

ŘÍZENÍ VÍCEROZMĚROVÉ SOUSTAVY PREDIKTIVNÍM REGULÁTOREM V SIMULINKU

D. Honc, F. Dušek

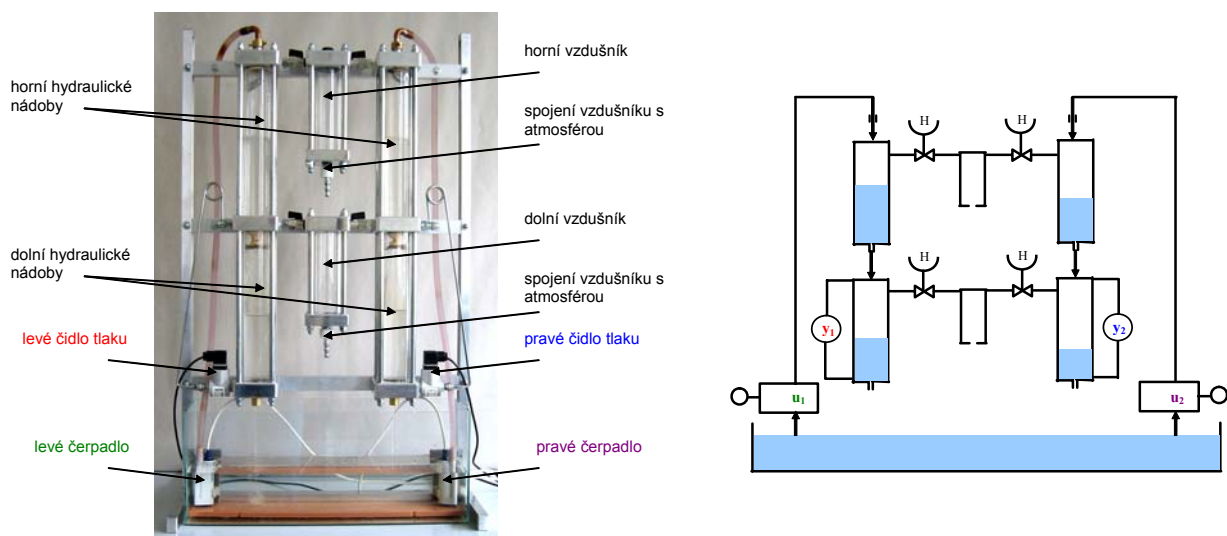
Katedra řízení procesů a výpočetní techniky, Univerzita Pardubice

Abstrakt

V příspěvku je ukázáno použití výpočetního systému MATLAB pro návrh řízení laboratorního modelu. Pomocí Real Time Toolboxu a akviziční karty byla v SIMULINKu na reálném zařízení změřena data pro identifikaci tj. určení některých parametrů nelineárního matematického modelu. Identifikace byla provedena numerickou optimalizací v MATLABu. Vícerozměrový prediktivní regulátor využívající budoucí průběh žádané hodnoty byl realizován jako blokové schéma v SIMULINKu. Na simulacích s nelineárním modelem soustavy byly určeny vhodné parametry regulátoru a poté byly změřeny regulační pochody s reálným zařízením.

1 Popis laboratorního zařízení

Hydraulicko-pneumatická soustava [1] byla vyvinuta a vyrobena na Katedře řízení procesů a výpočetní techniky Univerzity Pardubice v rámci projektu GAČR 102/03/0625 – Konsorciální přístup k vývoji experimentálních modelů. Cílem bylo vytvořit vícerozměrovou soustavu pro potřeby výuky matematického modelování a řízení vícerozměrových soustav. Jedná se o variantu propojených hydraulických nádrží. Do horních nádrží je kapalina čerpána dvěma čerpadly. Přes clonky protéká do spodních nádrží a zpět do zásobní nádrže. Na obr. 1 je fotografie a funkční schéma soustavy. Vnitřních vazeb je obvykle dosahováno spojením vodních objemů. Nevýhodou tohoto přístupu je, že dojde k omezení pracovní oblasti (nelze se pohybovat s oběma hladinami nezávisle na sobě). Proto byl navržen jiný způsob jak dosáhnout vícerozměrnosti a to uzavřením vzduchových objemů nad hladinami a jejich následným propojením. Vzduchové objemy mají vyústění do atmosféry uzavřené clonkami. Při změně průtoku dojde ke změně hladiny a tím ke změně tlaku ve vzduchových objemech. Tento tlak ovlivňuje zpětně všechny hladiny pouze do doby než dojde k jeho vyrovnání s tlakem atmosférickým. Výsledkem je trochu neobvyklé chování – v ustáleném stavu mají křížové vazby nulové zesílení. U jednodušší varianty modelu je průtok ovládán změnou napájecího napětí čerpadel a pomocí diferenčních čidel tlaku jsou měřeny pouze dolní hladiny. Všechny ovládací a měřené signály jsou v rozsahu napětí 0-10 V. Pro připojení laboratorního modelu k počítači byla použita akviziční karta AD 512 firmy Humusoft a Real Time Toolbox.



Obrázek 1: Hydraulicko-pneumatická soustava

2 Prediktivní regulátor

V posledních letech jsou prediktivní regulátory stále oblíbenější a to díky svému intuitivnímu konceptu, možnosti pracovat s budoucím průběhem žádaných hodnot, možnosti zpracovat znalosti o omezeních při návrhu regulátoru a také, že jsou jednoduše použitelné i pro vícerozměrové soustavy. Prediktivní regulátor [2] počítá akční zásahy na základě znalosti modelu soustavy (rovnice 1), aktuálního stavu a budoucího průběhu žádaných hodnot. Akční zásahy jsou optimální z pohledu kvadratického kritéria (rovnice 4 a 5). V kritériu je penalizována budoucí regulační odchylka (rozdíl mezi predikovanou (rovnice 2 a 3) a žádanou hodnotou výstupů soustavy) a přírůstky akčních zásahů. Pokud neuvažujeme omezení a předpokládáme lineární časově neproměnný model soustavy, je možné vypočítat minimum kritéria analyticky (rovnice 6) a získat předpis pro výpočet budoucích akčních zásahů na celém horizontu řízení. V každém intervalu vzorkování je výpočet zopakován a proveden pouze aktuální akční zásah (rovnice 7) – je aplikována takzvaná strategie pohyblivého horizontu. V rovnici 7 \mathbf{K} a \mathbf{F} jsou matice (\mathbf{K} je submaticí z matice \mathbf{L}), \mathbf{w} je vektor budoucího průběhu žádané hodnoty na celém horizontu řízení, $\mathbf{x}(k)$ je aktuální stavový vektor.

Model soustavy (stavový popis):

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A x(k) + B \Delta u(k) \\ y(k) &= C x(k) \end{aligned} \quad (1)$$

Predikce budoucího chování soustavy (standardní a maticový zápis):

$$\hat{y}(k+j|k) = CA^j x(k) + \sum_{i=0}^{j-1} CA^{j-i-1} B \Delta u(k+i), \quad j \in \{1, N\} \quad (2)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{F} x(k) + \mathbf{H} \Delta \mathbf{u}, \quad \mathbf{F} = f(A, C), \quad \mathbf{H} = g(A, B, C) \quad (3)$$

Kritérium (standardní a maticový zápis):

$$J = \sum_{j=1}^N \|\hat{y}(k+j|k) - w(k+j)\|_{q_j}^2 + \sum_{j=1}^N \|\Delta u(k+j-1)\|_{r_j}^2 \quad (4)$$

$$J = (\mathbf{F} x(k) + \mathbf{H} \Delta \mathbf{u} - \mathbf{w})^T \mathbf{Q} (\mathbf{F} x(k) + \mathbf{H} \Delta \mathbf{u} - \mathbf{w}) + \Delta \mathbf{u}^T \mathbf{R} \Delta \mathbf{u} \quad (5)$$

Optimální budoucí akční zásahy:

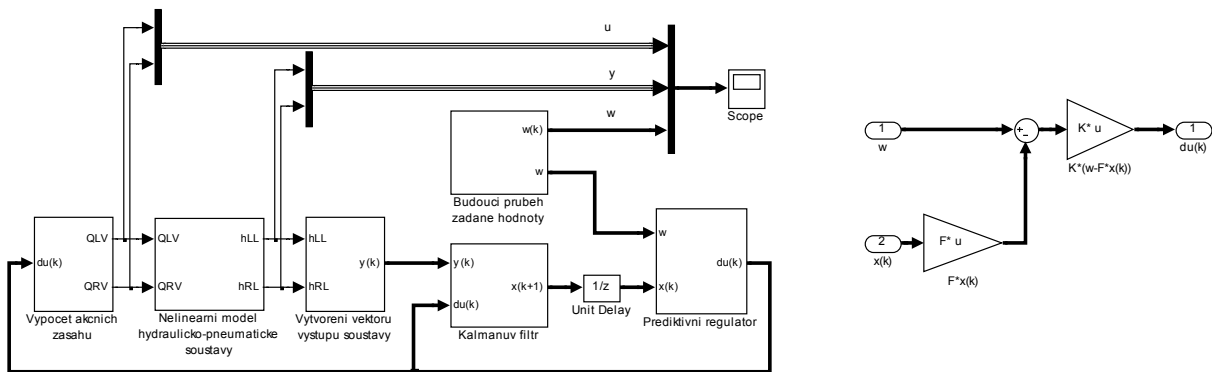
$$\Delta \mathbf{u} = (\mathbf{H}^T \mathbf{Q} \mathbf{H} + \mathbf{R})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{Q} (\mathbf{w} - \mathbf{F} x(k)) = \mathbf{L} (\mathbf{w} - \mathbf{F} x(k)) \quad (6)$$

Aktuální akční zásah:

$$\Delta u(k) = \mathbf{K} (\mathbf{w} - \mathbf{F} x(k)) \quad (7)$$

3 Realizace v SIMULINKu

Od verze MATLABu 6.5 SIMULINK podporuje maticové signály a operace a tak je možné i poměrně složitý regulátor realizovat jako schéma SIMULINKu. Na obr. 2 je blokové schéma regulačního obvodu a prediktivního regulátoru. Protože nejsou měřeny všechny stavové veličiny, je

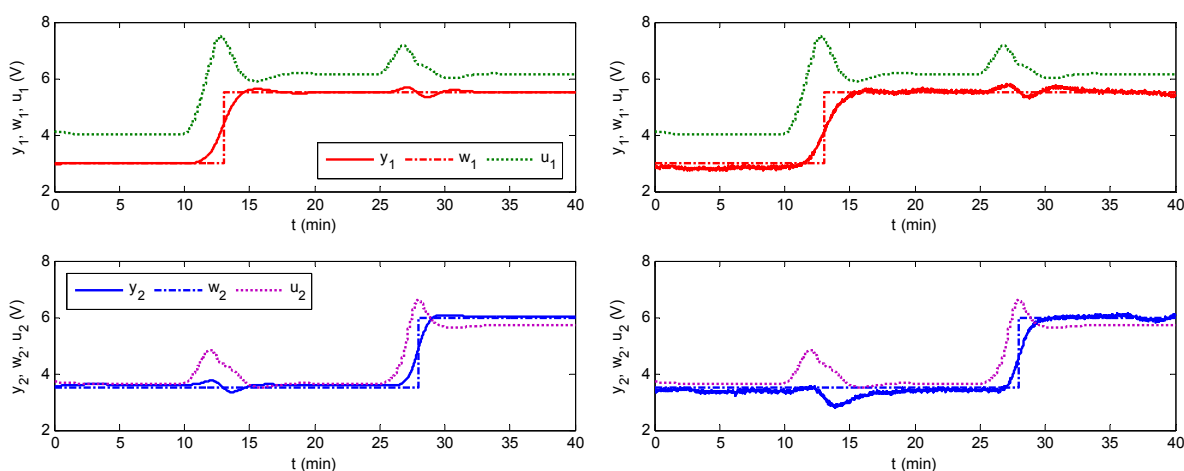


Obrázek 2: Regulační obvod a prediktivní regulátor

nutné aktuální stav odhadovat použitím stavového pozorovatele – Kalmánova filtru. V bloku „Budoucí průběh žádané hodnoty“ je generován vektor budoucích žádaných hodnot w . Blok „Prediktivní regulátor“ počítá akční zásah podle rovnice 7.

4 Řízení laboratorního modelu

Při experimentech byl horní vzdušník otevřen do atmosféry (clonka byla umístěna pouze v dolním vzdušniku). Na základě matematicko-fyzikální analýzy byl sestaven model zařízení a z naměřených průběhů hladin byly dohledány neznámé parametry modelu [3] (výtokové koeficienty clonek hydraulických nádrží a clonky pneumického objemu). Model byl analyticky linearizován [4] a pro zvolený pracovní bod byl vypočítán stavový popis soustavy (2 vstupy, 2 výstupy, 5 stavů). Pro zvolený průběh žádaných hodnot hladin a nelineární model byl simulován regulační pochod a byly zvoleny a nastaveny parametry prediktivního regulátoru (horizont řízení 180 s, interval vzorkování 10 s, penalizační matice regulační odchylky a přírůstků akčních zásahů). Poté byl blok soustavy zaměněn za blok realizující měření a ovládání (bylo připojeno fyzické zařízení) a byl změřen regulační pochod. Na obr. 3 je vlevo simulovaný a vpravo změřený regulační pochod.



Obrázek 3: Simulovaný a změřený regulační pochod

5 Závěr

Příspěvek je ukázkou komplexního přístupu k návrhu řízení s využitím prostředků MATLABu. Je vytvořen nelineární model zařízení a na simulovaných regulačních pochodech je nastaven regulátor. I poměrně složitý regulátor lze díky podpoře maticových operací realizovat přímo v SIMULINKU. Změřený regulační pochod je velmi podobný simulovanému, což vypovídá o dobré kvalitě modelu.

Práce byly provedeny s podporou výzkumného záměru MSM 0021627505 – Řízení, optimalizace a diagnostika složitých systémů.

Literatura

- [1] J. Macháček, F. Dušek, D. Honc. Laboratory multivariable hydraulic-pneumatic process. In: *5th International Carpathian Control Conference*, Zakopane, Poland, May 25 – 28 2004.
- [2] D.W. Clarke, C. Mohtadi, P.S. Tuffs. *Generalized predictive control – Part I. The basic algorithm*, Automatica, 24, 2, 137-148, 1987.
- [3] D. Honc, J. Macháček, F. Dušek. Experimental identification of hydraulic-pneumatic process. In: *6th International Carpathian Control Conference*, Miskolc-Lillafürd, Hungary, May 24 – 27 2005.
- [4] J. Macháček, D. Honc, F. Dušek. Nonlinear and linearized mathematical-physical model of hydraulic-pneumatic process. In: *15th International Conference on Process Control '05*, Štrbské pleso, Slovak Republic, June 7 – 10 2005.