

## Aktivní detekce chyb a řízení

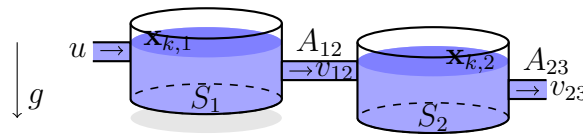
Jan Škach<sup>1</sup>

### 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  $u_k \in \mathcal{U} = \{0, 0.0075, 0.015, 0.0225\}$  [m<sup>3</sup>/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,  $A_{12} = A_{23} = 0.0063$  [m<sup>2</sup>] jsou příslušné průřezy průtokového potrubí,  $S_1 = S_2 = 0.3142$  [m<sup>2</sup>] jsou příslušné průřezy dna nádrží a  $g = 9.81$  [m/s<sup>2</sup>] je tíhové zrychlení. Uvažovanou chybou v systému je zmenšení průřezu potrubí z druhé nádrže vlivem zanesení. Takový systém  $\Sigma_2$  je modelován

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

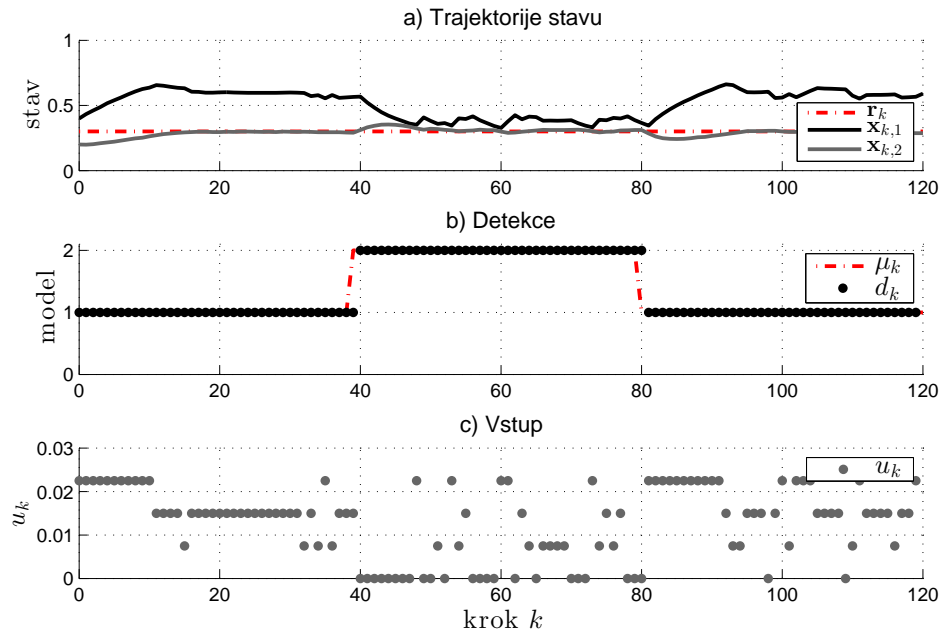
ekvivalentním modelem (1) s jedním modifikovaným parametrem  $A_{23} = 0.0031$  [m<sup>2</sup>]. Nechť  $\mu_k \in \mathcal{M} = \{1, 2\}$  označuje neznámý model systému. Přepínání mezi  $\Sigma_1$  a  $\Sigma_2$  je popsáno maticí pravděpodobností přechodu  $\Pi(\mu_{k+1} = j | \mu_k = i) = 0.02$  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  $r = 0.3$  [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).