

I-531

ニューラルネットワークによる

被災電話網の最適復旧過程の評価

セコム I S 研究所 正会員 小川 理宏

鳥取大学工学部 正会員 野田 茂

1. まえがき

地震により被災した電気通信システムは、被災施設の復旧時においても、被害や復旧状況などの情報を送信するという社会的に重要な役割を担っている。都市防災という観点から見れば、他のライフラインの施設の復旧にも影響を与えるので、被災した通信施設を早期に修復することが必要である。

本研究では、被災した電気通信システムの機能低下を評価する指標を考案し、ニューラルネットワークのエネルギー最小化によって、最適復旧過程を算定する方法を提案し、その有効性を検討する。

2. 機能損失

本研究では、災害時に最も被害を受け易いと考えられる市内中継システムを対象とする。経路選択方式としては固定中継方式を採用する。その機能は経路の回線数によって表わす。ここでは、次式で示す回線損失量を、通信システム全体の機能損失を表わす指標として用いた。

$$L = \sum_i C_i \delta_i \quad (1)$$

ここで、 L を回線損失量（回線数）、 C_i をノード間経路 i の回線数、 δ_i は経路 i 上に通信施設の被害がある場合は1、無被害は0を示すものとする。

3. ニューラルネットワークによる復旧過程の評価

最近、巡回セールスマン問題を解くのに、ニューラルネットワークによる処理が考案されている。

ここでは、ネットワークの状態を都市を巡る1つの経路によって表わす。ネットワークのエネルギー関数は、最短経路に対応する状態で最小値をとる。このエネルギーを最小化するには、次の連立1階常微分方程式を解けばよい。

$$\frac{dx(X, i)}{dt} = -x(X, i)(1-x(X, i))(2 \sum_j a_{xiYj} x(Y, j) + b_{xi}) \quad (2)$$

ここに、 $x(X, i)$ は、都市 X を i 番目に訪れるとき1、その他のとき0の値をとる。 a_{xiYj} は、都市間距離やクロネッカーデルタ記号、 b_{xi} は都市の数と重み係数で表わされる。ネットワークの初期状態と重み係数を適当に選び、探索を開始すると、エネルギー関数が極小となるような最短経路を与えるルートが求まる。

被災施設 j の復旧時間は、被災道路を回避して進む作業班の移動経路を勘案して、被災施設 i から j への作業班の移動時間と j の復旧作業時間の和とする。この時間は、巡回セールスマン問題の都市間距離に対応するものである。移動過程は被災道路網上の最短経路によって評価する。

式(2)を数值的に解くと、一般には複数の安定状態が得られる。ここでは、試行錯誤的に初期状態を選び、可能領域（全ての被災施設の復旧）にあって、エネルギー関数の最も小さい状態を最適解として採用した。

上記の手続きで求められた復旧作業の順位に基づき、被災通信システムの機能損失の時系列変化を調べる。回線損失量は、各被災施設の復旧時間ごとに、式(1)によって評価する。ニューラルネットワークによって求めた復旧優先順位に基づくと、被災通信システムの機能損失の回復過程は、図1のフローによって評価される。

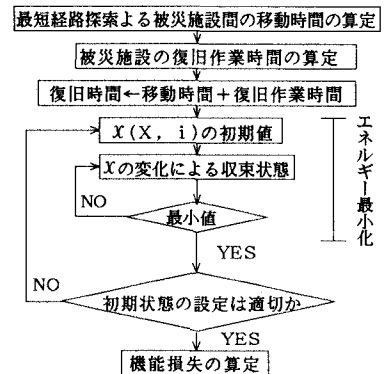


図1 ニューラルネットワークを用いた復旧過程の概念図

4. 数値計算例

本手法の有用性を調べるために、T市内電話網(図2)を対象として、数値計算を行った。被災施設地点は7つである。図中、回線数の多いものほど、リンクの線は太い。

復旧作業班は1班とし、移動の開始地点は中心局(ノード6)とした。最終の復旧施設地点からノード6への移動時間は考慮しないこととする。式(2)の連立1階常微分方程式はオイラー法を用いて解いた。最終的に得られた復旧順位と作業

班の移動経路は図3のようになった。同図には、本研究で用いた道路網とその被害も示している。

作業班の移動過程から、次のシナリオが考えられる。作業班は、被害の大きい被災施設A、Bから復旧を開始し、道路網の被災箇所を避けながら、周辺の被災施設の復旧を実施している。総復旧時間の最小化が目的関数となっているので、復旧時間の長い被災施設から優先的に復旧している。

5. 復旧シミュレーションとの比較

ここでは、上記アルゴリズムの有効性を確認するために、復旧シミュレーションとの比較を試みた。累積機能損失の最小化を目的として、復旧作業班の移動経路を求めるシミュレーションアルゴリズムを考案した。

移動過程の探索は、作業班の初期配置状態の全ての組み合わせに対して行った。復旧作業班数は被災施設数よりも少ないと仮定する。ここでは1班とする。移動方針としては、現

実的な移動過程を考慮した結果、最短復旧時間を与える被災施設を優先する方針を考えた。復旧作業班の移動経路は、累積機能損失量を最小にする初期配置によって決まる。

上記の考え方(シミュレーション)による復旧作業班の初期配置と移動過程によって求められた機能損失の回復過程と、図3の移動経路(ニューラルネットワークによる解)を採用したときの復旧過程を比較したのが、図4である。ニューラルネットワークの目的関数は総復旧時間最小化で、シミュレーションのそれは総機能損失最小化である。両者の目的関数は異なるが、ここでは工学的に評価する。この場合、完全復旧までの累積機能損失量と総復旧時間は、ともに、ニューラルネットワークによる結果の方がよい。ニューラルネットワークによる計算方法の簡易性と計算時間の短かさから、本研究で提案する方法は、従来のシミュレーション法と比較しても遜色なく、有効であると言える。

6. あとがき

- (1) 被災電話網の復旧作業と移動過程を、巡回セールスマン問題に対応させ、ニューラルネットワークを応用して、復旧優先順位を決定するアルゴリズムを提案した。
- (2) 被災時における通話機能の損失を評価する指標を示した。
- (3) ニューラルネットワークと復旧シミュレーションで得られた作業順位に従って被災施設の修復過程を評価した結果、本アルゴリズムの有効性が確認できた。

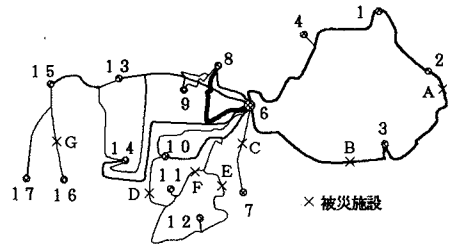


図2 電話網と被災施設地点

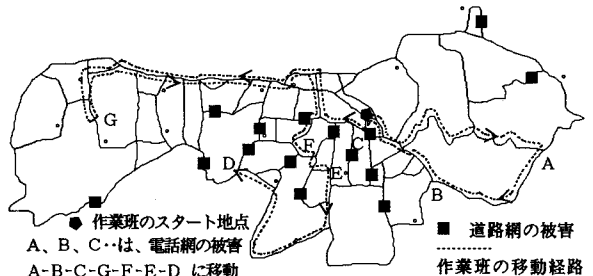


図3 作業班の移動経路

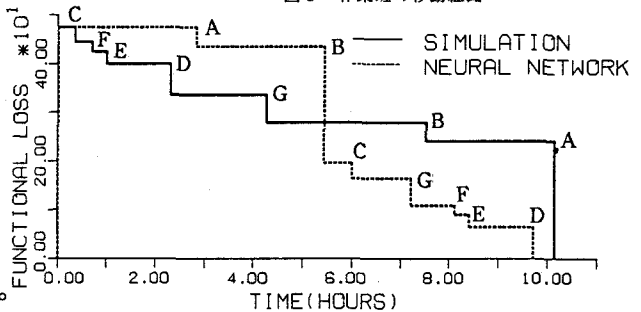


図4 機能損失の時系列変化