

サーボ系のバイアス故障に対する逐次故障診断について

学籍番号：90172150 藤井研究室 村上 篤史

1 はじめに

プラントに対して突発的に発生した故障による急激な入出力信号の変化はバイアス故障と呼ばれ、システムの安全性に対して脅威となる。しかし故障を早期に発見できれば適切な修理等を行い壊滅的な結果を避けることができる。モデルに基づく故障診断では故障の発生を示す特徴量 (residual 信号) を生成、評価することで故障を診断する。

本研究ではプラントに対する故障の影響を未知の外生信号の印加として捉える。発生する故障はバイアス故障に限定し、ノイズの影響を考慮した residual 信号の一評価法を提案し、数値例を挙げてその有効性を確認する。

2 準備

2.1 用語

- Event 装置のパフォーマンスも含めた内部または外部生起、またはシステム変動。
- Fault システムの特性やパラメータが通常の状態から、許容されていない偏差をもつこと。
- Residual システムの入出力の測定値とモデルに基づく計算値との間の偏差から求まる故障の指標。
- Abrupt fault 突発的な故障であり、ステップ信号の印加としてモデル化される。

→ Event に起因する未知の信号の印加を故障と定義する。

2.2 モデルに基づく故障診断システムの構成

モデルに基づく診断システムの構成は2つに大別される。

Residual generation :

入出力信号を用いて residual 信号を生成する。residual 信号は、故障のない状態では0、故障が発生した時に値が大きく変化するよう生成する。

Residual evaluation :

得られた residual 信号を評価し、故障の発生を判定する。

2.3 residual generator の設計

図1のシステムを考える。

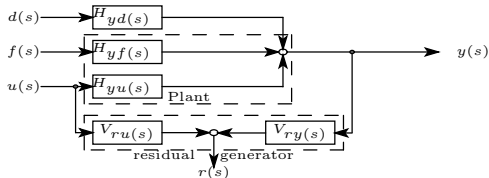


図1: residual generator の構成

$$y(s) = H_{yu}(s)u(s) + H_{yd}(s)d(s) + H_{yf}(s)f(s) \quad (1)$$

式(1)のプラントに対して

$$r(s) = V_{ru}(s)u(s) + V_{ry}(s)y(s) \quad (2)$$

のような線形時不変で安定な residual generator を以下の条件の下で設計する。

[条件1] $f(t) = 0$ の場合、任意の入力 $u(t), d(t), t > 0$ に対して $r(t), t > 0$ は0に収束する。

[条件2] $r(t)$ は $f(t)$ の影響を受ける。

この条件1, 2より次の関係式が成立する必要がある。

$$(V_{ru}(s) + V_{ry}(s)H_{yu}(s) \quad V_{ry}(s)H_{yd}(s)) = 0 \quad (3)$$

3 問題設定

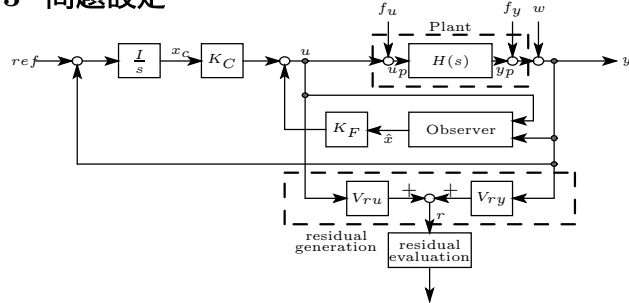


図2: 故障診断システムを有するサーボ系

図2のようなサーボ系にアクチュエータ故障 f_u 、センサ故障 f_y の検出を考える。発生する故障はバイアス故障に限定する。また観測ノイズ w_1, \dots, w_m は白色であり互いに無相関であると仮定し、このとき故障を検出する。但しプラントは l 入力 m 出力、安定でモデルに不確かさはないものとする。

4 故障診断法

4.1 residual generation

プラントの伝達関数を $H(s) = C(sI - A)^{-1}B$ とおく。式(3)を満たすような residual generator を $V_{ru}(s) = -H(s), V_{ry}(s) = I$ と選ぶ。得られる residual 信号は

$$r = H(s)f_u + f_y + w \quad (4)$$

のように求まる。

4.2 residual evaluation

印加された故障信号の推定値を θ とする。 θ は $f_{u_1}, \dots, f_{u_l}, f_{y_1}, \dots, f_{y_m}$ のうちのいずれかを表す。また、故障信号 θ から residual 信号 r_i への伝達関数の単位ステップ応答のデータ列を sd_i と記述する。また rd_i は現在の時刻 k における i 番目の residual のデータ列とする。ともにデータ数は n 、サンプリングタイムは T_s とする。

$$rd_i = (r_i[k-n+1] \ \dots \ r_i[k])^T \quad (5)$$

$$sd_i = (s_i[1] \ \dots \ s_i[n])^T \quad (6)$$

故障信号 θ が正しく推定されれば式(5)は式(6)の θ 倍になる。従って、各点の誤差の二乗和を最小化することによりフィッティングを行う。これにより θ を推定する。

$$e = \{(rd_1 \ \dots \ rd_m) - \theta (sd_1 \ \dots \ sd_m)\}^T \{(rd_1 \ \dots \ rd_m) - \theta (sd_1 \ \dots \ sd_m)\} \quad (7)$$

$$\theta = \frac{\begin{pmatrix} rd_1 & \dots & rd_m \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} sd_1 & \dots & sd_m \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} sd_1 & \dots & sd_m \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} sd_1 & \dots & sd_m \end{pmatrix}} \quad (8)$$

と求めることができる。

5 数値例

図3のモデルを考え、以下のような数値を与える。

$$A = \begin{pmatrix} -2 & 0 \\ 1 & -3 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$f_{u_1} = \begin{cases} 0 & (t < 5) \\ 0.5 & (t \geq 5) \end{cases}, f_{u_2} = 0, f_{y_1} = 0, f_{y_2} = \begin{cases} 0 & (t < 10) \\ 0.2 & (t \geq 10) \end{cases}$$

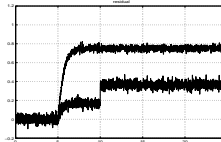


図3: residual

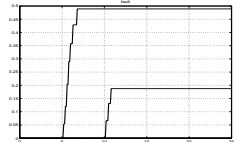


図4: 検出された故障信号

5 おわりに

本研究では residual 信号の評価法に着目することでバイアス故障の検出を行う手法を提案した。residual の評価は、故障信号から residual 信号への伝達関数の単位ステップ応答に対して実際の residual 信号のデータをフィッティングすることにより行った。さらに数値例により本手法の有効性を確認した。

6 参考文献

- [1] Silvio Simani, Cesare Fantuzzi, Ron J. Patton "Model-based Fault Diagnosis in Dynamic Systems Using Identification Techniques", Springer, 2002
- [2] M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, M. Staroswiecki, "Diagnosis and Fault-Tolerant Control", Springer, 2003