

POUŽITÍ REAL TIME TOOLBOXU PRO REGULACI HLADIN V PROPOJENÝCH VÁLCOVÝCH ZÁSOBNÍCÍCH

P. Chalupa

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav řízení procesů

Abstrakt

Příspěvek se zabývá problémem regulace hladin v propojených válcových zásobnících laboratorního modelu DTS200 firmy Amira. Soustava vykazuje nelineární chování a pro její regulaci byly využity adaptivní regulátory, které obsahují průběžnou identifikaci lineárního modelu soustavy. Do regulačního obvodu byl také začleněn Logický supervizor jakožto hierarchický prvek řídicí pomocí jednoduchého algoritmu činnost obou regulátorů. V příspěvku je uvedeno porovnání průběhů regulačních a regulovaných veličin s použitím a bez použití Logického supervizoru. Implementace regulátoru byla provedena v systému MATLAB a pro realizaci měření v reálném čase byl využit Real-TimeToolbox.

1 Úvod

Problém regulace hladin v zásobnících tekutin se vyskytuje v mnoha oblastech průmyslu. Příkladem mohou být vodojemy a studny sloužící k zásobování obyvatelstva pitnou vodou, zásobníky chemikálií v chemických výrobních procesech a jiné.

Pro regulaci hladin je možné použít rozličné přístupy – tento příspěvek se zabývá možností využití samočinně se nastavujících regulátorů. Základním principem samočinně se nastavujících regulátorů je průběžná identifikace parametrů modelu regulované soustavy a přepočítání parametrů regulátoru na základě aktuálních hodnot parametrů modelu. Výhodou tohoto přístupu je možnost použití klasických, dobře prověřených algoritmů návrhu regulátoru, které byly vyvinuty pro lineární regulované soustavy s konstantními parametry, i pro nelineární a časově proměnné regulované soustavy.

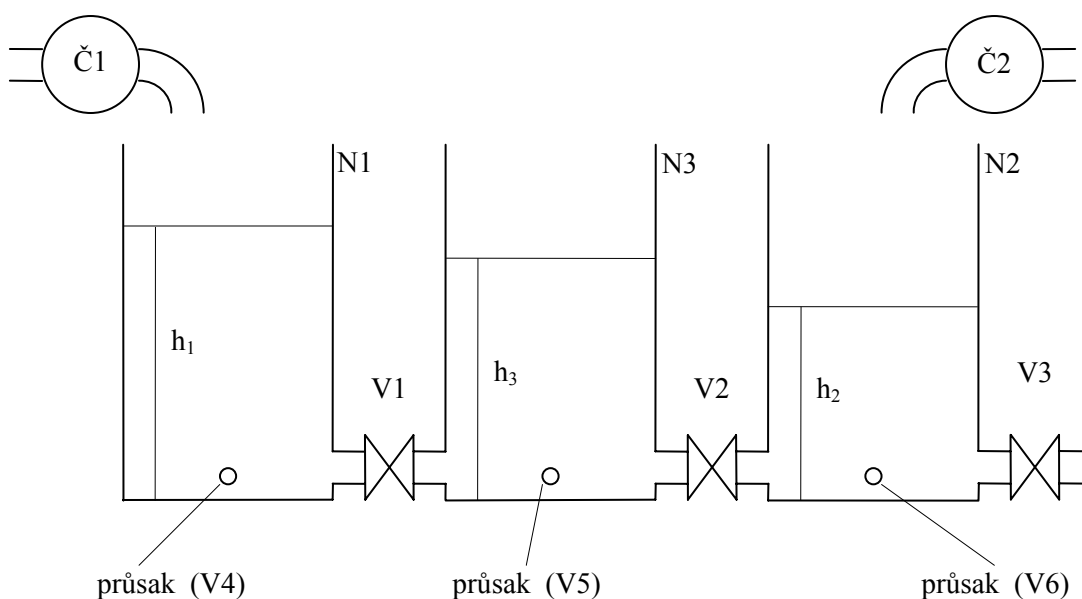


Obr. 1: Soustava tří válcových zásobníků

V případě, že se regulovaný systém skládá z více propojených zásobníků, které se vzájemně ovlivňují, je třeba uvažovat regulovanou soustavu jako mnoharozměrovou, tedy soustavu o více vstupních a více výstupních veličinách (MIMO – multi input multi output). Klasický přístup k řízení mnoharozměrových soustav spočívá v návrhu centrálního maticového regulátoru, jehož úkolem je zajištění žádaného průběhu všech regulovaných veličin. Jedním z alternativních přístupů je decentralizované řízení [1], jehož principem je rozdělení mnoharozměrového regulovaného systému na jednorozměrové subsystémy a regulace každého subsystému samostatným adaptivním regulátorem.

2 Popis regulované soustavy

Fotografie regulované soustavy je na obrázku 1 a její schématické znázornění je na obrázku 2. Soustava se skládá ze tří válcových nádob N1 – N3. Nádoba N1 je propojena s nádobou N3 ventilem V1 a nádoba N3 je dále propojena s nádobou N2 ventilem V2. Tekutinu je možné dopravovat do nádob N1 a N2 pomocí čerpadel Č1 a Č2; množství tekutiny vytékající z nádoby N2 je možné ovlivnit nastavením ventilu V3. Model také umožňuje simulovat průsak tekutiny z jednotlivých zásobníků, a to pomocí ventilů V4 až V6.



Obr. 2: Schéma regulované soustavy

Soustava byla připojena k řídicímu PC pomocí vstupně výstupní karty Advantech PCI-1711. Čerpadla Č1 a Č2 jsou řízena pomocí analogových výstupů, výšky hladin jsou přenášeny pomocí analogových vstupů. Stejně tak aktuální polohy ventilů jsou do PC předávány pomocí analogových vstupů. Pomocí digitálních vstupů je navíc předávána informace o plně otevřeném, případně plně zavřeném ventilu. Polohu každého ventilu je také možné ovládat pomocí dvou analogových výstupů. Pro monitorování a ovládání soustavy jsou tedy využity následující vstupy a výstupy:

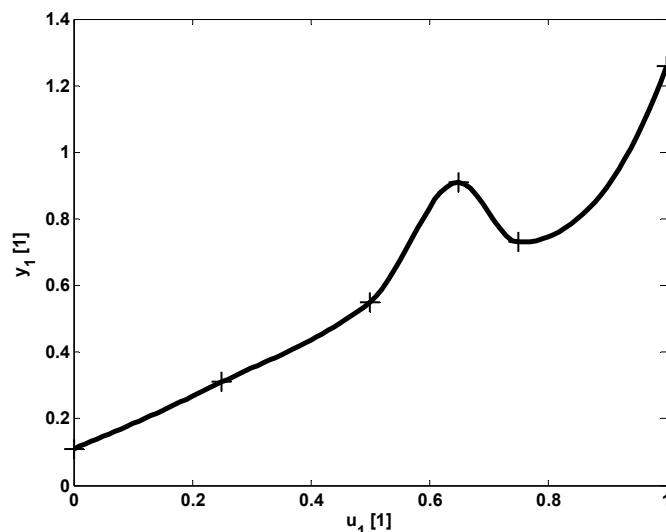
- Analogové vstupy: 3 x aktuální pozice hladin v jednotlivých nádržích
- Digitální vstupy: 6 x indikace plně otevřeného ventilu, 6 x indikace plně uzavřeného ventilu
- Analogové výstupy: 2 x ovládání čerpadel
- Digitální výstupy: 6 dvojic pro ovládání ventilů, ze 4 kombinací pro každý ventil jsou platné 3: otevřít ventil, zavřít ventil, neměnit pozici ventilu

Soustava tedy disponuje 3 veličinami, které je možné regulovat (výšky hladin). Pro regulaci je možné použít až 8 akčních zásahů (2 čerpadla a 6 ventilů).

Pro následující regulace je soustava uvažován jako systém o dvou vstupech realizovaných čerpadly Č1 a Č2 a dvou výstupech, kterými v tomto případě byly výšky hladin h_1 a h_2 . Ventily V1 a

V2 zajišťující propojení zásobníků byly plně otevřeny, ventily V3 a V5 byly zcela uzavřeny a ventily V4 a V6 byly v konstantní, částečně otevřené poloze.

Soustava vykazuje výrazně nelineární chování, jak je patrné z obrázku 3, který znázorňuje statickou charakteristiku závislosti výšky hladiny h_1 na řídicím signálu čerpadla Č1 při vypnutém čerpadle Č2.



Obr. 3: Statická charakteristika soustavy

3 Regulační obvod

Pro regulaci byl využit decentralizovaný přístup, kdy byla regulovaná soustava rozdělena na 2 jednorozměrné subsystemy. Dekompozice na subsystemy je v uvedeném případě přímočará: první subsystem je tvořen řídicím signálem čerpadla Č1 jako vstupem a výškou hladiny h_1 jako výstupem; druhý subsystem je pak tvořen řídicím signálem čerpadla Č2 jako vstupem a výškou hladiny h_2 jako výstupem.

Při decentralizovaném přístupu je výhodné použití samočinně se nastavujících regulátorů a to nejen vzhledem k nelinearitám, které soustava obsahuje, ale také kvůli potlačení interních vazeb mezi subsystemy [2].

Použité regulátory byly vybrány z knihovny samočinně se nastavujících regulátorů [3], která byla vytvořena na základě algoritmů popsaných v monografii [4]. Všechny regulátory obsažené v knihovně jsou vybaveny průběžnou identifikací modelu regulované soustavy. Při decentralizovaném přístupu je třeba, aby novější data měla při průběžné identifikaci větší váhu než data starší. Toho je dosaženo použitím začleněním exponenciálního a adaptivního směrového zapomínání [5].

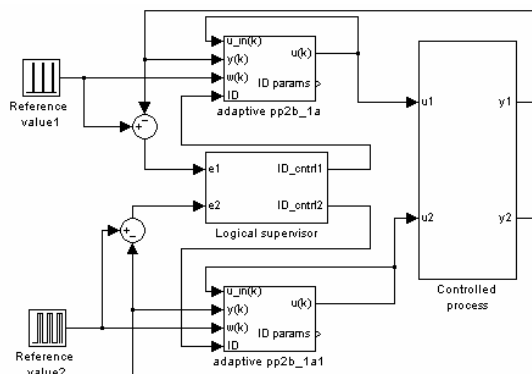
Při současném běhu průběžné identifikace u obou subsystemů může dojít k její destabilizaci, která je důsledkem vzájemné interakce mezi subsystemy. Tomuto problému je možné předejít, pokud je do regulačního obvodu zařazen nadřazený blok, který zajišťuje, že v určitém čase provádí průběžnou identifikaci pouze jeden z regulátorů.

Nadřazený blok může fungovat podle různých algoritmů, pro dále uvedené případy byl použit Logický supervizor. Logický supervizor je založen na dvou principech:

- Přiřazení priorit jednotlivým subsystemům
- Průběžné vyhodnocování kritéria každým subsystemem

Kritérium vyhodnocované každým subsystemem udává, zda subsystem vyžaduje průběžnou identifikaci. Tyto logické signály jsou předány do supervizoru, který vyhoví pouze té žádosti, jejíž odpovídající subsystem má nejvyšší prioritu. Tento výsledek je poslán do každého regulátoru jako logická hodnota udávající, jestli má regulátor dále pracovat v režimu s konstantními parametry nebo

v režimu průběžné identifikace. Schéma regulačního obvodu v prostředí MATLAB/Simulink je znázorněno na obrázku 4.



Obr. 4. Simulinkové schéma regulačního obvodu

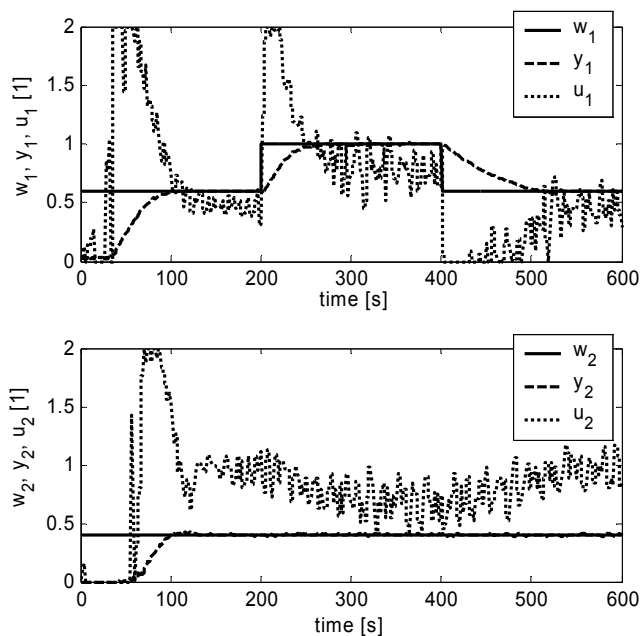
Pro zajištění vstupně-výstupních operací a běhu schématu v reálném čase byl použit Real Time Toolbox.

4 Naměřené výsledky

Pro regulaci bylo použito samočinně se nastavujících regulátorů založených na metodě přiřazení pólů. Poloha pólů byla zvolena tak, aby dynamika uzavřeného regulačního obvodu odpovídala dynamice spojité soustavy 2. řádu s charakteristickým polynomem

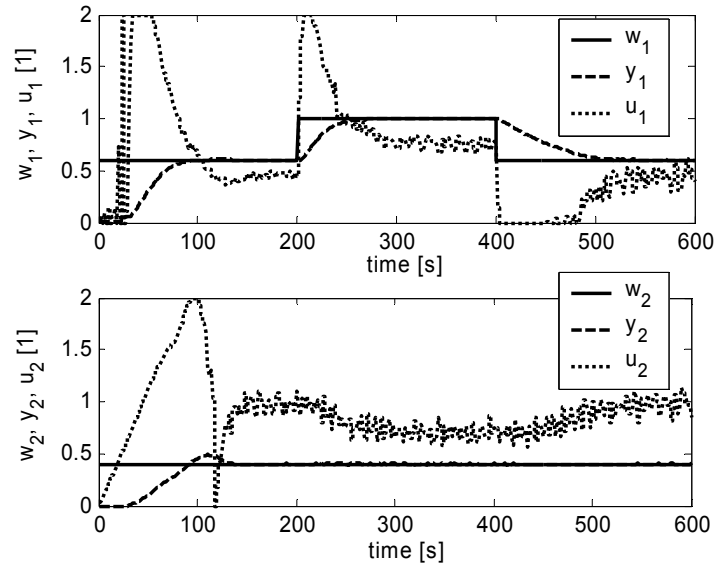
$$s^2 + 2\xi\omega s + \omega^2 \quad (1)$$

Tlumení bylo voleno $\xi=1$, úhlová frekvence kmitů $\omega=0.1$ a perioda vzorkování $T_0=2s$. Nejprve byly provedeny experimenty pro stav, kdy logický supervizor nebyl použit. Průběhy signálů v regulačním obvodu jsou znázorněny na obrázku 5.



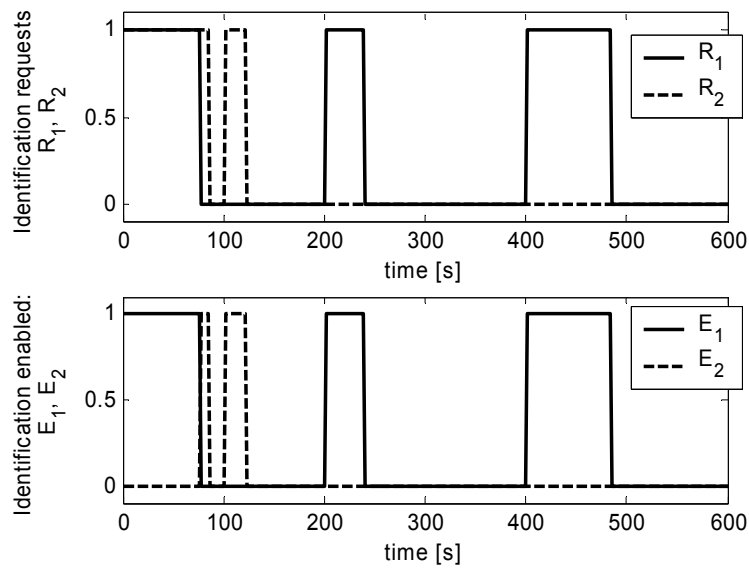
Obr. 5. Průběh regulačního pochodu pro případ bez logického supervizoru

Dále byly provedeny měření za stejných podmínek, ovšem se začleněním logického supervizoru. Výsledky jsou zaneseny v obrázku 6.



Obr. 6. Průběh regulačního pochodu pro případ bez logického supervizoru

Průběh zásahů logického supervizoru je zřejmý z obrázku 7, kde jsou zaneseny průběhy žádostí o průběžnou identifikaci (tj. vstupy logického supervizoru) a průběhy signálů povolujících průběžnou identifikaci (tj. výstupů logického supervizoru).



Obr. 7. Průběh vstupů a výstupů logického supervizoru

Porovnání obou průběhů bylo provedeno na základě kvadratických kritérií. První použité kritérium bylo založeno na součtu čtverců regulační odchylky:

$$S_e = \sum_{k=0}^N [w(k) - y(k)]^2; \quad N = 300 \quad (2)$$

Druhé kritérium, které bylo pro porovnání použito, vycházelo z druhých mocnin změn akčního zásahu:

$$S_u = \sum_{k=1}^N [u(k) - u(k-1)]^2; \quad N = 300 \quad (3)$$

Vypočtené hodnoty obou kritérií pro případ bez logického supervizoru i pro případ s logickým supervizorem jsou zaneseny v tabulce 1.

Tabulka 1: POROVNÁNÍ POMOCÍ KVADRATICKÝCH KRITÉRIÍ

		Subsystem		Celkem
		1	2	
Bez logického supervizoru	S_v	11.64	5.84	17.48
	S_u	14.76	10.08	24.84
S logickým supervizorem	S_v	11.04	4.55	16.59
	S_u	13.39	4.87	18.26

5 Závěr

Samočinně se nastavující regulátory obsažené v knihovně [4] se ukázaly jako vhodné pro regulaci hladin ve válcových zásobnících. Zařazení bloku logického supervizoru vedlo ke zlepšení kvality regulačního pochodu, jak je zřejmé z tabulky 1.

6 Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu Ministerstva školství české republiky číslo 1M684077004.

Literatura

- [1] Aoki, M. On feedback stabilizability of decentralized dynamic systems, *Automatica*, 8, Issue 2, pp. 163-173, 1972
- [2] Cui H., E. W. Jacobsen . Performance limitations in decentralized control, *Journal of Process Control*, 12, pp. 485–494, 2002.
- [3] Bobál, V., J. Böhm, J. Fessl, J. Macháček. *Digital Self-tuning Controllers: Algorithms, Implementation and Applications*, Springer, Berlin, 2005.
- [4] Bobál, V., P. Chalupa. Self-Tuning Controllers Simulink Library, <http://www.utb.cz/stctool/>, 2002.
- [5] Kulhavý, R. (1987). Restricted exponential forgetting in real time identification, *Automatica* 23, pp. 586 – 600.

Ing. Petr Chalupa. Ph.D.
 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
 Fakulta technologická
 Ústav řízení procesů
 Nad stráněmi 4511
 760 01 Zlín
 email: chalupa@ft.utb.cz
 tel.: +420 57 603 5204