

Aktivní detekce chyb

Ivo Punčochář

Fakulta aplikovaných věd, Katedra kybernetiky
a
Výzkumné centrum Data - Algoritmy - Rozhodování
Západočeská univerzita v Plzni

Prezentace v rámci odborného semináře Katedry kybernetiky

Obsah

Úvod

Motivační příklady

Definice chyby a fáze detekce

Standardní struktura detektoru

Pasivní vs. aktivní přístup k detekci

Aktivní detekce chyb

Formulace problému

Optimální řešení

Suboptimální řešení

Ilustrační příklad

Motivační příklady

Příklady aplikací detekce chyb

- ▶ Kontrola jakosti výroby
- ▶ Poruchy čidel a akčních prvků
- ▶ Úniky médií z přenosových soustav
- ▶ ...

Definice chyby a fáze detekce

Chyba

- nepřijatelná odchylka v chování sledovaného systému

Fáze detekce chyby

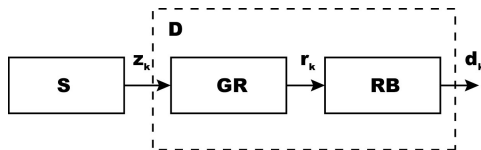
- ▶ Detekce chyby
- ▶ Určení typu chyby
- ▶ Reakce na chybu

Vymezení prezentovaného přístupu v rámci metod detekce

- ▶ Přístupy k detekci chyb založené na matematickém modelu sledovaného systému a dostupných měřeních

Standardní struktura detektoru

- ▶ Detektor skládající se ze dvou částí
 - ▶ Generátor reziduí (GR) - rezidua, robustnost; odhad parametrů, filtry, paritní rovnice
 - ▶ Rozhodovací blok (RB) - statistické vyhodnocení reziduí s požadovanými pravděpodobnostmi na chybu 1. a 2. druhu; bayesovské přístupy, CUSUM, SPRT, GLRT

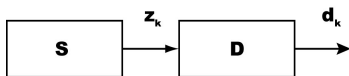


Struktura detektoru

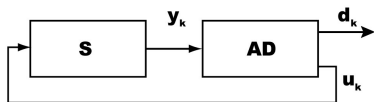
Pasivní vs. aktivní přístup k detekci chyb

Aktivní detektor (AD)

- ▶ Generování rozhodnutí d_k a signálu u_k , který by měl zlepšit kvalitu detekce
- ▶ Lze uvažovat různou vnitřní strukturu bloku AD



a) Schéma pasivní detekce



b) Schéma aktivní detekce

Formulace problému I

Popis systému s využitím vícemodelového přístupu

Pro $k \in \mathcal{T} = \{0, 1, \dots, F\}$ platí

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}(\theta_k)\mathbf{x}_k + \mathbf{B}(\theta_k)u_k + \mathbf{G}(\theta_k)\mathbf{w}_k$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}(\theta_k)\mathbf{x}_k + \mathbf{H}(\theta_k)\mathbf{v}_k$$

$$\theta_{k+1} \sim P(\theta_{k+1}|\theta_k)$$

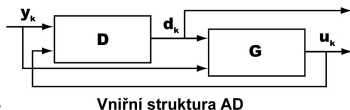
\mathbf{x}_k, θ_k tvoří hybridní stav, $\theta_k \in \mathcal{M} = \{1, \dots, N\}$, u_k vstup, \mathbf{y}_k měření, \mathbf{w}_k a \mathbf{v}_k jsou nezávislé Gaussovské šумы, $P(\theta_0)$, $p(\mathbf{x}_0)$ pravděpodobnosti počátečních podmínek

Kritérium

$$J = \mathbb{E} \left\{ \sum_{k=0}^F L(\theta_k, d_k) \right\}$$

Formulace problému II

Vnitřní struktura aktivního detektoru



Uvažované případy

- ▶ Optimální detektor D pro daný generátor vstupního signálu G - generátor G je popsán známými funkcemi $u_k = \gamma_k(\mathbf{y}_0^k, u_0^{k-1}, d_0^k)$ a cílem je navrhnout detektor D popsáný neznámými funkcemi $d_k = \sigma_k(\mathbf{y}_0^k, u_0^{k-1}, d_0^{k-1})$
- ▶ Optimální detektor D a optimální generátor vstupního signálu G - cílem je navrhnout oba bloky G i D, tj. najít fce. $u_k = \gamma_k(\mathbf{y}_0^k, u_0^{k-1}), d_k = \sigma_k(\mathbf{y}_0^k, u_0^{k-1})$

Optimální řešení

- ▶ Využití dynamického programování vede na rekurzivní rovnici s koncovou podmínkou $V_{F+1}^* = 0$

Podle uvažovaného případu

- ▶ Optimální detektor D pro daný generátor vstupního signálu G $V_k^*(\mathbf{y}_0^k, u_0^{k-1}, d_0^{k-1}) = \min_{d_k \in \mathcal{M}} [E\{L(\theta_k, d_k) + V_{k+1}^*(\mathbf{y}_0^{k+1}, u_0^k, d_k) | \mathbf{y}_0^k, u_0^k, d_k\}] |_{u_k = \gamma_k(\mathbf{y}_0^k, u_0^{k-1}, d_0^k)}$
- ▶ Optimální detektor D a optimální generátor vstupního signálu G $V_k^*(\mathbf{y}_0^k, u_0^{k-1}) = \min_{d_k \in \mathcal{M}} E\{L(\theta_k, d_k) | \mathbf{y}_0^k, u_0^{k-1}\} + \min_{u_k \in \mathcal{U}} E\{V_{k+1}^*(\mathbf{y}_0^{k+1}, u_0^k) | \mathbf{y}_0^k, u_0^k\}$
- ▶ Hodnota kritéria $J = E\{V_0^*(\mathbf{y}_0)\}$

Suboptimální řešení

Problémy v optimálním řešení

- ▶ Nelze najít analytické vyjádření funkcí $V_k^*(\mathbf{y}_0^k, u_0^{k-1})$
- ▶ Počet možných sekvencí modelů roste exponenciálně s časem (v kroku k je jich N^{k+1})

Suboptimální řešení je založeno na použití

- ▶ Postupujícího horizontu (Rolling Horizon)
- ▶ Prořezávání stromu sekvencí pomocí techniky GPB2

Ilustrační příklad I

Systém je v každém časovém okamžiku popsán jedním z následujících dvou modelů

$$\begin{aligned} 1 : x_{k+1} &= 0.3x_k + u_k + hw_k & 2 : x_{k+1} &= 0.5x_k + 1.5u_k + hw_k \\ y_k &= -2x_k + hv_k & y_k &= 1.5x_k + hv_k \end{aligned}$$

$h = \sqrt{0.25}$, $P(\theta_0 = 1) = P(\theta_0 = 2) = 0.5$, $x_0 \sim \mathcal{N}\{0, 0.1\}$,
 $w_k, v_k \sim \mathcal{N}\{0, 1\}$

Matice přechodových pravděpodobností

$$P(\theta_{k+1}|\theta_k) \sim \begin{bmatrix} 0.2 & 0.8 \\ 0.8 & 0.2 \end{bmatrix}$$

Ztrátová funkce je zvolena

$$\begin{aligned} \theta_k = d_k &\Rightarrow L_k(\theta_k, d_k) = 0 \\ \theta_k \neq d_k &\Rightarrow L_k(\theta_k, d_k) = 1 \end{aligned}$$

Ilustrační příklad II

Horizont detekce $F = 1$, množina hodnot vstupů

$$U = \{1.5, -0.1\}$$

- ▶ CL1 - optimální detektor a optimální generátor
- ▶ CL2 - optimální detektor pro daný generátor
 $u_k = \gamma_k(\mathbf{I}_0^k, d_k)$ ($d_k = 1 \Rightarrow u_k = 1.5, d_k = 2 \Rightarrow u_k = -0.1$) s
- ▶ BA - detektor pro daný generátor $u_k = \gamma_k(\mathbf{I}_0^k, d_k)$ navržený strategií OLF(BA)

	CL1	CL2	BA
$E\{\hat{J}\}$	0.4659	0.4997	0.7411
$\text{VAR}\{\hat{J}\}$	$3.02 \cdot 10^{-4}$	$2.23 \cdot 10^{-4}$	$4.99 \cdot 10^{-4}$

Ilustrační příklad III

Horizont detekce $F = 50$, množina hodnot vstupů
 $U = \{-0.5, 0.5\}$

- ▶ RH - navržený suboptimální aktivní detektor
- ▶ OLF+PRBS - generátor z RH je nahrazen PRBS generátorem

	OLF+PRBS	RH
$E\{\hat{J}\}$	6.6142	2.7548
$\text{VAR}\{\hat{J}\}$	0.0083	0.0028