

VI-1 免疫型システムによる送配水ネットワークの故障診断

香川大学工学部 正会員 ○ 井面 仁志
 香川大学工学部 正会員 白木 渡
 香川大学工学部 今井 慈郎
 ドコモエンジニアリング四国（株） 神余 宏之

1. はじめに

ガス、上下水道、送電等の産業システムの保全面の信頼性を高めるために、予め故障の兆候や、故障部位を的確に検出し、故障の発生や、発生時の波及を防止する必要がある。このように、システムを保全する方法として、様々な手法が取り入れられている。

本研究では、保全システムとして、免疫ネットワークの手法である完全分散診断アルゴリズムを用い¹⁾、上水道の送配水システムを想定した管網系を対象としてセンサ診断及びプロセス診断を行い、実際の上水道の送配水システムへの適応を検討する。

2. 自律分散診断アルゴリズム

自律分散診断とは、各々のユニット自身に単純な処理機能をもたせ、互いに他のユニットを同時に評価させ、中央処理を一切行わない診断手法である。ユニット i からユニット j を診断する際、正常か異常かを判定するセンサ i の信用度 R_i は式(1)、プロセス信用度 R_{T_k} は式(2)により計算できる。

$$\frac{dr_i(t)}{dt} = \sum_{k, j \in S_k} \{T_k^+ R_{T_k}(t) \prod_{j \in S_k} R_j(t)\} - r_i(t) \quad (1)$$

$$\frac{dr_{T_k}(t)}{dt} = \frac{1}{2} (T_k^+ - 1) \prod_{j \in S_k} R_j(t) - r_{T_k}(t) \quad (2)$$

ただし式(1)、(2)において $R_i(t) = 1/(1 + \exp(-r_i(t)))$, $R_{T_k}(t) = 2/(1 + \exp(-r_{T_k}(t)))$. 式(1)の右辺はセンサ i の信用度の変化率を決定しており、センサ i が含まれている制約に含まれる i 以外のすべてのセンサの信用度をかけあわせているのが Π の項である。式(2)は制約関係 T_k に関係するすべてのセンサの信用度をかけあわせたもので、制約関係 T_k に関係するセンサの信用度が高いほど、センサではなくその制約を疑うという考えである。また T_k^+ はプロセス制約条件における許容誤差の範囲内の場合(制約条件正常) $T_k=1$, 範囲外の場合(制約条件異常) $T_k=-1$ とし、 $T_k^+ \equiv n_k (T_k - 1) + \lambda_k$ で求められる。

なお n_k はそれぞれの制約条件内のセンサの数、 λ_k は $0 \leq \lambda_k \leq n_k$ の任意の値である。

3. 管網系センサネットシミュレーション

センサネット診断の対象としたモデルを図1に示す。

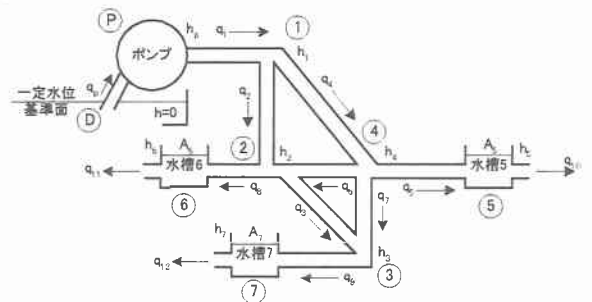


図1 ポンプと水槽を含む管網系モデル

この管網系モデルには1台のポンプと3個の水槽により構成され、ポンプの給水槽水位は一定とし、これを基準面($h=0$)とする。ポンプの排出口の全水頭を h_p , 各水槽の水位は h_5, h_6, h_7 である。また、各水槽からの取り出し流量を $q_p, \dots, q_{12}$ とし、これらは時間とともに変動するものとする。

図1の各節点(丸印)において流量連続条件を制約条件 T_k として式(3)を設定し、図2に示すプロセス異常を含んだセンサネットを構築する。式(3)の $\dot{h}$ [m/s] は、水位 h の時間についての変化率 dh/dt [m/s] である。

$$\left. \begin{array}{ll} \text{節点 P } T_p: -q_p + q_1 = 0 & \text{節点 1 } T_1: -q_1 + q_2 + q_4 = 0 \\ \text{節点 2 } T_2: -q_2 + q_3 - q_6 + q_8 = 0 & \text{節点 3 } T_3: -q_3 - q_7 + q_9 = 0 \\ \text{節点 4 } T_4: -q_4 + q_5 + q_6 + q_7 = 0 & \text{節点 5 } T_5: A_5 \dot{h}_5 - q_5 + q_{10} = 0 \\ \text{節点 6 } T_6: A_6 \dot{h}_6 - q_6 + q_{11} = 0 & \text{節点 7 } T_7: A_7 \dot{h}_7 - q_7 + q_{12} = 0 \\ \text{節点 D } T_D: q_p - A_5 \dot{h}_5 - A_6 \dot{h}_6 - A_7 \dot{h}_7 - q_{10} - q_{11} - q_{12} = 0 \end{array} \right\} (3)$$

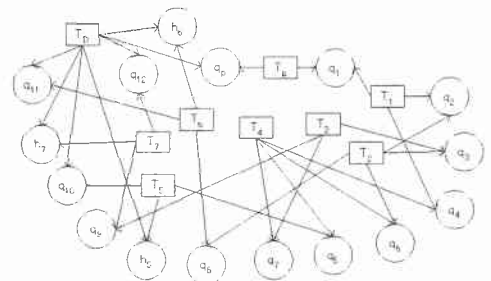


図2 図1の管網系の制約を含んだセンサネット

(1) センサの故障診断例 (制約 T_2 , T_6 が不成立)

図2のセンサネットにおいて、制約 T_2 , T_6 に含まれる流量 q_8 が許容誤差の範囲外である場合のセンサとプロセス信用度のシミュレーション結果を図3、図4に示す。

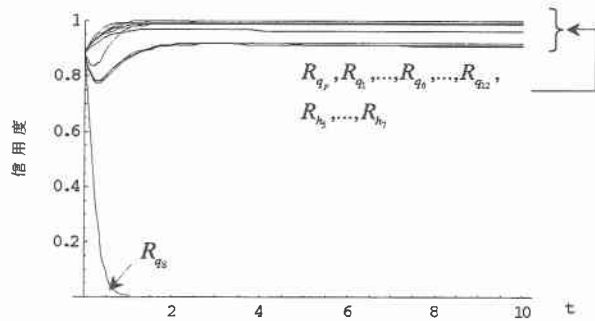


図3 センサの信用度の変化

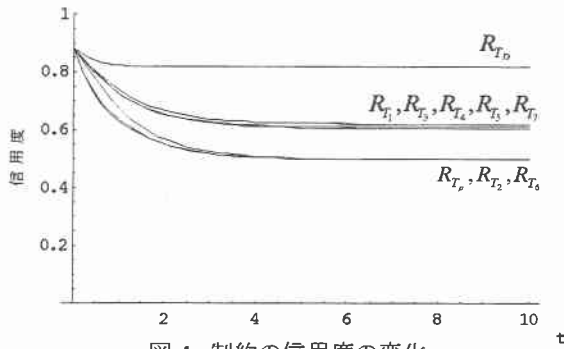


図4 制約の信用度の変化

図3より、流量 q_8 のセンサの信用度 R_{q_8} がほぼ0に収束しており、他のセンサ信用度はほぼ1に近い値に収束している。また図4より、制約の信用度は q_8 に関わる制約信用度 R_{T_2} , R_{T_6} が他の制約信用度より低くなっている。しかし、これらの値よりセンサ信用度 R_{q_8} が明らかに低いのでプロセス異常より流量 q_8 を測定するセンサの故障が発生していると考えられる。

(2) プロセス異常診断例 (制約 T_6 が不成立)

図2のセンサネットにおいて、制約 T_6 のみに関係する流量 q_8 が許容誤差の範囲外である場合のセンサとプロセス信用度のシミュレーション結果を図5、図6に示す。

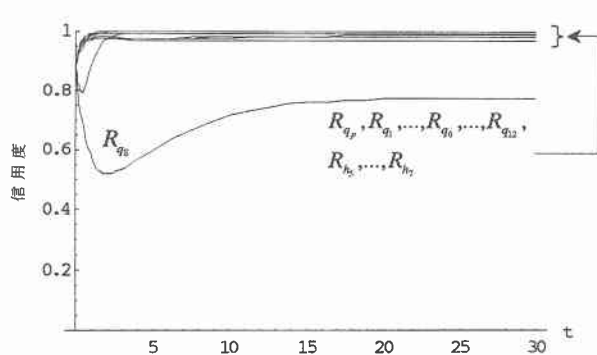


図5 センサの信用度の変化

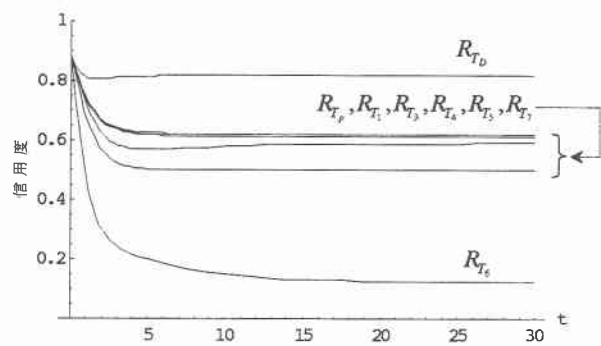


図6 制約の信用度の変化

図5より、 R_{q_8} は約0.75に収束しており、それ以外のセンサの信用度とくらべ低い値となっているが、どのセンサの信用度も0.5以上なのでセンサの故障とはいえない。また図6より、制約の信用度は R_{T_6} が0.2以下となっており、それ以外の信用度は0.5以上となっている。これらのことにより、センサの故障は発生しておらず、 R_{T_6} が低いことから制約 T_6 に関わる節点2と6間または節点6とD間において水漏れなどのプロセス異常が発生していると考えられる。

4. おわりに

本研究では、免疫型システムによる自律分散診断アルゴリズムを用い、上水道の送配水システムを対象としたセンサ診断の有効性を検証した。このシステムにより、センサ異常、プロセス異常発生時の故障部位特定が可能となることを示した。今後の課題として、制約条件異常を判定するための許容誤差の閾値設定、センサおよびプロセスの異常を判定する信用度の閾値設定に関する検討が必要である。

また、免疫型システムを用いた故障診断はシステムへ新たなコンポーネントを追加する場合、ニューラルネットを用いた場合のような学習過程を経ずに追加可能である。このように、免疫型システムは一般性を有しているので、送配水システム以外の電力やガスなどライフラインネットワークへの適用の検討も考えられる。

参考文献

1) Ishida, Y., "An Immune Network Approach to Sensor-Based Diagnosis by Self-Organization", Complex Systems. 10, 1, pp.73-90. 1996.