

附录：四种模型偏差检测方法

模型偏差检测方法	基于模型偏差检测理论框架的具体实现	参数解释
SWDDetector	<p>系统建模: <math>\Delta \bar{y}(k) = \tilde{P}_y \cdot \Delta \bar{y}(k-1) + \varepsilon(k)</math></p> <p>其中,</p> <p>模型输出矩阵: <math>Y(k) = [\Delta \bar{y}(k)]</math></p> <p>模型输入矩阵: <math>N(k) = \begin{bmatrix} \Delta \bar{y}(k-1) \\ I_{n_y \times 1} \end{bmatrix}</math></p> <p>模型参数矩阵: <math>P = [P_y \quad \varepsilon(k)]</math></p> <p>辨识模型参数矩阵: <math>\tilde{P} = [\tilde{P}_y \quad \varepsilon(k)]</math></p>	<p><math>k</math>: 自适应环的序号</p> <p><math>\bar{y}(k)</math>: 系统输出</p> <p><math>\varepsilon(k)</math>: 系统输出的稳态误差</p> <p><math>P_y</math>: 相邻系统输出的线性模型参数(辨识模型参数为 <math>\tilde{P}_y</math>)</p> <p><math>n_y</math>: 系统输出变量个数</p> <p><math>I_{n_y \times 1}</math>: <math>n_y</math> 行 1 列,元素值均为 1 的矩阵</p>
	<p>检测变量: <math>\varepsilon(k)</math></p> <p>检测变量估计:</p> $\varepsilon(k) = \left  \frac{2}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n/2-1} (\Delta \bar{y}(k-i)) - \frac{2}{n} \cdot \sum_{i=n/2}^{n-1} (\Delta \bar{y}(k-i)) \right $	<p><math>n</math>: 滑动窗口大小</p>
	<p>模型偏差表示: <math>\Theta_{MD} = \{\varepsilon(k) \mid \varepsilon(k) \notin [\varepsilon^L \quad \varepsilon^U]\}</math></p>	<p><math>\varepsilon^L</math>: 检测变量值下界</p> <p><math>\varepsilon^U</math>: 检测变量值上界</p>
	<p>模型偏差判断: <math>Alarm(k) = I(\varepsilon(k) \mid \Theta_{MD})</math></p>	<p><math>Alarm(k)</math>: 模型偏差报警( <math>Alarm(k) = 1</math> 表示检测到模型偏差)</p>
ARMA	<p>系统建模: <math>\bar{y}(k) = \sum_{i=1}^p \tilde{\beta}_i \cdot \bar{y}(k-i) + \tilde{B} \cdot \bar{u}(k-1) + \eta(k)</math></p> <p>其中,</p> <p>模型输出矩阵: <math>Y(k) = [\Delta \bar{y}(k)]</math></p> <p>模型输入矩阵: <math>N(k) = \begin{bmatrix} \bar{y}(k-1) \\ \vdots \\ \bar{y}(k-p) \\ \bar{u}(k-1) \\ I_{n_y \times 1} \end{bmatrix}</math></p> <p>模型参数矩阵: <math>P = [\beta_1 \quad \cdots \quad \beta_p \quad B \quad \eta(k)]</math></p> <p>辨识模型参数矩阵: <math>\tilde{P} = [\tilde{\beta}_1 \quad \cdots \quad \tilde{\beta}_p \quad \tilde{B} \quad \eta(k)]</math></p>	<p><math>k</math>: 自适应环的序号</p> <p><math>\bar{y}(k)</math>: 系统输出</p> <p><math>\bar{u}(k-1)</math>: 控制信号</p> <p><math>p</math>: 自适应软件系统模型阶数</p> <p><math>\eta(k)</math>: 系统辨识误差</p> <p><math>\beta_1, \dots, \beta_p</math>: 当前系统输出与历史系统输出线性模型参数(辨识值为 <math>\tilde{\beta}_1, \dots, \tilde{\beta}_p</math>)</p> <p><math>B</math>: 系统输出与控制信号的线性模型参数(辨识值为 <math>\tilde{B}</math>)</p> <p><math>n_y</math>: 系统输出变量个数</p> <p><math>I_{n_y \times 1}</math>: <math>n_y</math> 行 1 列,元素值均为 1 的矩阵</p>
	<p>检测变量: <math>\eta(k)</math></p> <p>检测变量估计:</p> $\eta(k) = \bar{y}(k) - \sum_{i=1}^p \tilde{\beta}_i \cdot \bar{y}(k-i) + \tilde{B} \cdot \bar{u}(k-1)$	
	<p>模型偏差表示: <math>\Theta_{MD} = \{\eta(k) \mid Pr(\eta(k) \in N(0, E)) &lt; pr\}</math></p>	<p><math>N(0, E)</math>: 检测变量在正常情况下均值是 0,方差是 E 的正态分布</p> <p><math>Pr(\cdot)</math>: 求取概率值</p> <p><math>pr</math>: 极小概率值</p>
	<p>模型偏差判断: <math>Alarm(k) = I(\eta(k) \mid \Theta_{MD})</math></p>	<p><math>Alarm(k)</math>: 模型偏差报警( <math>Alarm(k) = 1</math> 表示检测到模型偏差)</p>
Direct	<p>系统建模: <math>\begin{cases} \Delta \bar{x}(k) = A \cdot \Delta \bar{x}(k-1) + B \cdot \bar{u}_\Delta(k-1) + \gamma \cdot \Delta \bar{a}(k) \\ \Delta \bar{y}(k) = C \cdot \Delta \bar{x}(k) \end{cases}</math></p> <p>其中,</p> <p>模型输出矩阵: <math>Y(k) = \begin{bmatrix} \Delta \bar{x}(k) \\ \Delta \bar{y}(k) \end{bmatrix}</math></p>	<p><math>k</math>: 自适应环的序号</p> <p><math>\bar{y}(k)</math>: 系统输出</p> <p><math>\bar{u}(k-1)</math>: 控制信号</p> <p><math>\bar{a}(k)</math>: 实测环境输入</p> <p><math>A</math>: 系统的延迟属性对应模型参数(辨识参数为 <math>\tilde{A}</math>)</p> <p><math>B</math>: 系统的可控属性对应模型参数(辨识参数为 <math>\tilde{B}</math>)</p> <p><math>C</math>: 系统的可观属性对应模型参数(辨识参数为 <math>\tilde{C}</math>)</p>

	<p>模型输入矩阵: <math>N(k) = \begin{bmatrix} \Delta \tilde{x}(k-1) \\ \Delta \tilde{u}(k-1) \\ \Delta \tilde{a}(k) \\ \Delta \tilde{x}(k) \end{bmatrix}</math></p> <p>模型参数矩阵: <math>\tilde{P} = \begin{bmatrix} A &amp; B &amp; \gamma &amp; 0 \\ 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; C \end{bmatrix}</math></p> <p>辨识模型参数矩阵: <math>\tilde{P} = \begin{bmatrix} \tilde{A} &amp; \tilde{B} &amp; \tilde{\gamma} &amp; 0 \\ 0 &amp; 0 &amp; 0 &amp; \tilde{C} \end{bmatrix}</math></p>	<p><math>\gamma</math>: 环境输入对系统内部状态的线性模型参数(辨识参数为 <math>\tilde{\gamma}</math>)</p>
	<p>检测变量: <math>B(k)</math></p> <p>检测变量估计: <math>B(k) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \hat{B}(k-i)</math></p>	<p><math>\hat{B}(k)</math>: 矩阵计算模型参数值</p> <p><math>n</math>: 滑动窗口大小</p>
	<p>模型偏差表示: <math>\Theta_{MD} = \{B(k)   B(k) \notin \theta_B\}</math></p>	<p><math>\theta_B</math>: 检测变量安全区域</p>
	<p>模型偏差判断: <math>Alarm(k) = I(B(k)   \Theta_{MD})</math></p>	<p><math>Alarm(k)</math>: 模型偏差报警( <math>Alarm(k) = 1</math> 表示检测到模型偏差)</p>
MoD2	<p>系统建模:</p> $\begin{cases} B(k) = B(k-1) + \omega \cdot (\tilde{B} - B(k-1)) + q(k) \\ \Delta \tilde{x}(k) = A \cdot \Delta \tilde{x}(k-1) + B(k) \cdot \Delta \tilde{u}(k-1) + \gamma \cdot \Delta \tilde{a}(k) + w(k) \\ \Delta \tilde{y}(k) = C \cdot \Delta \tilde{x}(k) + v(k) \end{cases}$ <p>其中,</p> <p>模型输出矩阵: <math>Y(k) = \begin{bmatrix} B(k) \\ \Delta \tilde{x}(k) \\ \Delta \tilde{y}(k) \end{bmatrix}</math></p> <p>模型输入矩阵: <math>N(k) = \begin{bmatrix} B(k-1) \\ \tilde{B} \\ q(k) \\ \Delta \tilde{x}(k-1) \\ \Delta \tilde{u}(k-1) \\ \Delta \tilde{a}(k) \\ w(k) \\ \Delta \tilde{x}(k) \\ v(k) \end{bmatrix}</math></p> <p>模型参数矩阵:</p> $P = \begin{bmatrix} 1-\omega & I_{n_u \times 1} & I_{n_u \times 1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A & B & \gamma & I_{n_u \times 1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C & I_{n_y \times 1} & 0 \end{bmatrix}$ <p>辨识模型参数矩阵:</p> $\tilde{P} = \begin{bmatrix} 1-\tilde{\omega} & I_{n_u \times 1} & I_{n_u \times 1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tilde{A} & \tilde{B} & \tilde{\gamma} & I_{n_u \times 1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \tilde{C} & I_{n_y \times 1} & 0 \end{bmatrix}$	<p><math>k</math>: 自适应环的序号</p> <p><math>\tilde{y}(k)</math>: 系统输出</p> <p><math>\tilde{u}(k-1)</math>: 控制信号</p> <p><math>\tilde{a}(k)</math>: 实测环境输入</p> <p><math>\omega</math>: 模型偏差的向心力参数(辨识参数为 <math>\tilde{\omega}</math>)</p> <p><math>A</math>: 系统的延迟属性对应模型参数(辨识参数为 <math>\tilde{A}</math>)</p> <p><math>B</math>: 系统的可控属性对应模型参数(辨识参数为 <math>\tilde{B}</math>)</p> <p><math>C</math>: 系统的可观属性对应模型参数(辨识参数为 <math>\tilde{C}</math>)</p> <p><math>\gamma</math>: 环境输入对系统内部状态的线性模型参数(辨识参数为 <math>\tilde{\gamma}</math>)</p> <p><math>q(k)</math>: 模型参数 <math>B</math> 的固有波动</p> <p><math>w(k)</math>: 环境输入影响观测误差</p> <p><math>v(k)</math>: 系统输出测量误差</p> <p><math>n_y</math>: 系统输出变量个数</p> <p><math>n_u</math>: 控制信号变量个数</p> <p><math>I_{n_y \times 1}</math>: <math>n_y</math> 行 1 列,元素值均为 1 的矩阵</p> <p><math>I_{n_u \times 1}</math>: <math>n_u</math> 行 1 列,元素值均为 1 的矩阵</p>
	<p>检测变量: <math>B(k)</math></p> <p>检测变量估计: 贝叶斯参数估计 <math>B(k) \sim N(\mu_k, \pi_k)</math></p>	<p><math>\mu</math>: 正态分布均值</p> <p><math>\pi</math>: 正态分布方差</p>
	<p>模型偏差表示: <math>\Theta_{MD} = \{B(k)   Pr(B(k) \in \theta_B) &lt; pr\}</math></p>	<p><math>\theta_B</math>: 检测变量安全区域</p> <p><math>Pr(\cdot)</math>: 求取概率值</p> <p><math>pr</math>: 极小概率值</p>
	<p>模型偏差判断: <math>Alarm(k) = I(B(k)   \Theta_{MD})</math></p>	<p><math>Alarm(k)</math>: 模型偏差报警( <math>Alarm(k) = 1</math> 表示检测到模型偏差)</p>