

3E-5

しきい値動的制御法による  
巡回セールスマン問題の解法

田中敏雄 古谷立美 秋山 泰

電子技術総合研究所

1. まえがき

我々は、ニューロンの出力が2値のHopfieldネットワークにおいて、しきい値動的制御法という新しい方式を提案し、この方式を巡回セールスマン問題(TSP)に適用し、非常に高い割合で解が得られることを既に報告している<sup>1)</sup>。本稿では、このしきい値動的制御法を説明すると共に、解が得られなかった時に、この方式に基づく修復アルゴリズムを実行することにより、解が得られることを示す。

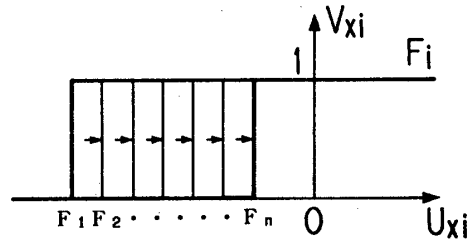


図1 ステップ関数のしきい値

2. しきい値動的制御法

本アルゴリズムは非常に簡単で、次の2、3ステップを繰り返すことにより解が得られる。

Step 1: 全ニューロンの初期状態を全て"1"に設定する。

Step 2: 全ニューロンの中で、入力との総和が負で絶対値が最大のニューロンを選択する(エネルギーの減少量が最大のニューロンを選択することに相当する)。

Step 3: 選択されたニューロンの出力を"0"にする。但し、選択されたニューロンが複数個存在する場合には、任意の1個のニューロンのみを"0"に変える。(Step 2へ戻る)

このStep 2は、しきい値を徐々に上げることで実現できる。

しきい値を図1に示すように、ある最小値から徐々に上げていくことが、入力との総和が負で絶対値が最大のニューロンを探すことに相当する。これは、初期状態が全て"1"の状態からスタートし、しきい値をある最小値から徐々に上げていき、そのしきい値と入力との総和が同一の値を持つニューロンを"1"から"0"に変えることで実現できる。しきい値と入力との総和が同一の値を持つニューロンが複数個存在する場合には、任意の1つのニューロンのみを"1"から"0"に変える。

このネットワークは、初期状態が全て"1"の状態からスタートし、しきい値を徐々に上げていくことにより、各しきい値でエネルギーの減少量が最大のニューロンが選択され、状態を"1"から"0"に変化させながら動作することになる。この動作が、従来のHopfieldネットワークの動作と最も異なる点である。また、最適化問題を従来のHopfieldネットワークで解かせる際の問題点として、収束の問題がある。すなわち、どの時点で解が求まったか、あるいはどの時点まで計算を進めたら解が求まらないとするかは大きな問題である。本方式では、収束という概念はなく、図1に示したように、しきい値の値が終了値まで進むと、解が求まる、求まらないにかかわらず、計算終了の判定が出来る点も大きな特徴である。

3. しきい値動的制御法によるTSPの解法

3.1 TSPの表現

TSPは、1人のセールスマンがN個の都市を一度ずつ訪問し、出発した都市に戻るような経路のうちで、最短の経路を求める問題である。HopfieldはTSPを解くために、ネットワークのエネルギーが最短の経路に対応する状態で最小値をとるようにニューロンの結合を決めている。ここでは、Hopfieldと同一のエネルギー関数を用いることにする(但し、全体の制約項は取り除く)。従って、入力との総和 $U_{xi}$ は、次式で与えられる。

$$U_{xi} = -A \left( \sum_{j \neq i} V_{xj} + \sum_{y \neq x} V_{yx} \right) - B \sum_{y \neq x} d_{xy} (V_{y, i+1} + V_{y, i-1}) \quad (1)$$

3.2 パラメータの設定

① 距離項  $d_{xy}$

距離項  $d_{xy}$  は、平均値で割り、さらに、その最大値で規格化する。

② 制約項の係数Aとコスト項の係数B

式(1)において、制約項の係数は  $A=2$  に設定する。コスト項の係数Bについては、都市配置により、その最適なBの値(最適値からのずれが少なく、なおかつ解の得られる回数が多い)は異なると考えられる。ここでは、実験的に求めることにする。

3.3 シミュレーションの方法

3.2のパラメータの設定で述べたコスト項の係数Bをパラメータにして、各Bの値での解が得られた回数と解の質(最小経路からどのくらいずれているか)について調べる。図2に、フローチャートを示す。図2に示すように、2つの場合について実験した。

3.4 修復アルゴリズム

図2において解が得られなかった場合、修復アルゴリズムに入る。修復アルゴリズムでは、コスト係数  $B=0.1$  (制約項係数  $A >$  コスト項係数B) に設定され、しきい値動的制御法と同一アルゴリズムを繰り返す。この修復アルゴリズムは、解が得られなかった時の都市の訪問順序がそのまま残り、解を得るために必要な他のニューロンの候補が全て"1"に設定され、この状態を初期状態とし、再度同一アルゴリズムを繰り返すことにより、解を得る。

Threshold Control Method for Solving the Travelling Salesman Problem with Neural Networks

Toshio TANAKA, Tatsumi FURUYA, Yutaka AKIYAMA

Electrotechnical Laboratory

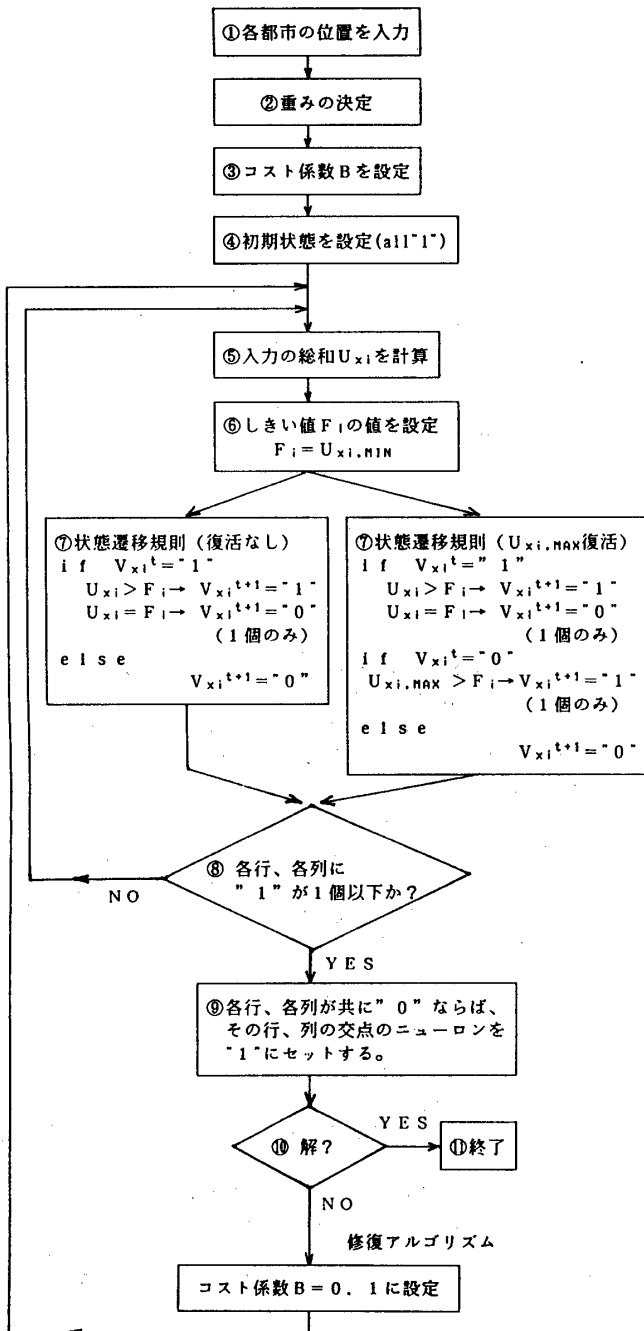


図2 フローチャート

3.5 シミュレーション結果

図3にシミュレーション結果を示す。解が得られた割合と最小経路からのずれは、各Bの値で100回行ったときの平均値である。○と●が修復アルゴリズムなし、△と▲が修復アルゴリズムあり、の時の最小経路からのずれと解の得られた割合を示している。図3より、修復アルゴリズムにより、100% 解が得られることが分かる。また、最適なコスト係数が存在することが分かる。復活なしのときの最適なコスト係数は2.4、その時の修復アルゴリズムありのときの、最小経路からのずれは5.5%、同様にU\_xi,MAX復活のときの最適なコスト係数は2.3、最小経路からのずれは0%、すなわち、全て最適解が得られている。このことはU\_xi,MAX

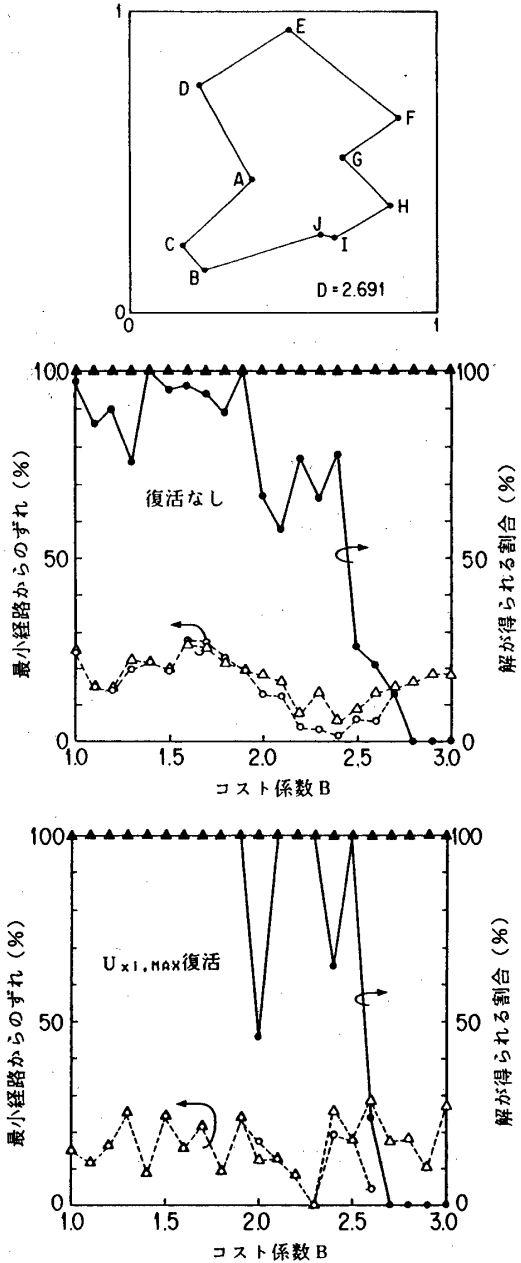


図3 シミュレーション結果

復活のほうが、最適なコスト係数Bを設定できれば、復活なしに比べてTSPを優れた効率で解けることになる。

4. まとめ

ニューロンの出力が2値のHopfieldネットワークにおいて、しきい値を動的に制御する方式をTSPへ適用し、非常に高い割合で近似解が得られることを示した。また、修復アルゴリズムにより、この実験では100%解が得られることを示した。さらに最適なコスト係数が存在することを示した。このコスト係数を都市配置から推定することがこれからの研究課題である。

参考文献

1) 田中、古谷、秋山:しきい値の動的制御を用いた相互結合型ニューラルネットワークによる最適化問題の解法、信学技法NC90-41, pp. 81-88