

プラント異常発見システムにおける内部状態分類手法とその評価

久保田 和人[†] 森田 千絵[†] 波田野 寿昭[†] 仲瀬 明彦[†]
河井 研介[†] 渡辺 経夫[†] 大谷 圭子[†] 大滝 裕樹[†]

[†]株式会社 東芝

1. はじめに

工場や発電所などのプラントでは、一度事故が起きると計り知れない経済的、社会的な損失を被る。従って、事故が起きる前にシステムの変調を検知し対策を施すことが必須となる。

近年のプラントシステムの一部では、システムを構成する個々の装置に取り付けられたセンサの適正範囲監視によるプラント異常発見システムが備えられている。これは、センサ値の取るべき適正な範囲をあらかじめ設定し、適正範囲を外れた際に異常警告を出すものである。適正範囲の設定にあたっては、エンジニアがプラントの系統図やシステムの物理的特性を考慮し、実際にセンサから取得されたデータとつき合わせながら適性範囲の設定を行う。しかし、このような方法には二つの問題点がある。

(1) センサ数の増大

現在のプラントではあらゆる機器にセンサが取り付けられ、その数が膨大となっており、その一つ一つについて専門家が適正範囲を設定することが事実上不可能になりつつある。

(2) 適正な範囲設定の難しさ

センサ値のとりうる値は、そのセンサが付加された設備の稼動状況(プラントの運転状態)に大きく依存する。設備の稼動、非稼動に関わり無くセンサ値の適正範囲を求めると、その変動範囲は広いものになってしまい、実際には異常であるケースを検出できなくなる可能性がある。逆に、適正変動範囲を狭くしすぎるとエラーが頻繁に検出され、監視者に多大な負荷を与えてしまう。

以上のような背景をもとに、我々はセンサ値の適正範囲を自動的に決定するプラント異常発見システムの開発を目指している。本稿では、システムの開発の方針について述べ、続いて、そのために行った予備評価の結果について記述する。

2. システム開発の基本方針

手法の構築にあたっては、データドリブンなアプローチをとる。具体的にはプラントの系統や

設備の物理的な特性は考慮せず、過去に収集されたデータから適正な範囲を設定する。これは、システムの接続や物理的要因を考慮すると、少なからず人間の判断が必要となり自動化という目標から遠ざかるためである。

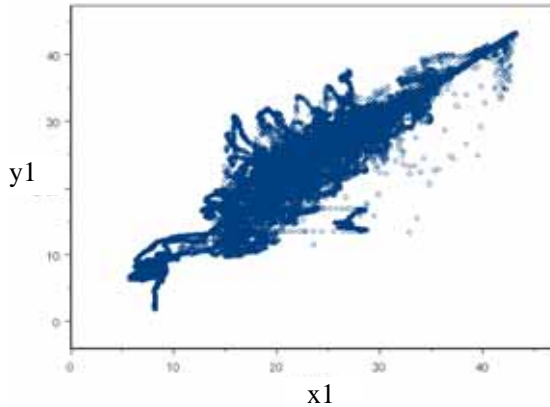
先に述べたように、適正範囲の設定にあたってはプラントにダイナミックな運転状態変化が連続的に存在することが問題となる。一般に運転状態(以降、内部状態と呼ぶ)毎にセンサ値の適正範囲は異なるので、如何に異なる内部状態を分離するかがシステム開発のポイントとなる。ここでは、内部状態を分離するにあたって対象となるセンサに加えて他のセンサの値を利用することにする。同時に、適正範囲も他のセンサの値から決定する。

他のセンサの利用にあたっては、どのセンサを選べば良いかという問題が発生する。以下では、相関の高いセンサ[1]、および、生産量を示すセンサを用いた場合に関して評価を行っている。

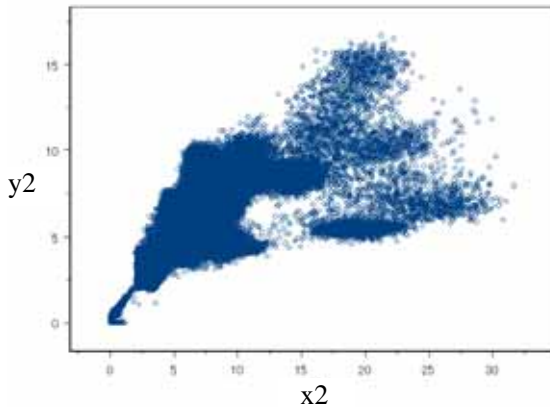
3. 相関の高いセンサを利用した異常値発見

まず、相関の高いセンサを用いて適正範囲の設定および状態分類の把握が可能かを調べる。図1(a)(b)はそれぞれ、対象センサ(y_1, y_2)とそのセンサと相関の高いセンサ(x_1, x_2)の組(x_1, y_1), (x_2, y_2)で描いた散布図を示している。利用したセンサデータは時系列データで約40万時刻分の点があり、センサ数は2521ある。 x_1, x_2 は、2521系列の中から y_1, y_2 と最も相関の高い系列を選んでいる。 y_1 と x_1 の相関係数および y_2 と x_2 の相関係数はそれぞれ0.97と0.86である。図1(a)の結果を見ると、 y_1 と x_1 はほぼ比例関係にあることがわかる。したがって、 y_1 を x_1 で回帰したモデルを生成し、モデルからの乖離度を点の異常度とすれば、単純に y_1 の変動範囲を適正範囲としたモデルより精度の高いモデルが得られることがわかる。

図1(b)に関しても傾向は基本的に同様であるが、 x_2 が大きくなるにしたがって y_2 の変動範囲が広がっている様子が観測できる。以下では、さらにモデルの精度を上げるために他のセンサを軸として追加することを考える。



(a) 対象センサ y_1 と説明センサ x_1 の関



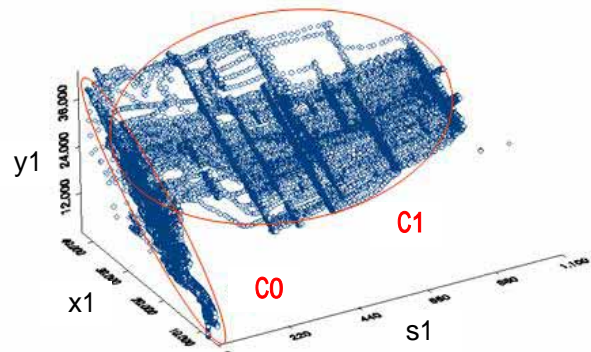
(b) 対象センサ y_2 と説明センサ x_2 の関係

図 1. 相関の高いセンサを用いた適正範囲予測

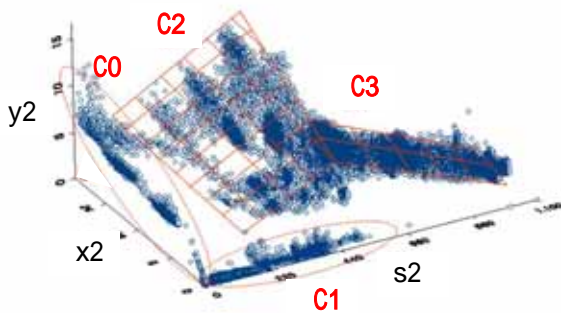
4. 生産量センサの追加

プラントの内部状態に大きな影響を与える要因として生産量に関するパラメータが考えられる。生産量とは、例えば工場ならば製品の生産量のことである。一般に、生産量が高ければ内部の装置の稼働状況は高いと考えられ、生産量が低い場合は複数の装置のうちの一部が休止しているとも考えられる。ここでは、生産量センサを図 1 のグラフに新たな軸として追加することにより、対象センサの変動範囲を絞ることが可能かどうかを調べる。

図 1(a)(b) のグラフに生産量 s_1 および s_2 の軸を追加したグラフを図 2 (a)(b) に示す。図 2(a) では $s_1=0$ かどうかで y_1 の振る舞いが異なることがわかる。 $s_1=0$ をクラスタ 0 (C0), $s_1>0$ をクラスタ 1 (C1) とすると C0 は図 1(a) のような振る舞いをするが、C1 では、 x_1 と y_1 の相関が極めて強くなり、 x_1 を特定の値に固定した際の y_1 の変動範囲も狭まることがわかる。すなわち、C0 と C1 は別の内部状態をとっていると見なしてよく、状態毎に異常値検出モデルを生成することで精度高い異常値予測が可能となることがわ



(a) x_1, y_1 グラフに対する s_1 軸の追加



(b) x_2, y_2 グラフに対する s_2 軸の追加

図 2 生産量軸の追加

かる。図 2(b) でも同様に点を 4 つのクラスタ分けることが可能である。変数 x_2 と y_2 は、ある装置の軸受けの振動値を表しているが、生産値 s_2 が大きい部分では (C3) 両者の相関が高く変動範囲も小さいことがわかる。生産値が低い部分 (C1, C2) では二つの状態があり、C1 は装置が止まって振動 x_2, y_2 がほぼゼロ、C2 は装置が動いていて s_2, x_2, y_2 は C2 平面上を動くことがわかる。また、生産値が 0 でも装置が動いている場合があり、その場合の x_2, y_2 は $s_2=0$ 上の C0 曲線上を動くことがわかる。

5. まとめと今後の課題

以上の結果より、相関の高いセンサを用いれば対象センサの異常値検出がある程度行え、これに生産量の軸を加えると内部状態をある程度把握できることがわかった。今後は、手作業で行ったセンサの選択およびクラスタリングを自動化し、処理全体の自動化を進めていく。

参考文献

[1] 森田, 他, " データマイニングを用いたプラント異常発見 ", 第 67 回情処全大, 2005.