

Programová podpora pro návrh adaptivního decentralizovaného řízení (4)

Petr Chalupa
Vladimír Bobál

5.2 Logický supervizor

Přístup, kdy nadřazená logika pracuje jako tzv. logický supervizor, představuje jednoduchý řídicí princip vhodný pro praktické aplikace při zachování robustnosti regulačního procesu.

Logický supervizor je založen na dvou základních principech:

- přiřazení priorit jednotlivým smyčkám,
- průběžné vyhodnocování kritérií pro každou smyčku.

Při řízení mnohazměrových systémů velmi často dochází k situaci, kdy dosažení požadovaných hodnot u některých výstupů systému je důležitější než u jiných výstupů. Každé dvojici žádaná hodnota – výstup systému je tedy možné přiřadit jedinečnou prioritu, přičemž čím vyšší priorita je přiřazena, tím důležitější je správný regulační pochod dané dvojice. Protože označování pořadí u dvojic vstup – výstup mnohazměrového systému je pouze formální záležitostí, můžeme zavést takové pořadí, které odpovídá prioritám: první výstup má nejvyšší prioritu, druhý výstup má nižší prioritu, třetí ještě nižší, atd.

Dále je v rámci logického supervizoru pro každou zpětnovazební smyčku vyhodnocováno určité kritérium, které udává, zda tato smyčka požaduje přepnutí regulátoru do adaptivního režimu. Jako kritérium se nejčastěji se používá regulační odchylka a je sledováno, zda se nachází v určitých mezích. Každá smyčka tedy poskytuje logickou hodnotu, která udává, zda tato smyčka požaduje provádění identifikace (1), nebo ne (0).

Poslední část logického supervizoru zajišťuje vlastní zapínání a vypínání adaptivního režimu u jednotlivých regulátorů. Pokud v daném časovém okamžiku požaduje adaptivní režim pouze jedna smyčka, je situace jednoduchá - požadavku je vyhověno a odpovídající regulátor je přepnut do adaptivního režimu. V případě, že adaptivní režim požaduje více smyček současně, je vybrána smyčka s nejvyšší prioritou. Příklad pravdivostní tabulky pro určení, který regulátor bude pracovat v adaptivním režimu, je uveden v tab. 1 (regulovaný systém o 3 vstupech a 3 výstupech).

Smyčka 1 má nejvyšší prioritu, a proto je jejímu požadavku vyhověno vždy. Naopak smyčka 3 má nejnižší prioritu, a proto je odpovídající regulátor přepnut do adaptivního režimu pouze v případě, že ostatní smyčky adaptaci nepožadují. Pomocí logických operátorů je možné zapsat vztah mezi požadavky na adaptaci (P_k) a adaptivním režimem (A_k) následovně:

$$A_1 = P_1 \quad A_2 = \bar{P}_1 \text{ AND } P_2$$

$$A_3 = \bar{P}_1 \text{ AND } \bar{P}_2 \text{ AND } P_3$$

kde pruh značí negaci a operace AND představuje logický součin. Obecný zápis pro systém o libovolném počtu výstupů má tvar:

$$A_k = \prod_{i=1}^{k-1} \bar{P}_i \text{ AND } P_k$$

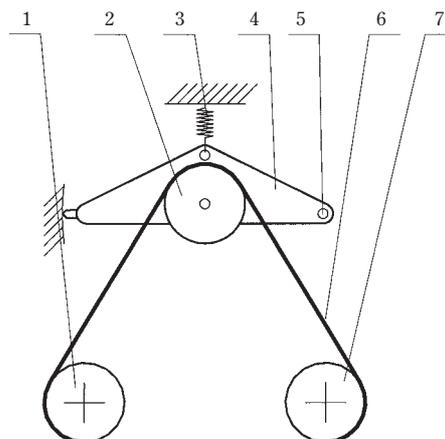
kde symbol Π značí logický součin.

6. Experimentální ověřování

Ověření decentralizovaného přístupu k řízení mnohazměrových soustav bylo prováděno na několika laboratorních modelech [11] s využitím regulátorů obsažených v knihovně samočinně se nastavujících regulátorů (STCSL – Self-Tuning Controllers Simulink Library) [3].

Dále prezentované experimentální výsledky byly naměřeny na laboratorním modelu CE 108. Schéma tohoto modelu je znázorněno na obr. 6. Jedná se o pásové zařízení s dvojicí sprážených servomotorů o dvou vstupech a dvou výstupech. Vstupními veličinami jsou otáčky dvou servomotorů, výstupy jsou rychlost a protažení pásu měřené pomocí výchylky otočného ramena. Model se vyznačuje význačnou nelinearitou a výrazným ovlivňováním obou výstupů oběma vstupy. Podrobněji je tento model popsán v článku [12].

Princip decentralizovaného řízení spočívá v rozdělení tohoto dvo-urozměrového systému na dva jednorozměrové subsystémy. První subsystém je tvořen servomotorem 1, jehož otáčky jsou vstupem – akční veličinou, a protažením pásu, které je výstupem – regulovanou veličinou. Vstupní veličinou druhého subsystému jsou otáčky servomotoru 2 a výstupem je rychlost pásu měřená pomocí rotací kola umístěného na otočném rameni.

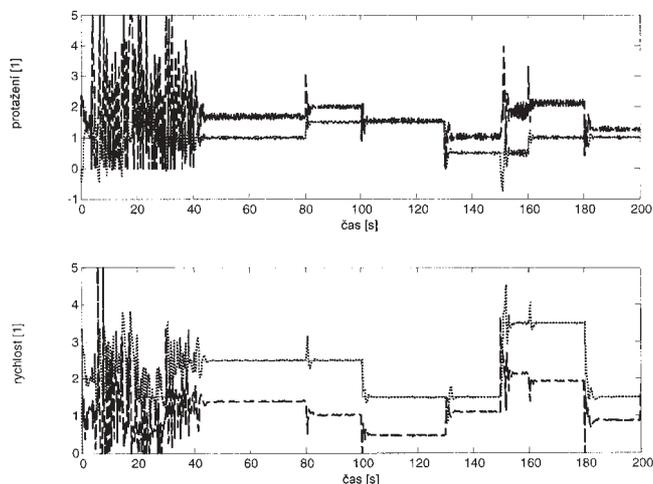


1 – servomotor 1, 2 – kolo pro měření rychlosti pásu, 3 – pružina, 4 – otočné rameno pro měření protažení pásu, 5 – osa otáčení, 6 – pružný pás, 7 – servomotor 2

Obr.6 Schéma modelu CE 108 – sprážené servomotory

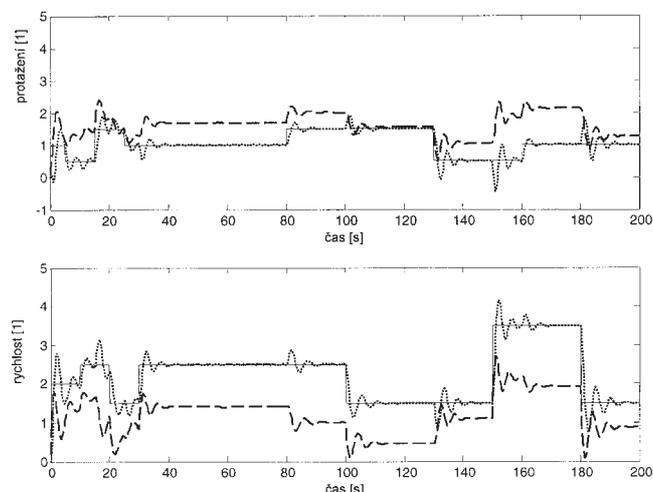
požadavek na adaptaci			provádět adaptaci		
P_1 (smyčka 1)	P_2 (smyčka 2)	P_3 (smyčka 3)	A_1 (smyčka 1)	A_2 (smyčka 2)	A_3 (smyčka 3)
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0

Tab.1 Pravdivostní tabulka popisující funkci logického supervizitu



Obr.7 Průběh regulačního pochodu při použití regulátorů založených na metodě Ziegler-Nicholse (zn2fr)

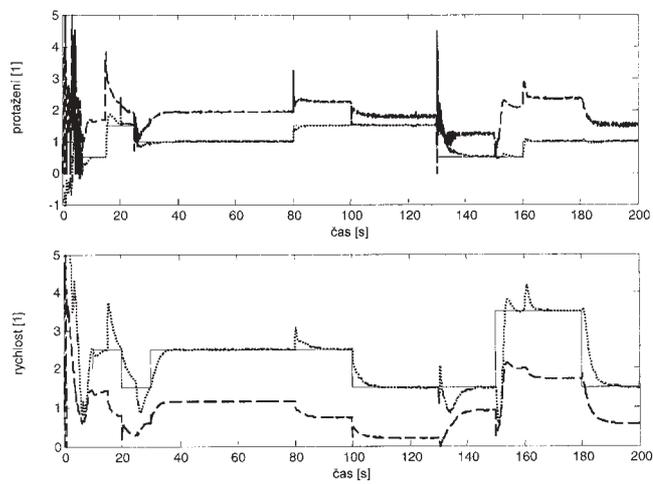
Na obr. 7 je zanesen průběh regulačního pochodu při použití adaptivních regulátorů (8) – (10) založených na metodě Ziegler-Nicholse (tento regulátor je označen v knihovně [3] symbolem **zn2fr**). V tomto i v následujících obrázcích je průběh referenční veličiny zakreslen plnou čarou, průběh regulované veličiny tečkovanou čarou a průběh akční veličiny čárkovaně. Referenční signál obsahuje v počáteční fázi několik skokových změn, které slouží k získání lepších odhadu parametrů modelu procesu. Průběh referenčního signálu je stejný u všech měření, která jsou dále prezentována.



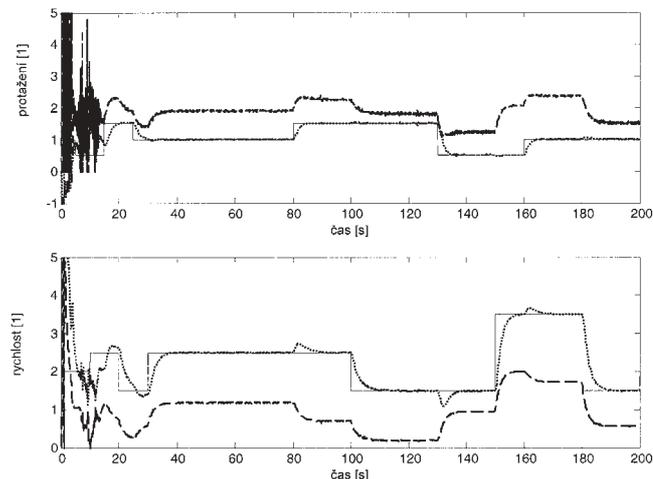
Obr.8 Průběh regulačního pochodu při použití regulátorů minimalizujících rozptyl (mv2)

Dále byly ověřovány další regulátory obsažené v knihovně s použitím kratší periody vzorkování. Obr. 8 zachycuje průběh veličin při použití regulátorů založených na minimalizaci rozptylu výstupu (25). Laboratorní model CE 108 vykazuje pro kratší periody vzorkování neminimálně fázové chování. Je známé, že použití regulátorů založených na minimalizaci rozptylu výstupu vede u takových soustav na nestabilní chování. Přesto vhodnou volbou penalizačního faktoru q (viz kritérium (24)) je možné dosáhnout stabilizace regulačního pochodu. Na obr. 9 a 10 jsou znázorněny průběhy při použití dvou různých regulátorů založených na metodě umístění pólů uzavřeného regulačního obvodu, a to regulátoru PID-A (17) a PID-B (22).

Z obrázků je zřejmé, že regulační pochody jsou značně odlišné. Regulátor založený na metodě Ziegler-Nicholse vykazuje poměrně výrazné překmity a nebylo možné jej použít při nízké periodě vzorkování – tento regulátor byl použit s periodou vzorkování 0.25s, zatímco ostatní pracovaly při periodě vzorkování 0.1s. Regulátor založený na minimalizaci rozptylu vykazuje hladké průběhy akčních a tím i regulovaných veličin. Dynamická charakteristika přechodu



Obr.9 Průběh regulačního pochodu při použití regulátorů pracujících na základě umístění pólů (pp2a1)



Obr.10 Průběh regulačního pochodu při použití regulátorů založených na metodě umístění pólů (pp2b1)

dových dějů je dána polohou pólů uzavřeného regulačního obvodu, a proto je možné u regulátorů pracujících na základě umístění pólů ovlivňovat dynamiku přechodových dějů v širokého rozmezí vhodnou volbou parametrů regulátorů. Z grafů regulačních průběhů jsou také zřejmé silné vazby mezi oběma subsystemy. V časových okamžicích, kdy se mění akční zásah v jednom subsystemu, dochází ke změně výstupu druhého subsystemu a tím následně i ke změně akční veličiny druhého subsystemu.

Pro exaktní porovnání kvality jednotlivých regulačních pochodů byla zvolena následující kvadratická kritéria.

$$S_y = \frac{1}{k_2 - k_1 + 1} \sum_{k=k_1}^{k=k_2} (e(k))^2 \quad S_u = \frac{1}{k_2 - k_1 + 1} \sum_{k=k_1}^{k=k_2} (\Delta u(k))^2$$

Parametry k_1 a k_2 byly voleny tak, aby pokrývaly celý průběh bez počáteční fáze. Hodnota k_1 vždy odpovídá času 40 s a hodnota k_2 odpovídá času 200 s.

Z tab. 2 je zřejmé, že nejlepší kvalita řízení byla dosažena použitím regulátoru PID-B. Dosažené výsledky plně odpovídají teoretickým

regulátory	protážení		rychlost	
	S_{yp}	S_{up}	S_{yr}	S_{ur}
Ziegler-Nichols (zn2fr), $T_0 = 0,25$ s	0,0147	0,1068	0,0351	0,0335
minimum variance (mv2), $T_0 = 0,1$ s	0,0275	0,0018	0,0530	0,0036
Pole placement (pp2a1), $T_0 = 0,1$ s	0,0208	0,0239	0,1757	0,0005
Pole placement (pp2b1), $T_0 = 0,1$ s	0,0116	0,0009	0,0819	0,0001

Tab.2 Výsledky experimentálního ověřování

předpokladům, poněvadž struktura regulačního obvodu PID-B odpovídá struktuře regulačního obvodu s dvěma stupni volnosti, tj. 2DOF (two degree of freedom) konfiguraci [12]. Konfiguraci obvodu se dvěma stupni volnosti 2DOF lze považovat za optimální.

Závěr

V příspěvku byly uvedeny základní principy decentralizovaného řízení s použitím adaptivních regulátorů založených na průběžné identifikaci parametrů modelu regulovaného procesu. Dále byly představeny některé jednoduché algoritmy používané v těchto regulátorech. Pro pohodlnou implementaci existujících regulátorů a usnadnění tvorby nových regulátorů byla vytvořena knihovna regulátorů, která v současné době obsahuje přes 30 regulátorů vhodných k začlenění do simulinkových schémat. Pro zvýšení stability průběžné identifikace při decentralizovaném řízení byla probírána možnost začlenění logického supervizoru. Tento blok pak zajišťuje, že pouze jeden regulátor bude v určitém čase pracovat v adaptivním režimu. Při experimentech na laboratorních modelech byla prokázána použitelnost decentralizovaného přístupu i pro procesy vysoce nelineární s výraznou vazbou mezi jednotlivými smyčkami. Výhodou decentralizovaného přístupu je možnost použití stávajících prověřených regulačních algoritmů navržených pro jednorozměrové systémy a s tím související jednodušší nastavování regulátorů ve srovnání s nastavováním maticového regulátoru použitého pro řízení mnohazměrového systému. Naopak nevýhodou je principiální suboptimálnost tohoto přístupu, poněvadž vzhledem k zanedbání některých přenosů v řízeném systému není možné dosáhnout optimálního regulačního pochodu. U praktických aplikací však tato skutečnost většinou nepředstavuje zásadní problém.

Poděkování

Příspěvek vznikl za částečné podpory MŠMT České republiky jako výsledek řešení výzkumného záměru č. MSM 281100001 a Grantové agentury České republiky jako výsledek řešení projektů č. 102/02/0204 a č. 102/03/0070.

Literatura

(vybrané tituly)

[3] BOBÁL, V., CHALUPA, P.: Self-Tuning Controllers Simulink Library. <http://www.utb.cz/stctool/>, 2002.

[11] CHALUPA, P., BOBÁL, V., DOSTÁL, P.: Application of simple self-tuning controllers in decentralized control. In: Proc. IEEE International Conference on Control Applications, Glasgow, 2002, 1276 - 1281.

[12] BOBÁL, V., NAVRÁTIL, P., KUBALČÍK, M.: Delta modifikace adaptivního řízení laboratorního modelu CE 108. AT&P Journal. Toto číslo.

Ing. Petr Chalupa

prof. Ing. Vladimír Bobál, CSc.

**Ústav teorie řízení
Institut informačních technologií
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Nám. T. G. Masaryka 275
762 72 Zlín, ČR
Tel.: +420/57/603 32 17
Fax: +420/57/603 33 33
e-mail: chalupa@ft.utb.cz
bobal@ft.utb.cz**

33