

三菱電機（株） 正 宮下 仁志
鳥取大学工学部 正 野田 茂

1. まえがき

ライフラインは空間的に拡がっている。そのため、震災時には多数の被災箇所が発生する。従って、被災設備を効率よく復旧することが望まれている。本研究では、被災した電話網に対し、構造上および機能上の評価関数を設定し、ニューラルネットワークを用いて、被災設備の効率的な復旧手順や方針を決定する方法を提案する。

2. 機能復旧予測のための評価関数

本研究では、図1のフローに従って、電話網の機能復旧予測を行う。ここでのキーワードは、回線留保方式による迂回中継システムのトラヒック解析、最短経路探索、復旧時間の算定、平均場近似とクーリングスケジュール、ニューラルネットワークおよび効率的な最適化計算である。

本研究では、多重1次形式で表される拡張された評価関数を考え、それを最小化するための復旧手順を見出す。巡回セールスマン問題（TSP）に対応させて、1)被災設備を1度だけ訪れ、しかも2度訪れない、さらに2)各被災設備を全て訪れるという拘束条件を課す。

最小化すべき目的関数としては、復旧班の移動時間と復旧時間の総和である総復旧時間や、トラヒック解析から得られる機能評価量を考える。すなわち、機能評価量としては、下記の1)～3)のように変数の定義をすると、式(1)～式(7)に示す関数で表せる。ただし、ここでは、電話網のノード間に対地回線を設け、2つの対地ルート（ルート1とルート2）を考える。

- 1) 平常時において、iノードにおけるルート0の回線数は S_{0i} 、ルート1の回線数は S_{1i} である。ルート0の呼種別呼損率は B_{0i} 、ルート1の呼種別呼損率は B_{1i} で表す。
- 2) ルート0の被災を想定すると、ルート0の回線数は S'_{0i} 、ルート1の回線数は S'_{1i} で表す。ルート0の呼種別呼損率は B'_{0i} 、ルート1の呼種別呼損率は B'_{1i} で表す。
- 3) ルート1の被災に対し、ルート0の回線数は S''_{0i} 、ルート1の回線数は S''_{1i} で表す。ルート0の呼種別呼損率は B''_{0i} 、ルート1の呼種別呼損率は B''_{1i} となる。

$$\sum_{i=1}^{NR} \{(S_{0i} - S'_{0i}) + (S_{1i} - S''_{1i})\} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{NR} \{(B'_{0i} - B_{0i}) + (B'_{1i} - B_{1i}) + (B''_{0i} - B_{0i}) + (B''_{1i} - B_{1i})\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{NR} \{(B'_{0i} - B_{0i})S_{0i} + (B'_{1i} - B_{1i})S_{0i} + (B''_{0i} - B_{0i})S_{1i} + (B''_{1i} - B_{1i})S_{1i}\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{NR} \{(B'_{0i} - B_{0i})^2 + (B'_{1i} - B_{1i})^2 + (B''_{0i} - B_{0i})^2 + (B''_{1i} - B_{1i})^2\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{NR} \{(B'_{0i} - B_{0i})^2 S_{0i} + (B'_{1i} - B_{1i})^2 S_{0i} + (B''_{0i} - B_{0i})^2 S_{1i} + (B''_{1i} - B_{1i})^2 S_{1i}\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{NR} \{(B'_{0i} B'_{1i} - B_{0i} B_{1i}) + (B''_{0i} B''_{1i} - B_{0i} B_{1i})\} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{NR} \{S_{0i} (B'_{0i} B'_{1i} - B_{0i} B_{1i}) + S_{1i} (B''_{0i} B''_{1i} - B_{0i} B_{1i})\} \quad (7)$$

ここに、NRは、電話網の各ノードの対地ルート数の和（総ルート数）を意味する。なお、呼種別呼損率は、文献1)の算定式を適用して求める。

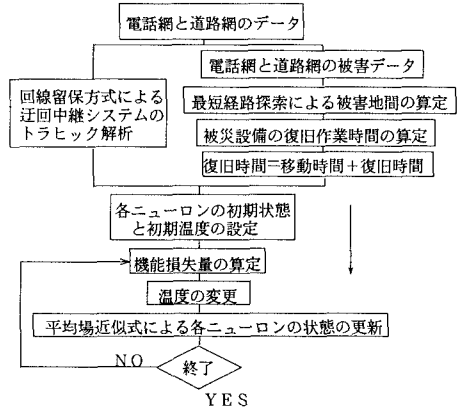


図1 復旧予測のための算定フロー

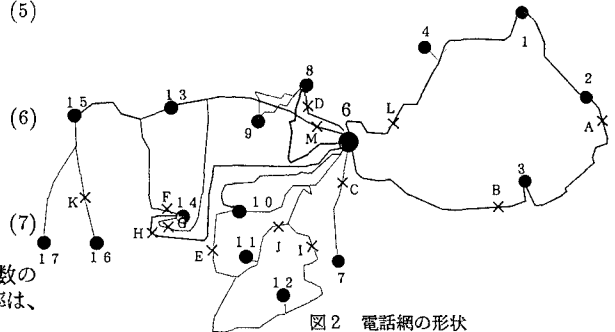


図2 電話網の形状

3. ニューラルネットワークによる効率的な最適化

上述の機能評価関数あるいは総復旧時間の最小化問題は、TSPの拘束条件と組み合わせる。その結果、次式の拡張された評価関数が得られる。ここで、 $x(X,i)$ は、i番目に被災設備Xを復旧するとき1、その他のとき0の値となる変数である。係数の $a_{X_i Y_j}$ には、構造上あるいは機能上の評価関数が含まれる。

$$F(x) = \sum_{X,i} \sum_{Y,j} a_{X_i Y_j} x(X,i) x(Y,j) + \sum_{X,i} b_{X_i} x(X,i) + c \quad (8)$$

最適化問題は、復旧順序を示す変数 $x(X,i)$ を求めることである。ここでは、式(8)をニューラルネットワークのエネルギー関数に対応させて、組み合わせ最適化問題を解く。

本研究では、解を効率的に求めるように、確率論的なアニーリングの挙動を確定化した平均場近似アニーリング²⁾とホワイトノイズ(温度T)を付加するクーリングスケジュールを用いる。ただし、温度Tは式(8)のエネルギーに依存させ³⁾、局所解にトラップしないような工夫をする。式(9)は本研究で用いた平均場近似式である。ここに、 m_i はニューロンiの状態の平均値である。

$$m_i = \frac{1}{2} \left[1 + \tanh \left\{ \left(-2 \sum_{Y,j} a_{X_i Y_j} x(Y,j) - b_{X_i} \right) / T \right\} \right] \quad (9)$$

4. 数値計算例および考察

図2には対象とした被災電話網と被災設備位置(X)を示す。この電話網に対し、まず、図1に従い、被災設備間の最短時間探索を行い、迂回中継システムの呼種別呼損率を求める。次に、式(8)のニューロンの状態 $x(X,i)$ に対応させて、式(9)から、その最適解を得る。電話網と道路網の想定被災パターンに対して、評価関数の違いが累積機能損失量に及ぼす影響を分析する。なお、復旧班は1班とした。図3は機能損失量の時系列変化を示したものである。5つの評価関数(1,2,4,6,7)から求まる復旧パターンは1、評価関数3による復旧パターンは2、評価関数5による復旧パターンは3となる。

図3より、呼損率のみで表せる3つの評価関数(2,4,6)による違いは見られない。しかし、回線数も加味した評価関数(3,5,7)を考えると、復旧ルートは3パターン生じる。復旧パターン1に対する復旧班の移動ルートは図4のようになる。これは、数理的に最適な評価を与えている復旧順序である。

5. あとがき

本研究で提案したニューラルネットワークによる最適化計算アルゴリズムは、電話網の機能復旧予測に対して、かなり有効であると言える。また、数値計算の結果、構造上および機能上の評価関数や各種の累積機能損失量が復旧過程に及ぼす影響を調べるのにも容易に適用できることがわかった。

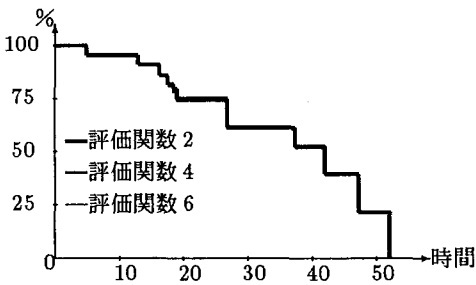
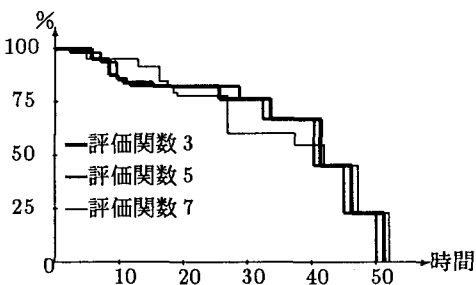
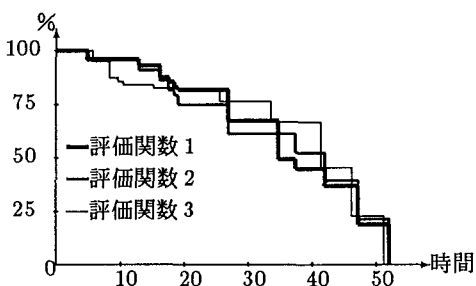


図3 機能損失量の割合の変化

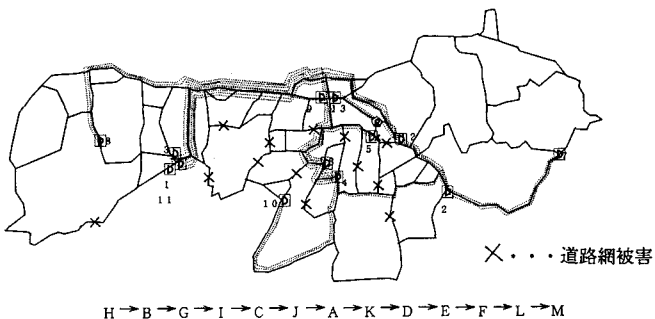


図4 復旧パターン1の移動ルート

参考文献

- 1) Gall, F.L. and Bernussou, J. : Blocking probabilities for trunk reservation policy, IEEE Trans. on Communications, Vol.COM-35, No.3, pp.313 ~ 318, March 1987.
- 2) Peterson, C. and Anderson, J.R. : A mean field theory learning algorithm for neural networks, Complex Systems, Vol.1, pp.995 ~ 1019, 1987.
- 3) Matsuba, I. : Optimal simulated-annealing method based on stochastic-dynamic programming, Physical Review A, Vol.39, No.5, pp.2635 ~ 2642, March 1989.