

# VYUŽITÍ MATLABU PŘI NÁVRHU FUZZY LOGICKÉHO REGULÁTORU

*Ing. Aleš Hrdlička*

Katedra technické kybernetiky a vojenské robotiky  
Vojenská akademie v Brně  
E-mail: hrdlicka@cs.vabo.cz

## Úvod

Tento článek popisuje jednoduchou metodiku návrhu fuzzy logického regulátoru jak pro lineární, tak i pro nelineární řízený systém. Návrh regulátoru vychází ze známé struktury klasického PID regulátoru. Výhodou fuzzy logického regulátoru oproti PID regulátoru je snadná možnost zahrnutí expertních znalostí do procesu řízení v podobě zavedení další pravidel, případně nahrazením již hotových pravidel pravidly novými. Vlastnosti navržených regulátorů jsou ověřeny s pomocí toolboxu Matlab/Fuzzy.

## Fuzzy regulátor typu Mamdani pro lineární systém

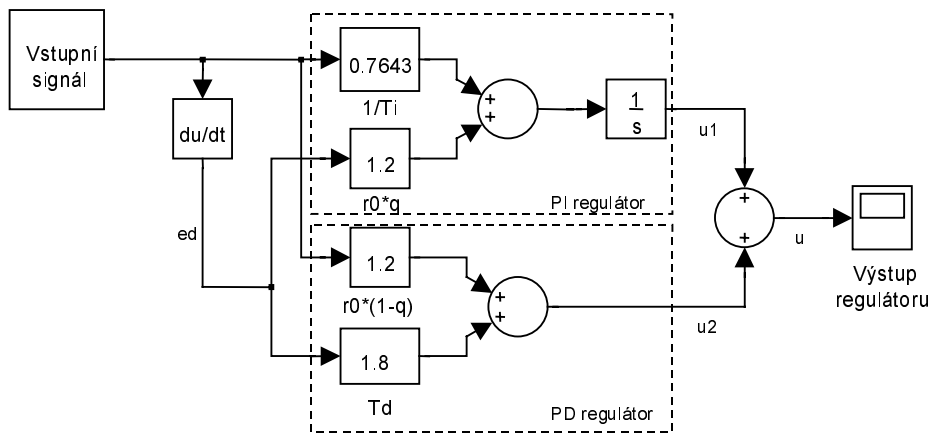
Postup návrhu fuzzy regulátoru předvedu na příkladu. Jako testovací regulovanou soustavu jsem zvolil lineární soustavu 4. řádu s přenosem

$$G_S(s) = \frac{1}{s^4 + 4s^3 + 6s^2 + 4s + 1}. \quad (1)$$

Parametry regulátoru je možno určit např. metodou Ziegler-Nichols. Pro soustavu s přenosem (1) získáme tyto parametry PID regulátoru:

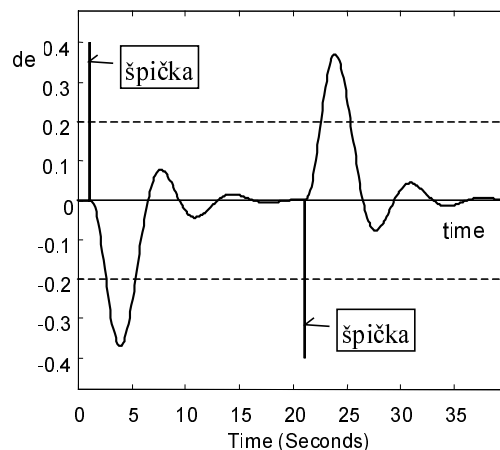
$$K_P = 2,4; \quad T_I = 3,14 \text{ s}; \quad T_D = 0,75 \text{ s}. \quad (2)$$

Pro návrh fuzzy regulátoru lineárního systému jsem se rozhodl použít fuzzy regulátor typu Mamdani v paralelním zapojení PI+PD části. Ten vychází ze struktury znázorněné na obr. 1. V obrázku  $q$  značí číslo v rozsahu (0,1).



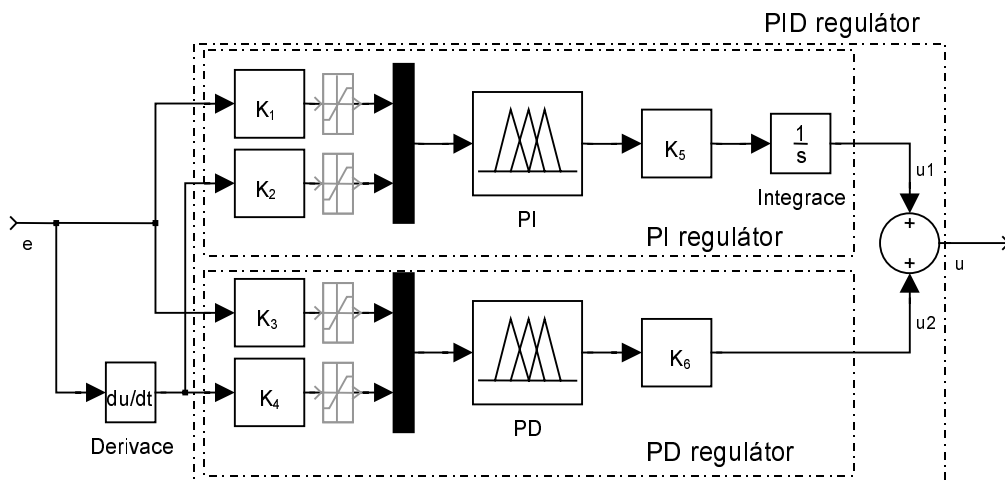
Obr.1: Paralelní zapojení PI+PD regulátoru

V úvodní fázi návrhu fuzzy regulátoru je nutné normalizovat jednotlivé stavové veličiny do rozsahu univerza, které jsem si zvolil  $[-1,1]$ . Dále potom je vhodné je upravit tak, aby byly potlačeny špičky vznikající při derivaci vstupních hodnot a aby podstatné hodnoty zaplnili rozsah univerza. Pro tuto činnost je využito bloku nasycení před vstupem do samotné fuzzy části regulátoru. Výsledek pro derivaci regulační odchylky, nasycení  $\pm 0,4$  a jednotkové skoky  $+1$  a  $-1$  v časech  $1s$  a  $21s$  je znázorněn na obr. 2. Špičky v grafu dosahují teoreticky nekonečných hodnot.



Obr.2: Předzpracování derivace regulační odchylky

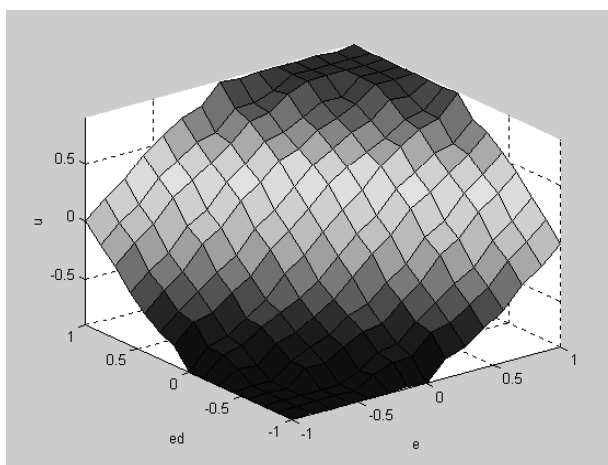
Po určení měřítek pro normalizaci jsem přistoupil k tvorbě samotného fuzzy regulátoru. Konkrétní zapojení je regulátoru znázorněno na obr. 3.



Obr.3: Paralelní struktura fuzzy PID regulátoru

Do regulátoru vstupuje regulační odchylka  $e$ , na výstupu je akční veličina  $u$ .  $K_1, \dots, K_6$  jsou měřítka. Při jejich určování musíme vycházet z toho, že volba měřítka musí vyhovovat dvěma kritériím, jejichž splnění je často protichůdné. Měřítka musí zabezpečit jednak přenesení pracovního rozsahu do zvoleného univerza (viz výše) a současně musí respektovat citlivost výstupní veličiny na jednotlivé vstupy s ohledem na oba požadavky. Protože citlivost výstupu PID regulátoru je určena velikostí jeho konstant, je poměr měřítka obou vstupů volen shodný s poměrem konstant PID regulátoru. Absolutní velikost vstupních měřítka zabezpečuje přenesení celého experimentálně určeného rozsahu řídicích veličin. Měřítka výstupní veličiny je určeno tak, aby celkový zisk fuzzy regulátoru odpovídal etalonímu PID regulátoru.

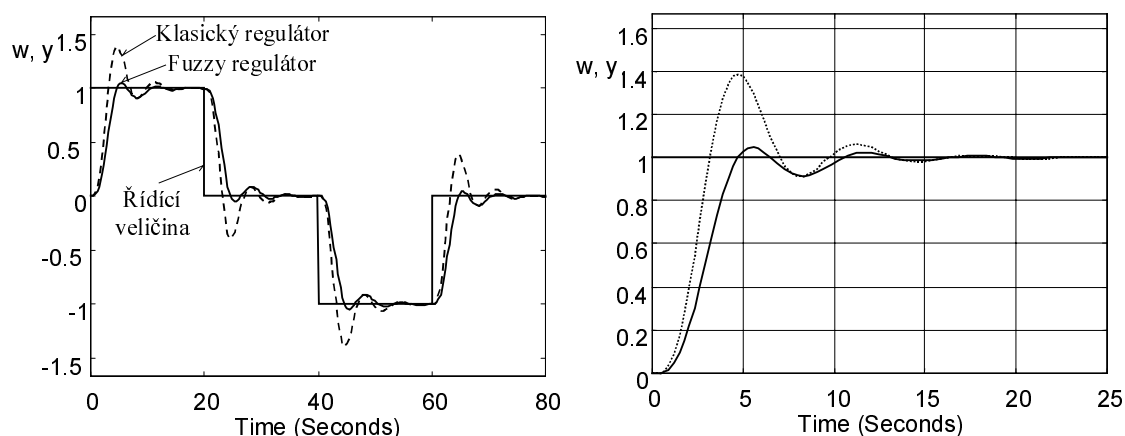
Bloky PI a PD jsou základní části fuzzy regulátoru, pro jejich programovou realizaci jsem využil toolboxu Matlab/Fuzzy. Jako funkce příslušnosti pro všechny veličiny jsem zvolil 7 rovnoměrně rozložených  $\Lambda$ -funkcí, báze pravidel tvoří řídicí plochu znázorněnou na obr. 4.



Obr.4: Řídící plocha fuzzy regulátoru

Takto navržený fuzzy regulátor je poté přenesen do regulačního obvodu, který je sestaven pomocí Simulinku.

Výsledky simulací jsou patrné na obr. 6, kde je zakreslen výstup klasického a fuzzy regulátoru pro rozsah  $[-1,1]$  a podrobněji jednotkový skok.



Obr.5: Výstup klasického a fuzzy regulátoru

Na obrázku je vidět, že výsledkem pro oba regulátory je periodický děj. Přestože klasický regulátor vykazuje oproti fuzzy regulátoru značně větší překmit, je doba regulace kratší v případě fuzzy regulátoru. Nevýhodou fuzzy regulátoru je kmitání kolem ustálené hodnoty, které by bylo patrné při delší době simulace. Toto kmitání by bylo možno odstranit zhuštěním rozmístění fuzzy množin v okolí nuly. Z obrázku lze odvodit, že se podařilo navrhnout regulátor v některých parametrech lepší, než navržený klasický PID regulátor. Fuzzy regulátor má menší překmit a kratší přechodový děj.

## Fuzzy regulátor pro nelineární systém

V případě lineárních systémů je fuzzy regulátor nastavován podle etaloního PID regulátoru, takže cílem je dosáhnout lineární řídicí plochu fuzzy regulátoru. Použití fuzzy regulátoru pro řízení nelineárního systému přináší možnost konstrukce nelineárního, případně adaptivního, fuzzy regulátoru, jímž je možno dosáhnout lepší výsledky než s použitím lineárního PID regulátoru. V dalším textu je provedena analýza nelineárního systému a je navržen postup sestavení nelineárního adaptivního PID regulátoru, který respektuje nelineární vlastnosti řízeného systému a zajišťuje požadovanou odezvu nelineárního systému v celém pracovním rozsahu.

Testovacím systémem, pro který jsem sestrojil fuzzy regulátor, je nelineární systém 3. řádu, jehož diferenciální rovnice je

$$y''' + 3y'' + 2y' + y^3 = u. \quad (3)$$

Pro návrh nelineárního adaptivního fuzzy regulátoru vstupní veličiny  $w$  v pracovním rozsahu  $[-1,1]$  jsem nahradil ve zvolených pracovních bodech nelineární člen za člen lineární. Tím jsem nelineární rovnici (3) nahradil lineární rovnicí

$$y''' + 3y'' + 2y' + a_0y = u. \quad (4)$$

Přenos tohoto systému je

$$G(s) = \frac{1}{s^3 + 3s^2 + 2s + a_0}. \quad (5)$$

Koeficient  $a_0$  jsem určil jako směrnici tečny, tj. derivaci funkce  $f(y) = y^3$  v daném pracovním bodě. Pro změnu koeficientu  $a_0$  v závislosti na poloze pracovního bodu tedy platí

$$a_{0y} = f'(y) = 3y^2. \quad (6)$$

Regulátor jsem v této části návrhu normalizoval v rozmezí  $[0,1]$  s krokem 0,2. S tímto krokem jsem vypočítal koeficient  $a_{0y}$ .

Nyní jsem identifikoval parametry jednotlivých regulátorů tak, že pro všechny pracovní body jsou nastaveny stejné hodnoty konstant derivační a proporcionální větve PID regulátoru

$$K_P = 2 \text{ a } T_D = 1,5 \text{ s}. \quad (7)$$

Adaptace PID regulátoru je zajištěna změnou zesílení integrační složky PID regulátoru. Integrační konstanta PID regulátoru se mění podle polohy pracovního bodu a pro její aproximaci jsem určil adaptační funkci ve tvaru polynomu 2. řádu

$$K_I = 0,4w^2 - 0,2w + 0,2, \quad (8)$$

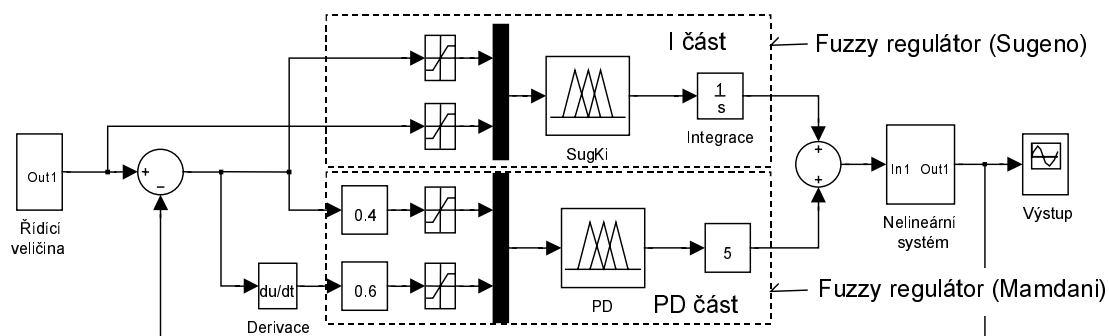
kde  $w$  je řídicí veličina. Tuto funkci jsem realizoval pomocí Sugena fuzzy regulátoru z toolboxu Matlab/Fuzzy. U tohoto typu regulátoru je možné zadávat výstupy ve formě konstantních hodnot. Tyto hodnoty jsem získal jako funkci dvou proměnných  $e$  a  $w$  tak, že pro integrační větev regulátoru platí

$$u_i = K_I \cdot e = (0,4w^2 - 0,2w + 0,2) \cdot e. \quad (9)$$

Výpočtem jsem získal jednotlivé výstupní hodnoty pro všechny kombinace vstupních fuzzy množin takto:

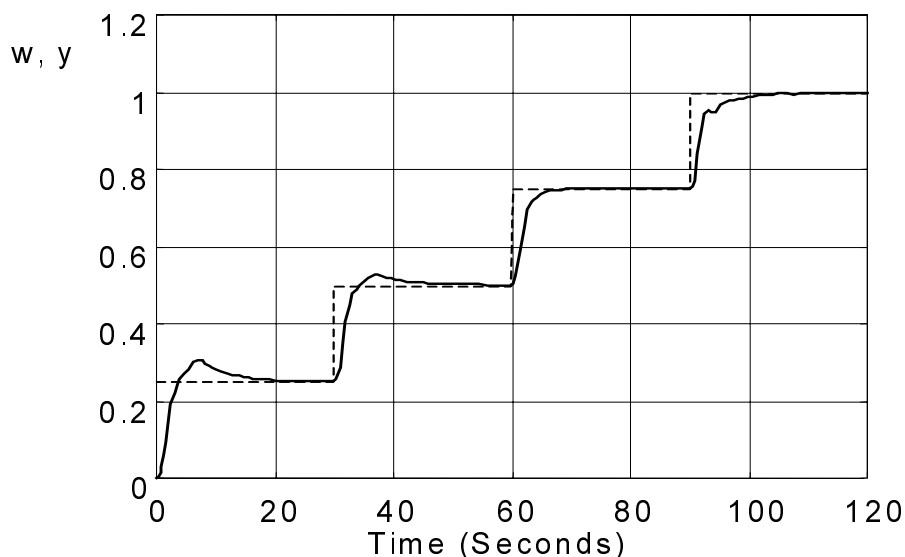
$e/w$	1	2	3	4	5	6	7
1	-1.6000	-1.0223	-0.6223	-0.4000	-0.3555	-0.4888	-0.7998
2	-1.0667	-0.6815	-0.4149	-0.2667	-0.2370	-0.3259	-0.5332
3	-0.5333	-0.3408	-0.2074	-0.1333	-0.1185	-0.1629	-0.2666
4	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
5	0.5333	0.3407	0.2074	0.1333	0.1185	0.1629	0.2666
6	1.0666	0.6815	0.4148	0.2667	0.2370	0.3258	0.5332
7	1.6000	1.0223	0.6223	0.4000	0.3555	0.4888	0.7997

V tabulce odpovídá značení 1, 2, ..., 7 slovnímu značení  $NB, NM, \dots, PB$ . Po vložení těchto hodnot do Matlab/Fuzzy editoru jsem sestrojil regulační obvod s nelineárním fuzzy regulátorem, obr.6.



Obr.6: Nelineární fuzzy PID regulátor

Po provedení simulace jsem získal výsledky tak, jak jsou zakreslené na obr. 7, kde je patrné, že se podařilo docílit velmi podobného chování systému ve velké části pracovního rozsahu. Pro další zpřesnění regulace by bylo vhodné zavést adaptační mechanismus také na další parametry regulátoru.



Obr.7: Přechodový děj v pracovním rozsahu fuzzy regulátoru

## Závěr

Na prezentovaných úlohách byla předvedena jednoduchá metodika návrhu fuzzy regulátorů pro lineární a nelineární řízený systém. V případě lineárního systému se podařilo pomocí fuzzy regulátoru dosáhnout dokonce lepšího přechodového děje, než v případě klasického regulátoru. Pro návrh nelineárního fuzzy regulátoru je rozhodující přesnost určení adaptační funkce regulátoru. Zde je možnost vylepšení navrženého fuzzy regulátoru. Další možností je zavedení adaptačních mechanismů i na další parametry regulátoru.

## Použitá literatura

- [1] Jura, P.: Základy fuzzy logiky pro modelování a řízení. Skriptum VUT, Brno 1998
- [2] Kolektiv: Fuzzy Logic Toolbox. The Math Works, Inc., Natick 1998
- [3] Vysoký, P.: Fuzzy řízení. Skriptum ČVUT, Praha 1996
- [4] Pivoňka, P.: Fuzzy regulátory. Příloha časopisu Automatizace, ročník 1997