

実時間網管理への定性的診断知識の適用手法

松本 一則 橋本 和夫 清水 徹
 小花 貞夫 浅見 徹

国際電信電話株式会社 研究所

〒 356 埼玉県上福岡市大原 2 丁目 1 番 15 号

あらまし 実時間で入手可能な情報に制約がある国際通信の分野では、網管理者は、静的な量と変動傾向に関する定性的知識を用いて、網の障害原因を推定している。このため、網管理者の定性的知識を知識ベース化するためには、網パラメータや回線数等の定量値から定性的表現に変換する手法が重要となる。本稿では、静的な量に関する定量値を定性的表現に変換する写像関数が事例に矛盾しないための制約条件を導出する問題を定式化し、最適な写像関数を得るためのエントロピーを用いた評価関数を提案した。また、変動傾向への変換に関しては、スペクトル分析の結果から高周波成分を取り除き、適当な平滑化処理を行った後に微分処理を行い、変動傾向を表わす定量値を得る手法を提案した。変動傾向を表わす定量値には、静的な量を表わす定量値を定性表現に変換するための写像関数を得た同一の手法が使えるので、実時間網管理で用いられる定性的な知識を定量的な知識に変換できる。

和文キーワード 実時間網管理、定性的知識、定量的知識

An application of Qualitative Diagnostic Knowledge to Real-Time Network Management

Kazunori MATSUMOTO Kazuo HASHIMOTO Tohru SHIMIZU
Sadao OBANA & Tohru ASAMI

KDD R & D Laboratories

2-1-15 Ohara Kamihukuoka-shi, Saitama 356, JAPAN

Abstract Network managers of international telecommunication network describe their diagnostic knowledge with two kinds of qualitative representation, i.e. static values and trend values. This manuscript formalizes the mapping function of static values from quantitative to qualitative, and proposes the method to generate the constraints of mapping function from examples and to optimize this function based on entropy minimization. Quantitative value representing a trend is generated from differentiating the time-series data after smoothing. Smoothing is decided by examining the spectrum of target time-series data. Quantitative value representing trend can be transformed to qualitative one by using the same method in the case of static values.

英文 key words Real-Time Network Management, Qualitative Knowledge, Quantitative Knowledge

1. はじめに

実時間網管理の重要な目的の一つは、網資源を効率良く用いてトラヒックをできるだけ円滑に疎通させることである。国際電話網の場合、各通信事業者は、自分が所有する交換機と回線群 (circuits group) については実時間で疎通状況の監視が可能であるが、他通信業者が所有する交換機、回線群および相手国内網の疎通状況の情報を実時間で入手することは難しい。このため、国際電話網の管理では、実時間で収集可能な情報だけから国際網の障害原因を推定する必要がある^{[1],[2]}。

網管理者は、疎通状況や回線群の回線数を定性的に把握し、「もし X の値が大きく、Y の値が急増しているならば、故障 A が考えられる」のように、定性的に表現した診断知識を障害原因の推定に用いている。

本稿では、網管理者の知識を知識ベース化し、国際電話網の実時間診断を可能にするのに重要となる、網パラメータや回線数等の定量値から、網管理者が用いる定性的表現へ変換する手法を提案する。

2. 障害原因を推定するための定性的知識

2.1 網パラメータ

国際電話網の管理のため、ITU-T(旧 CCITT: 国際電信電話諮問委員会) は、表 1 に示す網パラメータを対外通信事業者毎に実時間で観測し、障害原因の推定を行うことを推奨^[3]している。網管理者は、これらの網パラメータの定量値を定性的に把握し、利用している。

2.2 定性的知識

網管理者の定性的知識は、(1) 網パラメータや回線群の大きさ (回線数) の定性的表現と、(2) 障害原因、の組で記述される。

図 1 のような網構成を考えた場合の網管理者が持つ定性的知識の例を以下に示す。

障害 1(A の交換機の部分的障害)

BID	相手通信業者向けの呼を通す交換機 (ゲートウェイ交換機) が受け付けた接続要求の単位時間当たりの数
SZ	ゲートウェイ交換機が相手通信業者の交換機に接続できた単位時間当たりの回数
ANS	最終的に接続できた呼の単位時間当たりの数
ABR	$ABR=ANS/BID \times 100(\%)$ であり、疎通状況を表わす
BF	ゲートウェイ交換機が相手側交換機から受け取った話中信号 ¹ の単位時間当たりの数
BCH	1 時間あたりの接続要求数を回線数 ² で割ったもの
SCH	1 時間あたりの SZ を回線数 ² で割ったもの
BSR	$BSR=BF/SZ \times 100(\%)$ であり、話中信号を検出して接続できなかった呼の割合

- 1 回線交換の信号方式によっては複数種類の話中信号が定義される場合があるが、ここではそれら全てを同一の信号とみなす
- 2 他通信業者 A を介して間接的に接続している対外通信業者 B への回線数は、A への回線数を用いる

表 1: 実時間網管理に用いる網管理パラメータ

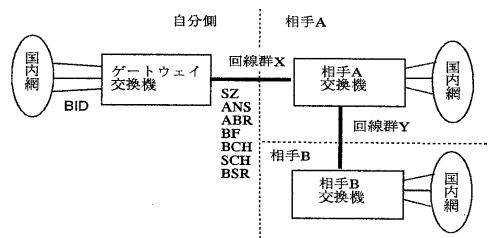


図 1: 障害原因推定用知識の網モデル

A が回線群 X の一部を閉塞するので、X の回線数が中程度で、A の BID の値が大きく一定していれば、A の SZ、ANS、ABR と SCH が急減する。

障害 2(A の交換機のふくそう)

A への不完了呼の増加による平均保留時間の短縮により、X の回線数が中程度で、A の BID の値が大きく一定していれば、A の ANS、ABR が急減し、A の BCH、SCH、BSR が徐々に増える。

障害 3(A の先方出回線のふくそう)

不完了呼の増加による平均保留時間の短縮により、X の回線数が中程度で、B に関する BID の値が大きく一定していれば、B に関する ANS、ABR が急減し、B に関する BCH、SCH が徐々に増え、B に関する BSR が急増する。

種類	基本表現
静的な量	非常に小さい やや小さい 中程度 やや大きい 非常に大きい
変動傾向	急減 微減 一定 微増 急増

表 2: 基本的な定性表現

2.3 定性的表現とその種類

2.2で述べた網管理者が持っている定性的知識に現われる定性的表現を分析すると、全ての知識は表2に示す基本的な表現形式で記述可能である。例えば、「 R^n が小さい」という表現は、「 R が大きい」または「 R が非常に大きい」といった基本的な表現の組み合わせで表わされる。また、定性的表現の種類としては、(1) 静的な量を表わす定性的表現と、(2) 変動傾向を表わす定性的表現の2つに分けることができる。

上記に示した網管理者が持つ定性的知識を知識ベース化するためには、実際に得られる網パラメータや回線数の定量値から表2の基本表現に変換する手法が必要となる。以下、3章では静的な量を表わす定性値への変換手法を、4章では変動傾向を表わす定性値への変換手法を述べる。

3. 静的な量の定性的表現への変換

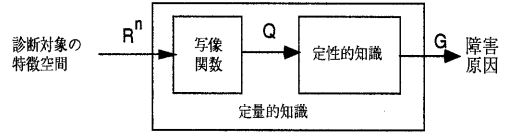
ここでは、静的な量を表わす定量値を静的な量を表わす定性的表現へ変換する手法について述べる。

3.1 定量値の定性値への変換

静的な量に関する定性的知識を直接利用して診断を行なうためのシステムでは、図2に示すように、診断対象からの定量値を定性値に変換する写像関数と、与えられた定性値から障害原因を出力する定性的知識とを直列に組み合わせて定量的知識を構成する。

図2の構成の下で、診断事例に基づいて定量的知識を最適化する方式としては、以下の方式が考えられる。

- (1) 写像関数を固定し、定性的知識を最適化する
- (2) 定性的知識を固定し、写像関数を最適化する



R^n : 実数 (定量値) Q : 記号もしくは記号列 (定性値) G : 記号

図 2: 定性的知識を利用する診断システムの構成

(1) は、一旦適切な写像関数を求めた後はその修正の必要がない場合に適した方式であり、定性シミュレーションの結果と現実が合致するように定性モデルを修正する手法⁴⁾等が提案されている。

一方、(2) は、実時間網管理での障害原因の推定のように既に信頼性の高い定性的知識が存在する場合に適した方式である。定量値を定性的知識が必要とする粒度の定性値へ変換する写像関数を最適化するための具体的手法に関しては、これまでほとんど検討されておらず、応用例についても報告されていない。本稿では、十分には検討されていなかったが、実時間網管理の分野への適合性の良さから、(2) の立場で写像関数の最適化に取り組む。

(2) の写像関数の最適化は、写像関数が診断事例に矛盾しないための制約条件を導出する問題(3.3節)と、導出した制約条件下での写像関数の最適設計問題(3.4節)の2つの問題に帰着する。

3.2 特徴空間の分割方法

写像関数の最適化のためには、まず、写像関数の入力となる診断対象の定義域(特徴空間)の分割方法を決定する必要がある。特徴空間の分割の方法を文献⁵⁾では以下のように分類している。

分割法 1(境界標による分割) 特徴空間を座標軸のある点(境界標と呼ぶ)を通る座標軸に垂直な超平面で分割する。

分割法 2(超平面による分割) 特徴空間を任意の超平面によって分割する。

分割法 3(非線形な制約による分割) 非線形の制約によって特徴空間を分割する。

分割法1、分割法2、分割法3の順に特徴空間の分割能力は高くなるが、適切な分割を得るために調整しなければいけないパラメータの数も順に増え、調整に必要な事例の数も増える。

国際電話網での障害原因推定を考えた場合、障害の発生頻度は低く、事例の数は約千件程度と考えられる。本稿では、少ない事例から写像関数を最適化する場合に適しているという観点から、分割法1(境界標による分割)に基づく写像関数を対象とすることとする。

3.3 写像関数の制約条件の導出

ここでは、診断事例から写像関数が満たすべき制約条件を導出する問題を定式化する。以下では、モデルを定義し、この問題を解くプログラムの入力、変数間の制約、出力内容を示す。

3.3.1 モデル

事例は定量的な n 個の属性(例えば、回線数等)で表現する。事例の総数は m とし、個々の事例を、 C_1, C_2, \dots, C_m で表わす。事例 C_j の i 番目の定量的な属性の値を v_i^j ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$) で表わす。

診断の結果得られる故障原因の集合を G で表わし、事例 C_j が診断されるべきクラス(障害の種類)の名前を g_j ($g_j \in G$) で表わす。事例 C_j に対して、クラス名 g_j は一意に定まるとする。

i 番目の定量的属性がとり得る値域を l_i 個(先の定性的知識のように5つの定性的表現を用いる場合は、 $l_i = 4$ となる)の境界標 $\theta_1^i, \theta_2^i, \dots, \theta_{l_i}^i$ で分割する。この時、 $\theta_{s-1}^i < \theta_s^i$ ($1 \leq s \leq l_i+1$) であるものとし、分割でできた領域を $q_1^i, q_2^i, \dots, q_{l_i+1}^i$ ($\theta_{s-1}^i \leq x < \theta_s^i$ ならば、 x は q_s^i に属する) で表わす。表記の利便上、 $\theta_0^i = -\infty, \theta_{l_i+1}^i = +\infty$ ($1 \leq i \leq n$) とする。これらの領域を表わす記号を、「 i 番目の属性に対する定性的カテゴリ」と呼び、 i 番目の属性に対する定性的カテゴリの集合を Q_i とする。

定性的知識は、 $Q_1 \times Q_2 \times \dots \times Q_n$ から G への写像関数であり、定性的知識によってクラス g ($g \in G$) に分類される $Q_1 \times Q_2 \times \dots \times Q_n$ 上の点の集合を $\mathcal{Q}(g)$ で表わす。また、 $Q_1 \times Q_2 \times \dots \times Q_n$ 上の点 ϕ の i 番目の属性に対する定性的カテゴリが、 $q_{cat_i(\phi)}^i$ で表現できるような関数 cat_i を定義する。

3.3.2 制約条件の導出プログラム

写像関数の制約条件導出問題を解くプログラムは、以下に示す入力、変数間の制約、および出力を持つ。

入力(事例と診断結果)

全ての i, j ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$) に対し、 v_i^j, g_j を入力する。これは全事例に対する全属性の値 v_i^j とその事例の正しい診断結果のクラス g_j を与えることに相当する。

変数間の制約(事例と診断結果と境界標が満たすべき関係)

全ての i, j ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$) に対し、ある $\phi \in \mathcal{Q}(g_j)$ が存在し、 $\theta_{cat_i(\phi)-1}^i \leq v_i^j < \theta_{cat_i(\phi)}^i$ が成り立つ。これは、定性的知識への入力候補となる記号列 ϕ がうまく定量化されるための条件である。

出力(写像関数の制約条件)

写像関数の制約条件を、境界標

$\theta_1^1, \dots, \theta_{l_1}^1, \theta_1^2, \dots, \theta_{l_2}^2, \dots, \theta_1^n, \dots, \theta_{l_n}^n$ に関する $\sum_{i=1}^n l_i$ 元連立一次不等式として出力する。

3.4 エントロピーを用いた評価関数

前節 3.3 で得られる写像関数の制約条件だけでは一意に写像関数を決定することができない。そこで、定量的な属性を定性的化する際に失う情報量(エントロピー)が最小になる写像関数が最適であると定義し、「各属性が独立で属性間に相関がない」という仮定の下で、エントロピーを用いた評価関数を提案する。

i 番目の属性の s 番目の領域 q_s^i において、診断結果のクラスが g となる領域 q_s^i 内の事例数を $r(q_s^i, g)$ とし、 q_s^i 中の事例の診断結果が g となる確率 $P(q_s^i, g)$ 、および q_s^i のエントロピー $H(q_s^i)$ を、それぞれ式 (1)、(2) により定義する。

$$P(q_s^i, g) = \frac{r(q_s^i, g)}{\sum_{g' \in G} r(q_s^i, g')} \quad (1)$$

$$H(q_s^i) = - \sum_{g \in G} P(q_s^i, g) \log P(q_s^i, g) \quad (2)$$

式(2)を用いて、写像関数の評価関数 H を式(3)で定める。

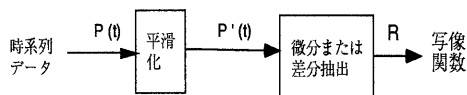
$$H = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^{l_i} H(q_s^i) \quad (3)$$

式(3)で定義した H を用いることで、定性化で失う情報量を最小にする特徴空間の分割を各属性毎に独立に見つけることができる。

4. 変動傾向の定性的表現への変換

3.では、静的な量を表わす定量値を静的な量を表わす定性的表現へ変換する手法について述べた。ここでは、変動傾向を表わす定量値を変動傾向を表わす定性的表現へ変換する手法について述べる。

人間が変動に関するデータを定性的に扱う場合、データの局所的な変動よりも大局的な変動に注目することが多い。そこで、図3に示すよう、元の時系列のデータを平滑化した後、平滑化した曲線の傾きを変動傾向を表わす定量値として得て、3章の方法で定量値を定性的表現に変換する手法を提案する。



$P(t)$: 時系列データ $P'(t)$: 平滑化後の時系列データ R : 変動傾向を表わす定量値

図3: 時系列から変動傾向を表わす定量値への変換

4.1 平滑化

平滑化では、局所的変動をどの程度の無視するかが問題となる。量的な判断常識をシステム化する分野では、パワースペクトルを適当なクラスタリングによって低周波(大局的変動を表わす)、中間周波成分、高周波(局所的変動を表わす)に分類した後、低周波でデータを近似する方法⁶⁾がある。そこで、1週間分の BID と ANS を周波数分析した結果、図4、5に見られるよう、網パラメータは圧倒的に低周波成分が多かった。実時間網管理への応用を考えた場合、除去される高周波のパワーの量が少ない平滑化が適切であり、高周波成分をどのぐらい抑えるかが鍵となる。ここでは、

全体の1%分のパワーを持つ高周波を除去する際のしきい値となる周波数を求めた。しきい値となる周波数も、図4、5にあわせて示す。また、BID と ANS の1日の変動を、先のしきい値をウィンドウサイズとする移動平均で平滑化した結果を図6、7に示す。これらの図から判断して、網パラメータを平滑化としては、1%程度のパワーを除去するローパス・フィルターのカットオフ周波数に相当する時間間隔をウィンドウサイズとする移動平均で元の時系列データを平滑化するのが適当と考えられる。

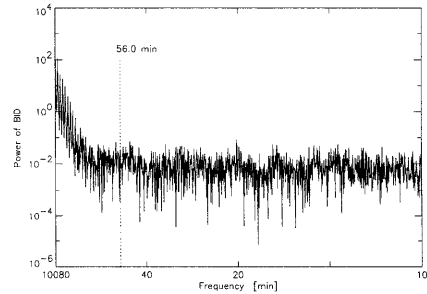


図4: BID のパワースペクトル

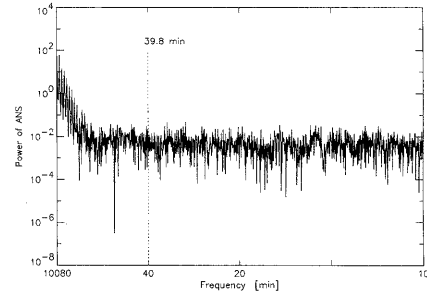


図5: ANS のパワースペクトル

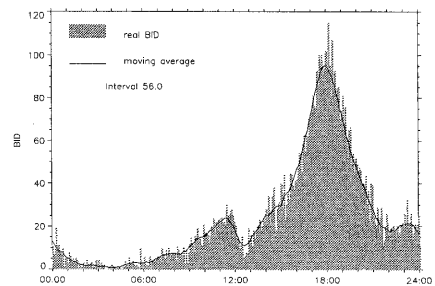


図6: 元の時系列と平滑化後の時系列(BID)

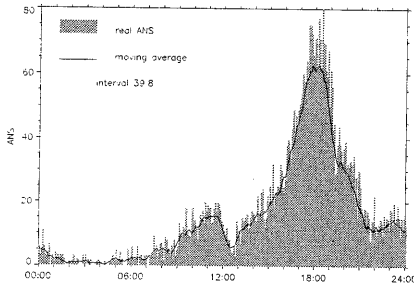


図 7: 元の時系列と平滑化後の時系列 (ANS)

4.2 微分または差分抽出処理

4.1で述べた平滑化によって得た時系列の傾きがその時点の変動量であるので、対象時と前周期との差分が変動傾向を表わす定量値として適当と考えられる。ここで得られた定量値は、3.の手法で定性表現に変換される。

5. おわりに

本稿の内容をまとめると以下ようになる。

- 国際通信網の実時間網管理の分野で障害原因を推定する有用な定性的知識は、以下の定性的表現を用いて記述される。
 - 静的な量を表わす定性的表現
 - 変動傾向を表わす定性的表現
- 静的な量を表わす定量値から定性的表現を与えるための写像関数を最適化する方式について以下の結論を得た。
 - 特徴空間を境界標により分割するものと仮定した上で、写像関数の境界標に関する制約条件を導出する問題を定式化した。この仮定の下では、写像関数の境界標に関する制約条件は、 $\sum_{i=1}^n l_i$ 元連立一次不等式として得られる。
 - 上記で求めた制約を満たす写像関数は一意に決定できない。そこで、属性間に相関が無い場合を仮定し、定性化によって失われる情報量を最小にするためのエントロピーを用いる評価関数を提案した。

● 変動傾向を表わす対象の時系列データから変動傾向を表わす定量値を取り出すために以下の処理を行えば、静的な量を表示する定量値から定性的表現へ変換する手法と同様の処理が行える。

- (1) 事前のスペクトル分析で得た適当な高周波除去手法によって対象となる時系列データを平滑化する
- (2) 差分抽出によって得た定量値を変動傾向を表わすための定量値とする

本稿では、いくつかの仮定の下に議論を進めたが、今後は、国際電話網の障害原因を推定するエキスパートシステムの実装を通して、以下の点を明らかにする予定である。

- 特徴空間を座標軸に垂直な超平面で分割すること
- 網パラメータ間の相関性がある場合の式(3)の有効性
- 平滑化の際に取り除く高周波成分の量と写像関数に与える影響

最後に、日頃御指導頂くKDD研究所浦野義頼所長、眞家健次次長に感謝します。

参考文献

- [1] 松本一則, 山口典男, 橋本和夫, 浅見徹: デフォルト論理を用いる既存知識の再構築-国際通信網管理を例にとって-, 電子情報通信学会技術研究報告 AI91-72, pp.63-68 (1991)
- [2] 橋本和夫, 松本一則, 山口典男, 横田英俊, 浅見徹: 分散協調問題としての国際電話通信網管理-定式化-, 電子情報通信学会技術研究報告 AI92-103, pp.9-16 (1993)
- [3] CCITT: Telephone Network and ISDN -Operation, Numbering, Routing and Mobile Service-, ITU, Recommendations E.401-E.427, BLUE BOOK, Volume II, Fascicle II.3 (1989)
- [4] 石田好輝: 定性推論を利用したプロセス診断知識獲得-定性的シミュレーションによる診断ルールの生成-, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J72-D-II No.3. pp.416-426 (1989)
- [5] 西田豊明: 定性推論の基礎. 人工知能学会誌, Vol.4, No.5, pp.522-527 (1989).
- [6] 太田昌克, 島田茂夫, 飯田敏幸: 量的な判断常識を備えた人工知能-時系列情報の量的判断-, 情報処理学会第45回全国大会, 1H-12 (1992)