

5R-10

シミュレーテッドアニーリングを用いた
定量的知識から定性的知識への写像関数の最適化

松本 一則 橋本 和夫 清水 徹 小花 貞夫
国際電信電話株式会社研究所

1. はじめに

国際電話網の疎通悪化診断では、専門家の知識は「属性 X の値が大きく、属性 Y の値が普通ならば、悪化原因は A である」のように定性的に表現される。このような定性的知識を利用するエキスパートシステムの診断性能は定量的な観測値を定性値に変換する写像関数に依存するため、写像関数の最適化が重要となり、筆者らは最適化のための評価関数を提案している^[1]。本稿では、定性的知識が不完全であっても写像関数が適用できるように文献^[1]の評価関数をより一般化し、シミュレーテッドアニーリング^[2] (SA) を用いて写像関数を最適化した実験について述べる。

2. 従来の評価関数

定性的知識を用いた診断システムとして、図1に示す構成を前提に、定性的知識を固定し、写像関数を最適化する。写像関数は事前に設定した境界値との大小比較によって n 個の属性毎に独立に定性値に変換するとし、写像関数を境界値の組 $\vec{\theta}$ で定義する (図2 参照)。

$$\vec{\theta} = (\theta_1^1, \theta_2^1, \dots, \theta_{l_1-1}^1, \theta_1^2, \theta_2^2, \dots, \theta_{l_2-1}^2, \dots)$$

θ_j^i : i 番目の属性 v_i の j 番目の境界値

l_i : v_i に対する定性値の種類の数

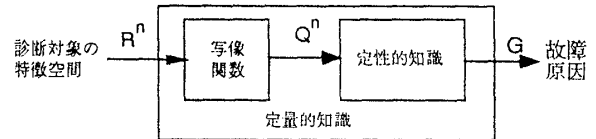
なお、 v_i の定義域は閉区間とする。

筆者らは、 m 組の事例 (観測結果と真の悪化原因の組) と定性的知識が与えられた時、悪化原因を正しく推定するための $\vec{\theta}$ の制約条件を定式化し、その制約条件が満たされる状況下で、悪化原因を定性値で表すための情報量 $H(\vec{\theta})$ を評価関数とした^[1]。ただし、定性的知識が不完全な場合、制約条件を満たす $\vec{\theta}$ が存在せず、同手法による最適化は難しい。

3. 不完全な定性的知識に対処するための新たな評価関数の提案

ここでは、不完全な定性的知識にも対処できるよう、以前の評価関数をより一般化した評価関数 $E(\vec{\theta})$ を提案する。

“Optimization of Mapping Function from Qualitatives to Quantitatives with Simulated Annealing”, Kazunori MATSUMOTO, Kazuo HASHIMOTO, Tohru SHIMIZU and Sadao OBANA: Kokusai Denshin Denwa Co. Ltd.



R^n : 実数 (定量値) の組 Q^n : 記号 (定性値) の組 G : 記号

図1: 定性的知識を利用する診断システムの構成

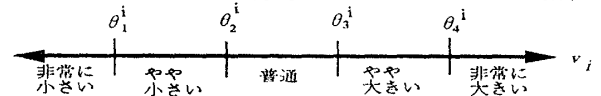


図2: $l_i = 5$ の時の属性 v_i に対する境界値

$$E(\vec{\theta}) = E_1(\vec{\theta}) + \alpha \cdot E_2(\vec{\theta})$$

$$E_1(\vec{\theta}) = m_{err}(\vec{\theta})/m$$

$$E_2(\vec{\theta}) = H(\vec{\theta}) / (m \cdot \log w \cdot \prod_{i=1}^n l_i)$$

α : E_1 と E_2 の重みを調整するための定数

$m_{err}(\vec{\theta})$: 誤って推定する事例の数

w : 悪化原因の種類の数

E_1 は悪化原因を誤って推定する割合であり、 E_2 は $0 \leq E_2 \leq 1$ となるよう $H(\vec{\theta})$ を正規化したものである。 $E_1 = 0$ の時、 $E(\vec{\theta})$ は $H(\vec{\theta})$ と同等の働きをする。

4. シミュレーテッドアニーリング (SA) の適用

評価関数を用いて、 $\vec{\theta}$ の最適な値を求める場合、 $\vec{\theta}$ の候補の数が問題となる。境界値が存在しうる箇所を、 v_i の定義域を s_i 個に等分割する点に限定した場合でも、 $\vec{\theta}$ の候補の数は、 $\prod_{i=1}^n s_{i+1} C_{l_i-1}$ であり、 $n = 5, \forall l_i = 5, \forall s_i = 32$ の時 $\vec{\theta}$ の候補数は約 2.8×10^{23} となる。このため、実用的な処理時間のアルゴリズムが必要である。そこで、種々の組み合わせ最適化問題に有効とされる SA を用いることとし、以下のように定式化・アルゴリズム化を行う。

解空間 $\vec{\theta}$ とする。

エネルギー関数 $E(\vec{\theta})$ とする。

近傍 $\vec{\theta}$ の近傍は、 $\vec{\theta}$ の内の 1 個の境界値 θ_j^i だけが値が異なり、その差が $(v_i$ の定義域の大きさ) / s_i である解空間上の点とする。

温度スケジューリング 一定回数の摂動回数毎に一定比率で温度を指数関数的に下げる。

[アルゴリズム]

初期化: 温度 T を初期温度 T_0 、 $\vec{\theta}$ を初期写像関数 $\vec{\theta}_0$ 、カウンタ t を 1 にする。

LOOP:

- (1) 温度が最終温度 T_f であれば終了。
- (2) n_{per} 回の摂動を行う。
 摂動の内容: $\vec{\theta}$ の近傍の中からランダムに 1 つの近傍 $\vec{\theta}'$ を選び出す。 $E(\vec{\theta}) > E(\vec{\theta}')$ ならば、 $\vec{\theta} = \vec{\theta}'$ とし、そうでないならば、 $\exp(-\frac{E(\vec{\theta}') - E(\vec{\theta})}{T})$ の確率で $\vec{\theta} = \vec{\theta}'$ とする。
- (3) $t = t + 1, T = cT$ とする。
- (4) LOOP に戻る。

5. 写像関数最適化実験と評価

国際電話網の疎通悪化診断に用いる定性的知識を用いて、4. のアルゴリズムで写像関数の最適化を行った。

5.1 定性的知識と事例の利用方法

定性的知識および、事例は図3に示す方法で利用した。

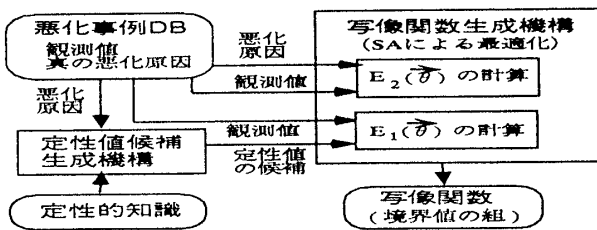


図3: 定性的知識と事例の利用方法

悪化事例 DB 観測値とその観測値に対する真の悪化原因の組を蓄えている。

定性的知識 観測値に対応する定性値の組から悪化原因を推定する知識を決定表で記述してある。

定性値候補生成機構 悪化原因からその悪化原因を推定する定性値の組を決定表から全数生成する。

写像関数生成機構 SA を用い、各種の $\vec{\theta}$ に対して、 $E(\vec{\theta})$ を求め、最適な $\vec{\theta}$ を決定する。

$E_1(\vec{\theta})$ の求め方 $\vec{\theta}$ で定まる写像関数に観測値を適用して得られる定性値と定性値の候補から、同観測値に対し、悪化原因が正しく推定できるか判定する。悪化事例 DB の全事例に同判定を繰り返し、 $m_{err}(\vec{\theta})$ を得る。

$E_2(\vec{\theta})$ の求め方 悪化原因の分布から、文献^[1]の方法で $H(\vec{\theta})$ を求める。

5.2 実験結果

表1に実験に用いた写像関数関連のパラメータを、表2にSAのパラメータを示す。使用した計算機はSPARC2(処理能力28.5MIPS, 主記憶48MB)であり、80回の温度下げを行うに260.3秒かかった。

図4では、横軸に温度を下げた回数 t を、縦軸に各温度における最終状態 $\vec{\theta}$ における $E(\vec{\theta})$ と同状態に至るまでに見つけた E の最小値をとった。初期温度では $m_{err} = 10$ であり、全体のコストに E_1 がかなりを占める。このため、解の探索が m_{err} を減らすことを優先して進む。図5は、全ての事例が正しく推定できるようになってからの E の最小値の時間変化である。 $E_1 = 0$ となる時点 ($t = 65$) からエントロピーを考慮した探索が進み、 E_2 を減らす解が見つかった。

5.3 考察

定性的知識を作成した専門家が写像関数を定めた場合、25事例中8例で悪化原因がうまく推定できなかった。本手法で得られた写像関数が悪化原因を全て正しく推定できたことから、SAによる解の探索は有効であった。今回の実験は25事例と小規模であったが、評価関数 E の計算時間は事例数 m に比例するので、多量の実例に対しても実用的な時間で処理可能と考えられる。

表1: 写像関数のパラメータ

n	5
l_1, \dots, l_5	5
w	12
m	25
s_1, \dots, s_5	32
α	1.0

表2: SAのパラメータ

T_0	10.0
c	0.95
n_{per}	2000
$\vec{\theta}_0$	各属性 v_i の定義域を l_i 等分した点からなる境界値の組

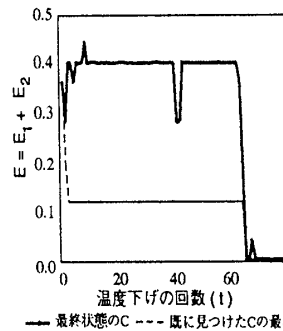


図4: Eの時間変化

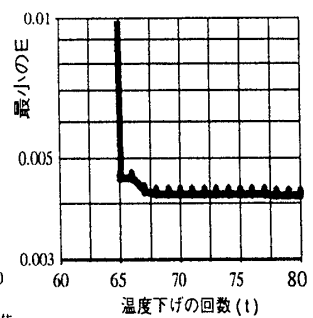


図5: Eの時間変化 (t>65)

6. おわりに

本稿では、定性知識と事例から写像関数を最適化するための評価関数を、定性知識が完全でない場合にまで拡張し、SAを用いた具体的なアルゴリズムを示した。実験を通して、同アルゴリズムの有用性を確認した。最後に、日頃御指導頂くKDD研究所浦野所長、眞家次長に感謝します。

参考文献

- [1] 松本等: 実時間網管理への定性的診断知識の適用手法, 情報研報 93-DSP-62, pp.9-14 (1993)
- [2] S.Kirkpatrick等: "Optimization by simulated annealing", Science, vol.220, no4958, pp.671-683 (1983)