

香川大学工学部 ○ 井面 仁志
 香川大学工学部 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

様々な技術の進歩に伴いシステムは、分散化、複雑化、規模の拡大化の傾向が顕著になっている。反面経済状況の変化により、軽量化、低価格化、長期間にわたる高信頼性の要求が高まってきている。このような社会情勢の中、信頼性を向上させる技術も、従来の確率論的手法にもとづく技術に変わる新しい手法の確立が重要な課題となっている。一方、情報処理技術の分野においては、遺伝的アルゴリズム、ニューラルネットワークをはじめ種々の人工生命技術に関する手法が登場してきた。

本研究では、保全システムとして、免疫システム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²⁾。

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

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

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、 Π の項は、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信用度をかけあわせている。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、 $T_k^+ = n_k(T_k - 1) + \lambda_k$ 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ワークシミュレーション

センサネットワーク診断の対象としたモデル³⁾をFig.1に示す。

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($h=0$)

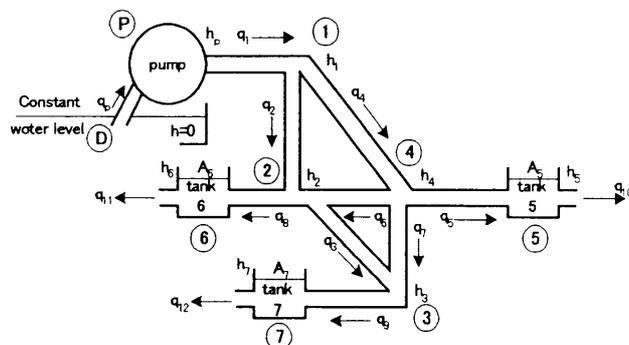


Fig.1 The water supply network model.

とする。ポンプの排出口の全水頭を h_p 、各水槽の水位は $h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7$ である。また、各水槽からの取り出し流量を q_2, \dots, q_{12} とし、これらは時間とともに変動するものとする。

Fig.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、Fig.2に示すプロセス異常を含んだセンサネットワークを構築する。式(3)の 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。

$$\left. \begin{aligned} \text{節点 P } T_P : & -q_p + q_1 = 0 & \text{節点 1 } T_1 : & -q_1 + q_2 + q_4 = 0 \\ \text{節点 2 } T_2 : & -q_2 + q_3 - q_6 + q_8 = 0 & \text{節点 3 } T_3 : & -q_3 + q_7 + q_9 = 0 \\ \text{節点 4 } T_4 : & -q_4 + q_5 + q_6 + q_7 = 0 & \text{節点 5 } T_5 : & A_5 h_5 - q_5 + q_{10} = 0 \\ \text{節点 6 } T_6 : & A_6 h_6 - q_6 + q_{11} = 0 & \text{節点 7 } T_7 : & A_7 h_7 - q_7 + q_{12} = 0 \\ \text{節点 D } T_D : & q_p - A_5 h_5 - A_6 h_6 - A_7 h_7 - q_{10} - q_{11} - q_{12} = 0 \end{aligned} \right\} (3)$$

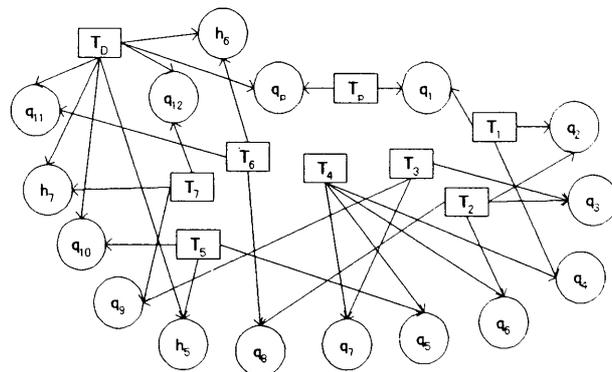


Fig.2 Water supply model of sensor network

(1) センサの故障診断例(制約 T_2, T_6 が不成立)

Fig.2のセンサネットワークにおいて、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Fig.3, Fig.4に示す。

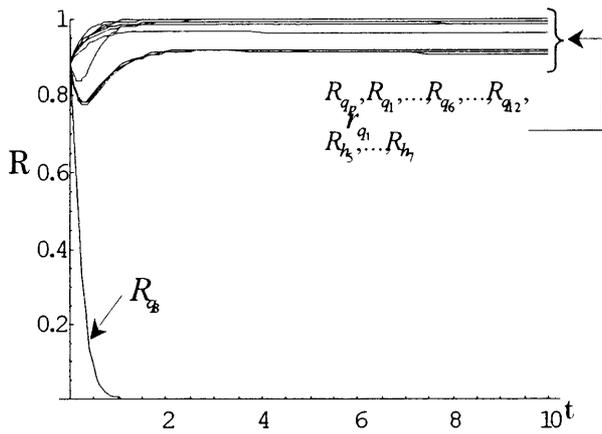


Fig. 3 Simulation results of reliability for evaluating sensors

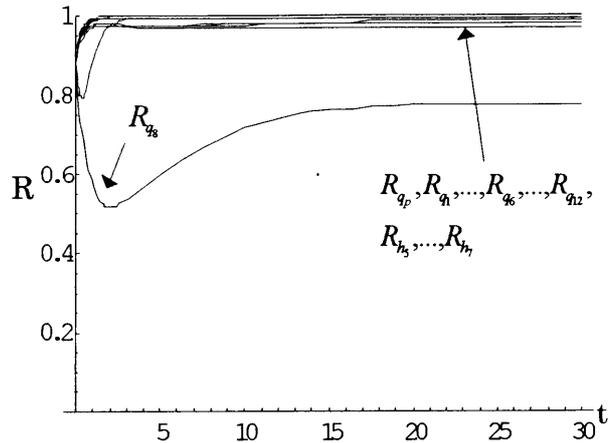


Fig. 5 Simulation results of reliability for evaluating sensors

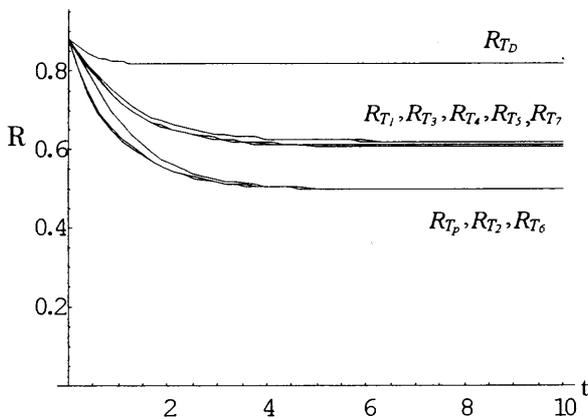


Fig. 4 Simulation results of reliability for evaluating constrains

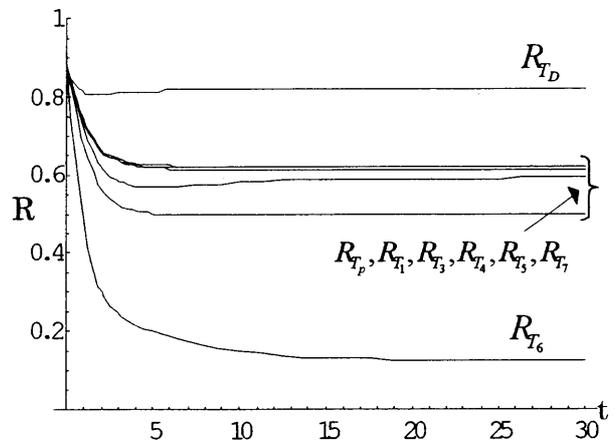


Fig. 6 Simulation results of reliability for evaluating constrains

Fig. 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 Fig. 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)

Fig. 2 のセンサネットワークにおいて、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 Fig. 5, Fig. 6 に示す。

Fig. 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、Fig. 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 の間または節点 6 と D の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、ニューラルネットワーク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ため、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.
- 2) 石田 好輝他, "免疫型並列分散モデルによるプラントのセンサ自律診断", システム制御情報学会論文誌, Vol. 7, No. 1, pp.1~8, 1994 年.
- 3) 鬼塚 宏太郎, "送配水システム解析入門", 技法堂出版, 1998 年.