

Aktivní detekce chyb a řízení

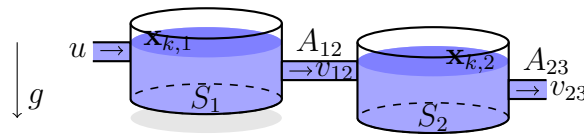
Jan Škach¹

1 Úvod

Aktivní detekce chyb (AFD) je mladé odvětví obecnější disciplíny nazvané detekce chyb, která spolu s automatickým řízením nachází široké využití v mnoha aplikacích jako například v letectví nebo chemickém průmyslu. Důvodem pro použití AFD je kromě zvýšení bezpečnosti také snížení provozních nákladů. AFD narozdíl od pasivní detekce zavádí zpětnou vazbu do systému s cílem zvýšit kvalitu rozhodování. Samotné odhalení chyby může být navíc rozšířeno o cíle řízení, kdy generovaný budící signál zajistí požadované chování systému. V tomto případě se jedná o úlohu aktivní detekce chyb a řízení (AFDC) Škach et al. (2014).

2 Ilustrace AFDC na systému spojených nádrží

Pro ilustraci AFDC byl vybrán systém spojených nádrží zobrazený na Obrázku 1. Spojitě



Obrázek 1: Ilustrace propojených nádrží.

diferenciální rovnice zjednodušeného nelineárního dynamického systému dvou propojených nádrží byly diskretizovány pomocí dopředné Eulerovy metody s periodou vzorkování $T_s = 1$ [s]. Získaný diskretní model má v každém časovém okamžiku $k \in \mathcal{T} = \{0, 1, \dots\}$ tvar

$$\Sigma_1 : \begin{cases} \mathbf{x}_{k+1,1} &= \mathbf{x}_{k,1} - \frac{v_{12}A_{12}T_s}{S_1} \sqrt{2g(\mathbf{x}_{k,1} - \mathbf{x}_{k,2})} + \frac{T_s}{S_1} u_k + \mathbf{w}_{k,1}, \\ \mathbf{x}_{k+1,2} &= \mathbf{x}_{k,2} + \frac{v_{12}A_{12}T_s}{S_1} \sqrt{2g(\mathbf{x}_{k,1} - \mathbf{x}_{k,2})} - \frac{v_{23}A_{23}T_s}{S_2} \sqrt{2g\mathbf{x}_{k,2}} + \mathbf{w}_{k,2}, \end{cases} \quad (1)$$

kde $\mathbf{x}_{k,1} \in [0.1, 0.7]^T$ [m] je výška hladiny v první nádrži, $\mathbf{x}_{k,2} \in [0.1, 0.5]^T$ [m] je výška hladiny v druhé nádrži a společně tvoří stav systému $\mathbf{x}_k = [\mathbf{x}_{k,1}, \mathbf{x}_{k,2}]^T$, který je přímo měřitelný. Spojitý stavový prostor je za účelem aproximačního řešení nahrazen rovnoměrnou mřížkou $\mathcal{S}^g \equiv \mathcal{S}_1^g \times \mathcal{S}_2^g = \{0.1, 0.11, \dots, 0.7\} \times \{0.1, 0.11, \dots, 0.5\}$ diskretních stavů s^t . Dále $u_k \in \mathcal{U} = \{0, 0.0075, 0.015, 0.0225\}$ [m³/s] je řízený přítok kapaliny do první nádrže, $\mathbf{w}_k = [\mathbf{w}_{k,1}, \mathbf{w}_{k,2}]^T$ je nezávislý stavový šum odpovídající Laplaceově rozdělení s parametry polohy $\eta = 0$ a měřítko $\beta = 0.0015$. Parametry $v_{12} = v_{23} = 0.99$ jsou příslušné rychlostní součinitele, $A_{12} = A_{23} = 0.0063$ [m²] jsou příslušné průřezy průtokového potrubí, $S_1 = S_2 = 0.3142$ [m²] jsou příslušné průřezy dna nádrží a $g = 9.81$ [m/s²] je tíhové zrychlení. Uvažovanou chybou v systému je zmenšení průřezu potrubí z druhé nádrže vlivem zanesení. Takový systém Σ_2 je modelován

¹ student doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika, e-mail: janskach@kky.zcu.cz

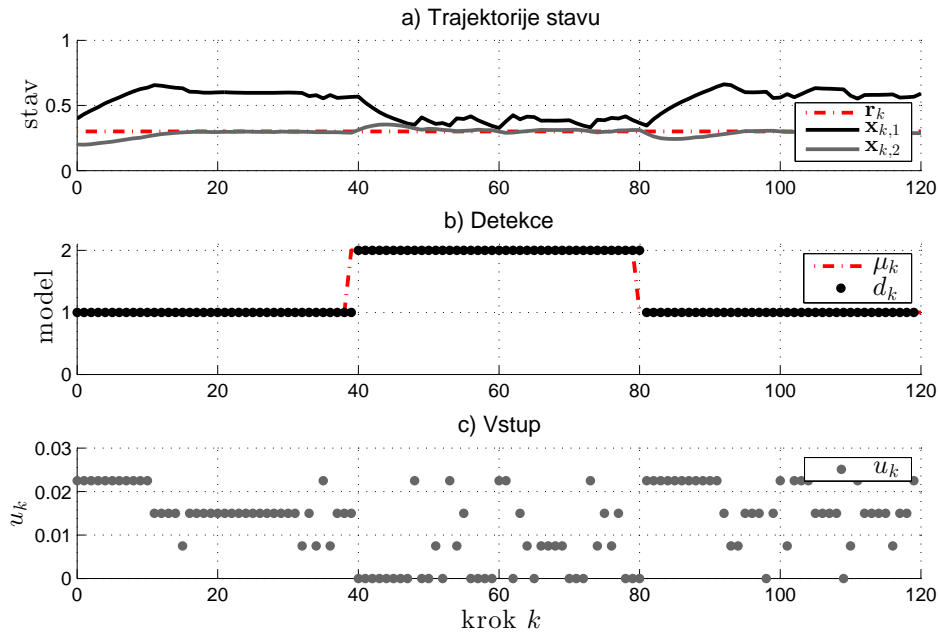
ekvivalentním modelem (1) s jedním modifikovaným parametrem $A_{23} = 0.0031 \text{ [m}^2\text{]}$. Nechť $\mu_k \in \mathcal{M} = \{1, 2\}$ označuje neznámý model systému. Přepínání mezi Σ_1 a Σ_2 je popsáno maticí pravděpodobností přechodu $\Pi(\mu_{k+1} = j | \mu_k = i) = 0.02$ pro $i, j \in \mathcal{M}$, $i \neq j$. Cílem úlohy je navrhnout takový aktivní detektor chyb a regulátor, který bude generovat rozhodnutí $d_k \in \mathcal{M}$ o aktuálním modelu systému a vstupní signál $u_k \in \mathcal{U}$ tak, aby bylo minimalizováno kritérium

$$J = \lim_{F \rightarrow +\infty} \mathbb{E} \left\{ \sum_{k=0}^F \lambda^k \left[\alpha L^d(d_k, \mathbf{s}_k) + (1 - \alpha) L^c(\mathbf{s}_k, u_k) \right] \right\}, \quad (2)$$

$$L^c(\mathbf{s}_k, u_k) = |0.1u_k| + \left(1 - e^{-10(\mathbf{s}_{k,2} - r)^2} \right),$$

kde $r = 0.3 \text{ [m]}$ je referenční hladina druhé nádrže, $\alpha = 0.001$ je váhový koeficient detekce chyb a řízení a L^d penalizuje nesprávné rozhodnutí.

Typické trajektorie systému pro časový horizont $F = 120$ kroků jsou ilustrovány na Obrázku 2. Z výsledků je patrné, že detektor generuje správné rozhodnutí o modelu systému. Hladina kapaliny v druhé nádrži zároveň sleduje požadovanou referenční hodnotu i v případě, kdy se model systému změní.



Obrázek 2: Typické trajektorie systému.

3 Závěr

Návrh aktivního detektoru a regulátoru byl formulován jako optimalizační úloha minimalizace kritéria hodnotícího kvalitu detekce a cíle řízení na nekonečném časovém horizontu. Jedná se o komplexní problém, jehož řešení vyžaduje použití aproximací. V další práci je zapotřebí hledat způsoby zmenšení výpočetních nároků a zlepšení kvality detekce chyb a řízení.

Literatura

Škach, J., Punčochář, I., and Šimandl, M., 2014. Approximate active fault detection and control. *Journal of Physics: Conference series*, 570(7).