

障害診断のためのシステム状態の推定方法

1M-6

橋本 和夫 松本 一則

KDD 研究所

1. はじめに

伝送路の障害診断では、装置の接続関係をもとに、障害発生後一定時間内のアラーム発生の相関関係を求め、これを制約条件として障害仮説を検証する手法が一般的である。しかしアラームの伝播や通知の遅延のため、原因となる障害によって生じたアラームと、障害の結果生じたアラームの発生順序は必ずしも保存されない。このため従来手法では、適切なアラーム観測時間を試行錯誤で求めなければならない。そこで、本論文では、適切なアラーム観測時間の基準を理論的に検討するため、伝送路における一般的なアラーム伝播モデルの定式化を行う。

2. 伝送路における障害診断と従来技術の問題点

伝送路は、多重化装置や終端装置のタンデム接続により構成されており、伝送路システムの監視に関してはITU 勧告 G シリーズ [1] が、伝送路を構成する各装置からのアラームの発生方法を規定している。しかし、伝送路の一箇所で通信が途絶えると、通信途絶を検出した装置からもアラームが通知されるため、障害原因によって生じたアラームと、障害の影響によって生じたアラームとが混在して監視装置に通知される。

このため、伝送路の障害診断では、

- (1) アラームの伝播や通知の遅延のため、原因となる障害によって生じたアラームと、障害の結果生じたアラームの発生順序が必ずしも保存されない、
- (2) 観測されたアラームを引き起こす障害仮説は複数存在するため、アラームの有無だけからでは、単一障害の波及か複数障害の同時発生なのかを判定できない場合がある、

などの状況を考慮して診断を行わなければならない。

障害仮説の絞り込み手法としては、装置の接続関係をもとに、障害発生後一定時間内のアラーム発生の相関関係を求め、これを制約条件として障害仮説を検証する手法が一般的[2],[3]である。このような手法では、アラームの観測時間を長く取るほど仮説のしぼり込みがより正確になるものの、どれくらい待ってから判断すべきかについての基準が得られないという欠点がある。

"A Model-based State Estimation Method for Fault Diagnosis, Kazuo Hashimoto, Kazunori Matsumoto: Kokusai Denshin Denwa Co. Ltd.

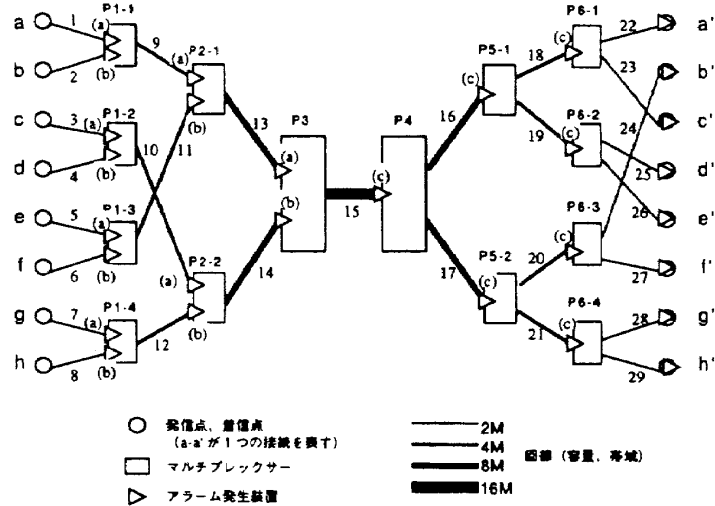


図 1: 伝送路のトポロジー

このため、正確さを失うことなくアラームの観測時間を最小とする、診断方式の開発が求められている。

3. 伝送路におけるアラーム伝播モデル

故障木は、システムの状態変数をノードに対応させ、それらの間に存在する因果関係をリンク(有向グラフ)で表現した知識表現の一つで、化学プラント等での異常診断[4]に適用され有効性が認められている。ここでは、伝送路を構成する装置間の接続関係に従って故障木を構成し、これにアラーム観測までの遅延時間を付随させてアラーム伝播モデルを定義する。

3.1 伝送路モデル

図 1 に示す伝送路のトポロジーを仮定する。{a, b, c, d, e, f, g, h} が送信側、{a', b', c', d', e', f', g', h'} が受信側、送信側と受信側では {a-a', b-b', c-c', d-d', e-e', f-f', g-g', h-h'} のように接続されている。{P1-1, P1-2, P1-3, P1-4, P2-1, P2-2, P3} はマルチプレクサであり、{P4, P5-1, P5-2, P6-1, P6-2, P6-3, P6-4} はこれに対抗するデマルチプレクサである。各装置を結ぶリンクは、1~29 の番号で識別する。

またアラームは、受信側装置が発生するものとする。

3.2 検出遅延と伝播遅延

各装置における障害発生からアラーム観測までの遅延時間として、アラーム発生検出遅延(監視装置が異常状態を検出するまでの検出遅延) アラーム伝播遅延(障害の影響が他の装置に及ぶまでの伝播遅延) の二つの遅延時間を定義し、故障木に対して「アラーム発生検出遅延

延」を各ノードに、「アラーム伝播遅延」を各リンクに付与することにより、障害の影響の時間的波及を記述する。図2に例を示す。

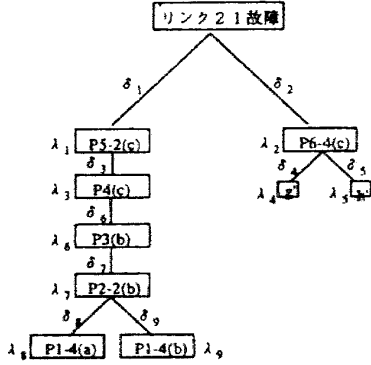


図2: リンク21が故障したときの故障木

3.3 アラーム観測確率の時間分布

時刻 t_0 で発生した障害によって引き起こされるアラームが、故障木のノード N_j で、時刻 t に観測するものとする。このときアラーム観測確率の時間分布を、 $P(t, N_j | L(j), \lambda_j, t_0)$ とする。 $L(j)$ は、障害発生箇所からノード N_i までの、故障木上での経路に付随するアラーム伝播遅延パラメータの並びである。例えば、リンク21に障害が発生した場合、観測確率の時間分布は、

$$P(t, N_1 | \delta_1, \lambda_1, t_0) = \Lambda_1 \otimes \Delta_1(t) \quad (1)$$

$$P(t, N_2 | \delta_2, \lambda_2, t_0) = \Lambda_2 \otimes \Delta_2(t) \quad (2)$$

$$P(t, N_3 | \delta_1, \delta_3, \lambda_3, t_0) = \Lambda_3 \otimes \Delta_3 \otimes \Delta_1(t) \quad (3)$$

$$P(t, N_4 | \delta_2, \delta_4, \lambda_4, t_0) = \Lambda_4 \otimes \Delta_4 \otimes \Delta_2(t) \quad (4)$$

$$P(t, N_5 | \delta_2, \delta_5, \lambda_5, t_0) = \Lambda_5 \otimes \Delta_5 \otimes \Delta_2(t) \quad (5)$$

$$P(t, N_6 | \delta_1, \delta_3, \delta_6, \lambda_6, t_0) = \Lambda_6 \otimes \Delta_6 \otimes \Delta_3 \otimes \Delta_1(t) \quad (6)$$

$$P(t, N_7 | \delta_1, \delta_3, \delta_6, \delta_7, \lambda_7, t_0) = \Lambda_7 \otimes \Delta_7 \otimes \Delta_6 \otimes \Delta_3 \otimes \Delta_1(t) \quad (7)$$

$$P(t, N_8 | \delta_1, \delta_3, \delta_6, \delta_7, \delta_8, \lambda_8, t_0) = \Lambda_8 \otimes \Delta_8 \otimes \Delta_7 \otimes \Delta_6 \otimes \Delta_3 \otimes \Delta_1(t) \quad (8)$$

$$P(t, N_9 | \delta_1, \delta_3, \delta_6, \delta_7, \delta_9, \lambda_9, t_0) = \Lambda_9 \otimes \Delta_9 \otimes \Delta_7 \otimes \Delta_6 \otimes \Delta_3 \otimes \Delta_1(t) \quad (9)$$

となる。ただし、 $\Delta_i(t)$ は δ_i の分布関数、 $\Lambda_i(t)$ は λ_i の分布関数、 \otimes は畳み込みを表わす。また、 $N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8, N_9$ は、それぞれ、P5-2(c), P6-4(c), P4(c), g', h' , P3(b), P2-2(b), P1-4(a), P1-4(b) に対応する。

例えば簡単のため、それぞれの遅延パラメータを指数分布と仮定すれば、(1) のアラームの観測確率の時間

分布は、以下のように表すことができる。

$$P(t, N_1 | \delta_1, \lambda_1, t_0) = \int_{t_0}^t \Lambda_1(t-\tau) d\Delta_1(\tau) = 1 + \frac{\delta_1}{\lambda_1 - \delta_1} e^{-\lambda_1(t-t_0)} - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \delta_1} e^{-\delta_1(t-t_0)}$$

(where $\delta_1 \neq \lambda_1$)

$$1 - e^{-\gamma(t-t_0)} - \gamma(t-t_0)e^{-\gamma(t-t_0)}$$

(where $\gamma = \delta_1 = \lambda_1$)

ただし、

$$\frac{d\Delta_1(t)}{dt} = \delta_1 e^{-\delta_1 t}$$

$$\frac{d\Lambda_1(t)}{dt} = \lambda_1 e^{-\lambda_1 t}$$

3.4 モデルパラメータの推定方法

障害事例から、モデルパラメータ $\delta_1, \dots, \delta_9, \lambda_1, \dots, \lambda_9, t_0$ を推定するための評価関数を (10) と定め、これを最大化するモデルパラメータを求める。具体的には、各モデルパラメータによる偏微分がゼロになるという制約条件のもとで、パラメータセットを探索的に求めれば良い。

$$f(\delta_1, \dots, \delta_9, \lambda_1, \dots, \lambda_9, t_0) = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^9 \log(P(t, N_j | L(j), \lambda_j, t_{m0})) \quad (10)$$

4. まとめ

本稿では、伝送路におけるアラーム伝播モデルの定式化を行い、モデル推定手法の概要について述べた。3.4 によって推定したモデルパラメータを用いれば、最適な観測時間で障害診断を行うことができると予想されるため、今後は、モデル推定手法の評価を行うとともに、モデルに基づく障害診断方式の検討を行う予定である。

参考文献

- [1] ITU-T: Series G Recommendations "Transmission systems and media, digital systems and networks" Geneva.
- [2] Simona Brugnoli, et.al: "An Expert Sysytem for Real Time Fault Diagnosis of the Italian Telecommunications Network" Integrated Network Management, III(C-12), IFIP Transactions, pp 617-628, 1993
- [3] 横田英俊、飯作俊一、浅見徹: "ネットワーク管理におけるイベントコリレーションの高速化手法" 電子情報通信学会論文誌 BI Vol.J79-B-I No.10, pp 677-684, 1996
- [4] Ulerich, N.H., Powers, G.J.: "On-line Hazard Aversion and Fault Diagnosis in Chemical Processes: The Diagraph + Fault-Tree Method" IEEE Trans. on Reliab., R-37-2, p.171, 1988