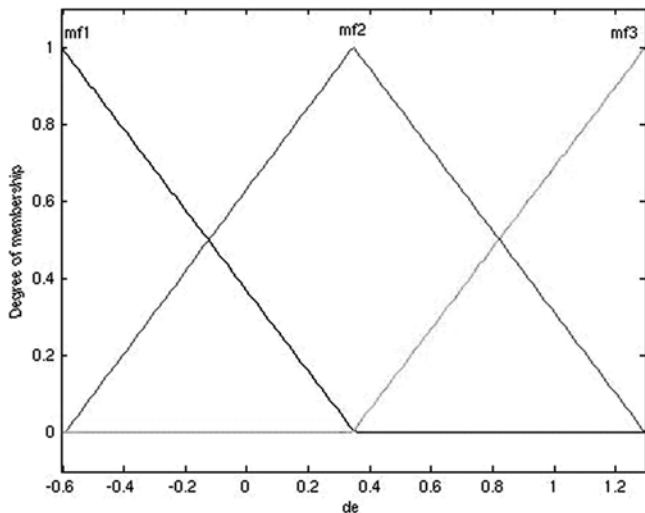
A_i, B_i sú fuzzy množiny, charakterizované lingvistickými premennými malá, stredná, veľká s trojuholníkovými funkciami príslušnosti. Parametre konzekventov sú uvedené v tab. 7, funkcie príslušnosti sú znázornené na obr. 7 a 8, v tab. 8 sú uvedené hodnoty parametrov trojuholníkových funkcií príslušnosti.

p_i	q_i	r_i
-0,84	-0,00	-0,18
0,50	0,14	-0,04
-0,48	-0,71	-0,34
0,66	2,37	-1,12
0,40	2,37	-0,04
-0,32	1,17	1,90
0,67	3,00	-0,37
0,41	3,10	0,78
0,45	4,39	0,88

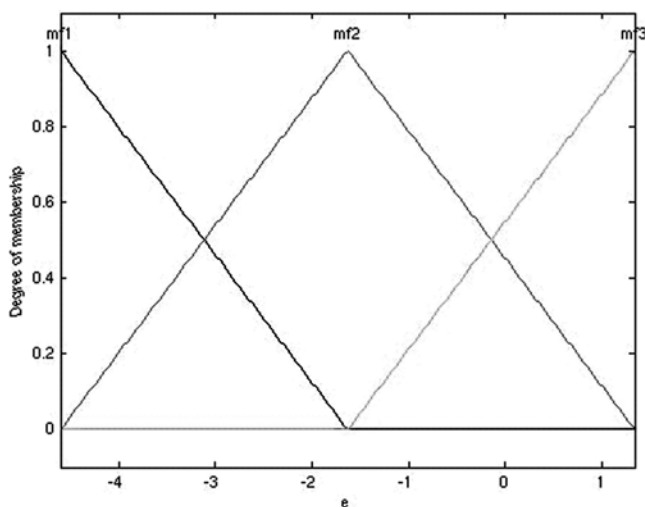
Tab.7 Parametre konzekventnej časti pravidiel

e		
a_i	b_i	c_i
-7,57	-4,60	-1,63
-4,60	-1,63	1,33
-1,63	1,33	4,31
de		
a_i	b_i	c_i
-1,56	-0,61	0,35
-0,60	0,35	1,29
0,35	1,29	2,25

Tab.8 Parametre trojuholníkových funkcií príslušnosti



Obr.7 Funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú e

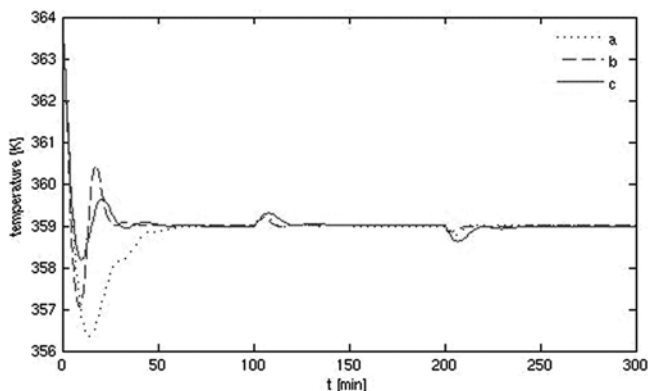


Obr.8 Funkcie príslušnosti pre vstupnú premennú de

Na obr. 9 možno porovnať kaskádové riadenie s fuzzy regulátormi zapojenými ako primárny, sekundárny alebo aj primárny, aj sekundárny regulátor. Bodkovaná čiara je výsledkom riadenia, ak sa v primárnom obvode použil fuzzy regulátor a v sekundárnom P regulátor, prerušovaná čiara je výsledkom riadenia, ak sa v primárnom obvode použil regulátor PID2 a v sekundárnom fuzzy regulátor a plná čiara je výsledkom riadenia, ak sa aj v primárnom, aj v sekundárnom obvode použili fuzzy regulátory. Porovnanie výsledkov riadenia na základe hodnôt integrálnych ukazovateľov kvality je v tab. 9.

Záver

Kaskádový riadiaci systém je jedným z najpoužívanejších spôsobov riadenia, ak existuje viac ako jedna meraná výstupná veličina



Obr.9 Kaskádové riadenie reaktora pomocou fuzzy regulátorov

primárny regulátor	sekundárny regulátor	iae	ise
fuzzy (11)	P regulátor $K_C = -0,02$	49	108
PID2 $K_C = 5,7$ $T_I = 5,5$ $T_D = 0,4$	fuzzy (10)	36	71
fuzzy (11)	fuzzy (10)	33	53

Tab.9 Integrálne ukazovatele kvality riadenia

a len jedna akčná veličina. V prípade výskytu poruchy sa prejaví výhoda zapojenia v tom, že poruchové vplyvy, ktoré zasiahnu regulovanú veličinu sekundárneho obvodu, sú týmto sekundárnym regulátorom kompenzované skôr, ako zasiahnu hlavnú regulovanú veličinu. Na návrh parametrov regulátorov môžu byť použité rôzne metódy, nie všetky sú vhodné (napr. známa Zieglerova-Nicholova metóda).

Fuzzy regulátory môžu byť v tomto prípade tiež úspešne použité, ako vyplýva z výsledkov simulácie riadenia.

Podakovanie

Tento príspevok vznikol s grantovou podporou VEGA MŠ SR a SAV pre projekty č. 1/0135/03 a 1/1046/04.

Literatúra

- [1] ZADECH, L. A. (1965): Fuzzy sets. Inf. & Control 8, 338-353.
- [2] BAKOŠOVÁ, M., VASIČKANINOVÁ, A., KARŠAIOVÁ, M., AND ONDROVIČOVÁ, M., (2004). PID controller tuning for cascade control of a chemical reactor. In: Proc. 6. International Scientific-Technical Conf. Process Control 2004. Kouty nad Desnou. University of Pardubice, p. 63. ISBN 80-7194-662-1
- [3] FIKAR, M., MIKLEŠ, J. (1999). Identifikácia systémov. Bratislava, STU. 114. ISBN 80-227-1177-2.
- [4] OGUNNAIKE, B. A. AND RAY, W. H. (1994). Process Dynamics, Modeling, and Control. 536-541. Oxford University Press. New York. 1259. ISBN 0-19-509119-1.
- [5] ÅSTRÖM, K. J. AND HÄGGLUND, T. (1995). PID controllers: Theory, Design and Tuning. Instrument Society of America. Research Triangle Park.
- [6] RIVERA, D. E., MORARI, M., AND SKOGESTAD, M. (1986). Internal Model Control, 4. PID Controller Design, and Eng. Proc. Des. Dev., 23. 1986.
- [7] MORARI, M. AND ZAFIRIOU, F. (1989). Robust Process Control. Chapter, Prentice-Hall, NJ
- [8] SUGENO, M. AND YASUKAWA, T. (1993). A fuzzy logic approach to qualitative modelling. IEEE trans. FS, 1, 1, 7 – 31.
- [9] JANG, S. R (1993). Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference Systems, IEEE Trans. Systems, Man & Cybernetics 23, 665 – 685.
- [10] NAUCK, D., KLAWONN, F. AND KRUSE, R. (1997). Foundations of neuro-fuzzy systems. John Wiley&Sons, Great Britain.

Ing. Anna Vasičkaninová
doc. Ing. Monika Bakošová, PhD.
doc. Ing. Ján Dvoran, PhD.

38

FCHPT STU
Katedra informatizácie a riadenia procesov
Radlinského 9, 81237 Bratislava
e-mail: anna.vasickaninova@stuba.sk
monika.bakosov@stuba.sk
jan.dvoran@stuba.sk