

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 30 日現在

機関番号：32407

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870770

研究課題名(和文) 組合せ最適化問題に対するカオスサーチ法のパラメータ値設定法の開発

研究課題名(英文) Parameter Decision Method of Chaotic Search for Combinatorial Optimization Problem

## 研究代表者

松浦 隆文 (MATSUURA, Takafumi)

日本工業大学・工学部・助教

研究者番号：70579771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,100,000円

研究成果の概要(和文)：NP困難な組合せ最適化問題の準最適解を求めるために、カオスサーチ法が提案されている。カオスサーチ法はカオスニューロンモデルを用いてニューラルネットワークを構築し、ニューロンの有する不応性効果が効果的な探索を実現している。しかし、不応性効果の最適なパラメータ値を見つけることは非常に困難であり、経験的、様々なパラメータ値での試行実験を繰り返しながらパラメータ値を決定している。最適なパラメータ値を設定する方法を開発するために、パラメータ値と探索性能の関係、パラメータ値の変化にともなうカオスニューロンモデルのダイナミックに関する解析を数値実験により行った。

研究成果の概要(英文)：For finding near optimal solutions of NP-hard combinatorial optimization problems, a chaotic search method has been proposed. In the method, a chaotic neural network is constructed by chaotic neurons. We have already clarified that its high searching ability depends on a statistical property of refractory effects in the chaotic neuron. However it is difficult to find optimal parameters of the refractory effect. In order to develop a method that decides optimal parameters, we confirmed relation between the values of parameters and searching abilities of the chaotic search method or a dynamics of the chaotic neuron from some numerical experiments. We analyzed relation the searching ability and Lyapunov exponent of a single chaotic neuron. A positive Lyapunov exponent indicates that a behavior of the chaotic neuron is chaos. From some numerical experiments, we confirmed that if the Lyapunov exponents are positive, good results are obtained for a motif extraction problem.

研究分野：数理情報学

キーワード：組合せ最適化問題 発見的解法 カオスニューラルネットワーク ソフトコンピューティング

### 1. 研究開始当初の背景

基盤配線、配送計画、施設配置、スケジューリング、タンパク質の機能解析など、作業に必要な人員や時間の削減が非常に重要な課題となる問題が数多く存在する。このような問題は、組合せ最適化問題と呼ばれ、NP 困難なクラスに属する問題である。そのため、現実的な時間内で良好な解を求めることができる近似解法の開発が必要とされている。組合せ最適化問題を解くための多くの近似解法では、問題に応じて設定されている評価関数を最適化することにより解の探索を行なう。評価関数の最適化において、貪欲的なアルゴリズムを用いると、局所最適解に陥るという欠点が存在する。

組合せ最適化問題が内包する局所最適化問題を回避するため、決定論的カオス力学系を有するカオスニューロンを導入し、ニューラルネットの状態を用いて局所最適解から脱出させる手法(カオスサーチ法)が提案されている。カオスサーチ法では、局所探索法の実行をカオスダイナミクスが制御することにより、効果的な探索を実現している。これまでの研究において、巡回セールスマン問題、2次割当問題、共通モチーフ抽出問題等の NP 困難なクラスに属する組合せ最適化問題に対して、優れた性能を有することが示されている。しかし、カオスサーチ法は、実際のニューロンを模したニューロンモデルを用いるため、多くのパラメータが存在しており、優れた性能を発揮するためには、パラメータを適切な値に設定する必要がある。

### 2. 研究の目的

カオスサーチ法を用いて効果的な探索を行うためには、カオスを制御するパラメータを適切な値に設定しなければならない。カオスサーチ法ではカオスニューロンの不応性効果が効果的な探索を実現しているため、最適なパラメータ値の決定には、不応性効果のダイナミクスを解析することが不可欠である。本研究の目的は、カオスサーチ法を実用的な手法にするために、不応性効果(カオス力学系)を解析し、パラメータ値を決定する方法を開発することである。

### 3. 研究の方法

本研究はコンピュータシミュレーションにより行う。局所探索法の実行をニューロンの発火状態で制御するカオスサーチ法のパラメータ値の決定方法開発には、モチーフ抽出問題を用いる。最適なパラメータ値を決定する方法を開発するためには、まず、最適なパラメータ値を発見する必要がある。そこで、パラメータ値を細かく変化させ、パラメータ値と性能の関係性を調査する。その際、パラメータ値とダイナミクスの解析も行う。サイズが小さい問題から解析を始め、徐々にサイズを増加させ、どのようなカオスダイナミクスが効果的な探索を実現しているのかを明

らかにする。

次に、相互結合型カオスニューラルネットワークを用いた手法に対するパラメータ値の決定法を開発を行う。この開発には、2次割当問題を用いる。相互結合型カオスニューラルネットワークを用いた解法では、ニューラルネットワークの状態(アナログ値)を組合せ最適化問題の解(0-1変数)に変換する。そのため、ネットワークの状態からどのように解を決定するのかは、その性能を左右する重要な課題となっている。そこでまず、ネットワークの状態からどのような方針で解を決定すれば良いのかを明らかにする。次に、解を決定する方法の開発を行う。その後、パラメータ値を細かく変化させ、パラメータ値と性能の解析を行い、その結果をもとにパラメータ値の決定法を考案する。

### 4. 研究成果

研究代表者が提案している共通モチーフ抽出問題に対するカオスサーチ法においてパラメータ値と性能の解析を行った。この手法では、局所探索法の実行をカオスニューロンモデルの発火・非発火で制御する。具体的な解析内容は、探索性能とリアプノフ指数の関係についてである。リアプノフ指数とは力学系の応答がカオス的であるかどうかを測る指標の1つである。リアプノフ指数が正の値となる場合、その系はカオス的な応答であることを示す。パラメータ値を細かく変え、カオス的な応答を示す場合とそうでない場合とでの性能を比較する。

共通モチーフ抽出問題に対し、カオスニューロンの不応性効果を制御するパラメータ値( $\tau$  と  $kr$ )を様々な値に設定した際のモチーフ抽出成功率の結果を図1に示す。 $\tau$  はニューロン発火後の不応性効果の強さを決定し、 $kr$  は不応性効果の時間減衰を制御するパラメータである。また、モチーフ抽出成功率とは、初期解を50個生成し、カオスサーチ法でモチーフ探索をした際に、正しくモチーフが抽出できた割合(最適解が得られた割合)である。50回中、40回最適解が得られた場合の成功率は80%となる。図2に、単一カオスニューロンモデルのリアプノフ指数を示す。

図1と図2より、単一カオスニューロンモデルのリアプノフ指数が正の値を示すパラメータ値の領域において、高い確率でモチーフ抽出が成功していることが確認できる。この結果は、ニューロンがカオス的な振る舞いをするとき、良好な解が得られていることを示している。パラメータ値を設定する際、リアプノフ指数が正となるパラメータ値の組合せを用いることで、効果的な探索が可能であることが分かった。

次に、相互結合型カオスニューラルネットワークを用いた解法に対してもパラメータ値と性能の評価を行った。この解析には2次割当問題(Quadratic Assignment Problem,

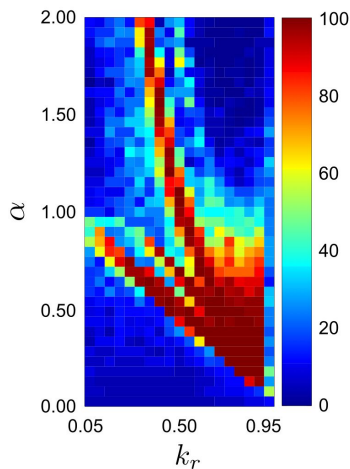


図1 モチーフ抽出成功率[%]

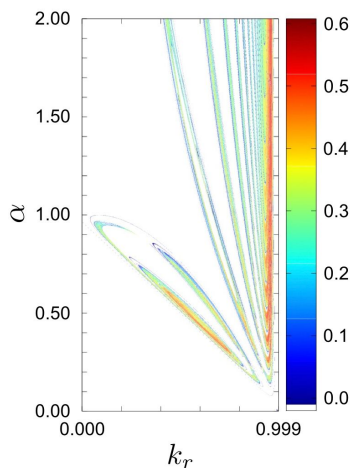


図2 単一ニューロンのリアプノフ指数

以下, QAP) に対する相互結合型カオスサーチ法を用いた. QAP は, 工場と工場を配置する場所, 工場間の輸送量, 場所間の距離が与えられる. 工場は1つの場所に配置され, 1つの場所には1つの工場が配置される. QAPの目的は, 輸送量と距離の積の総和を最小にする工場の配置を求める問題である. 図3にQAPの概略図を示す. 図3では4つの工場(①, ②, ③, ④)を4つの場所(Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ)に配置している. 場所Ⅰに工場②を, 場所Ⅱに工場①を, 場所Ⅲに工場③を, 場所Ⅳに工場④を配置しており, この配置は解行列  $X$  で表すことができる(図3).

相互結合型カオスニューラルネットワークを用いた解法では, 図3に示すように格子状にカオスニューロンを配置する. 配置されたニューロンは内部状態の更新式に従い状態値の更新を行うが, 内部状態はアナログ値なため, そのままではQAPの解  $X$  を構成することができない. そのため, アナログ値を0-1変数に変換する手続きが必要となる(図3(a)).

アナログ値を0-1変数に変換する手法として, 貪欲的な手法が提案されている. この手法では, 解を構成するニューロンの内部状態値の総和が最大となり, かつQAPの制約条件を満たすように, 貪欲的にニューロンを選

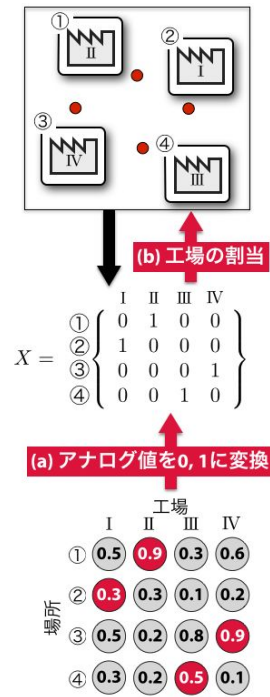


図3 2次割当問題の解と相互結合型カオスサーチ法の内部状態の関係. カオスニューロンの内部状態値をもとに, (a) QAPの解行列  $X$  を決定し, (b) 工場の割当を行う.

表1 貪欲法とMAX-SUM型を用いて解を決定した際の最適解からの誤差率[%].

問題例	貪欲法	MAX-SUM型
Had20	1.6835	<b>1.0167</b>
Nug20	1.5720	<b>0.7004</b>
Tai20a	2.3186	<b>1.5407</b>

択していく. しかし, 解として選択されるニューロンの内部状態値の総和の大小関係と解の精度については明らかとなっていない. 関係性があるのかどうかを解明するために, 内部状態が最大となるように解を選択する方法(MAX-SUM型)で解を構築し, 貪欲法との性能比較を行った. その結果を表1に示す. 表1より, 貪欲法よりもMAX-SUM型の法が良い解が得られている. この数値実験により, 解として選択されるニューロンの内部状態値の総和が大きくなると, 良好な解が得られることが明らかとなった.

内部状態の総和が大きくなるように解を決定する方法を用いて, 性能とパラメータ値の関係を調べた. 数値実験にはQAPのベンチマーク問題であるQAPLIBの中からTai20a, Tai30a, Tai40a, Tai50aを用いた. これらの問題例は問題サイズが異なるが距離行列, フロー行列の特徴が似ている問題例である.

カオスニューロンの不応性効果を制御するパラメータ値を様々な値に設定し, QAPに対して求解を行った際の, 最適解(既知最良解)からの誤差率を図4に示す. 図2と図4の結果から, 相互結合型カオスサーチ法の場

合にはリアプノフ指数と性能との間に関係性がないことが確認できる。しかし、図4の結果より、全ての問題例に対して、 $k_r = 0.875$ 付近で良好な解が得られていることから、不応性効果と性能の間には何らかの関係性があることが示唆される。今後、相互結合型カオスサーチ法において、どのような効果が優れた性能を実現しているのか明らかにする研究を進めていく必要がある。

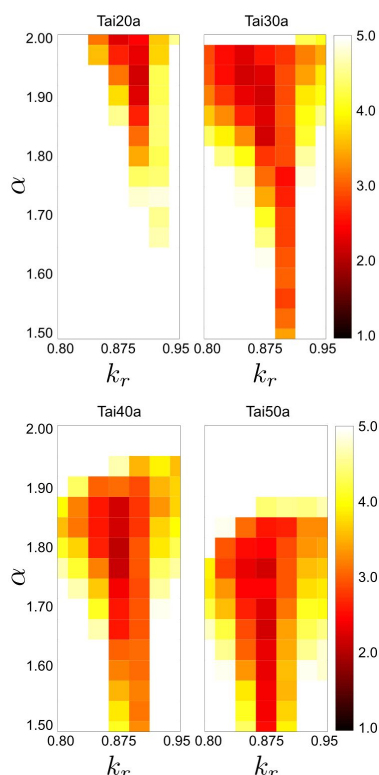


図4 相互結合型カオスサーチ法における、パラメータ値と最適解からの誤差率 [%]の関係。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計9件)

1. Takafumi Matsuura and Tohru Ikeguchi, "A Method for Deciding Feasible Solution of Quadratic Assignment Problem from Mutually Connected Chaotic Neural Network", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 2015.5.18, 道の駅浅虫温泉ゆ～さ浅虫 (青森県・青森市).
2. Takafumi Matsuura and Kazumiti Numata, "Solving Min-Max Multiple Traveling Salesman Problems by Chaotic Neural Network", 査読有り, International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2014.9.16, ルツェルン(スイス).

3. Takafumi Matsuura and Tohru Ikeguchi, "Soft Tabu Search for Solving Quadratic Assignment Problems", 査読有り, 回路とシステムワークショップ, 2014.8.5, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県・淡路市).

4. Takafumi Matsuura and Tohru Ikeguchi, "Chaotic Motif Sampler by Using Chaotic Nerdynamics for Solving Motif Extraction Problem", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 2013.12.7, 香港(中国).

5. Takafumi Matsuura and Tohru Ikeguchi "Solution Decision Method of Quadratic Assignment Problem from Mutually Connected Chaotic Neural Network", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 2013.10.28, サポートホール高松(香川県・高松市).

6. Takafumi Matsuura and Tohru Ikeguchi, "How to Decide Solutions of Quadratic Assignment Problem from Chaotic Neural Network", 査読有り, International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, 2013.9.11, サンタフェ(アメリカ合衆国).

7. Takafumi Matsuura and Tohru Ikeguchi, "Firing Decision Method of Chaotic Neural Network for Quadratic Assignment Problem", 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, 2013.9.3, 福岡工業大学(福岡県・福岡市).

8. Takafumi Matsuura, Kazumiti Numata, and Tohru Ikeguchi, "Soft Tabu Search for Solving Motif Extraction Problem", 査読有り, 回路とシステムワークショップ, 2013.7.29, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県・淡路市).

9. Takafumi Matsuura, Tohru Ikeguchi, and Kazumiti Numata, "Heuristic Method Using Soft Tabu Search for Quadratic Assignment Problems", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, 2013.7.9, 宮古島マリンターミナル(沖縄県・宮古島市).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

松浦 隆文 (MATSUURA, Takafumi)

日本工業大学・工学部・助教

研究者番号: 70579771