

令和元年6月13日現在

機関番号：12201

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H06552

研究課題名(和文)部分同期に基づいて探索群を創発するカオス力学結合系による動的最適化問題の解法

研究課題名(英文) Autonomous multi-swarm optimizer for dynamic environments inspired by the partial synchronization in coupled chaotic oscillator networks

研究代表者

山仲 芳和 (Yoshikazu, Yamanaka)

宇都宮大学・工学部・助教

研究者番号：00804238

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、簡素な物理法則に基づいて探索エージェント群が自律的に創発される新しい多群探索型最適化手法を提案した。提案手法では、新たに導入した探索エージェント間の距離に依存する重力により、優良な解の周辺にエージェントの群れが形成された。同時に、エージェントがときおり群れから離脱することで、新しい優良な解の発見が可能となった。この群れの形成と離脱のメカニズムを、導入した重力を解析することで明らかにした。さらに、この解析結果に基づいて提案手法の大域的探索性能と局所的探索性能を制御し、さらなる性能向上を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

予測不可能な環境下における最適化問題では、複数の最適解もしくは実用上十分に優良な解を並列に探索する必要がある。従来、最適解を探索するエージェントを複数の群れに分割する手法が提案されているが、多くの場合、その群れの数や1つの群れあたりのエージェント数をユーザが事前に定める必要があった。本研究では、群れが自律的に創発される新たな手法を提案し、従来は不可欠であったユーザによる群れ構造の定義を不要にした。さらに、提案手法はパラメータ数と計算コストが従来法よりも小さいにも関わらず、より高い性能を実現可能であることを明らかにした。本成果は多様な実問題におけるリアルタイムな最適化の実現に寄与するものである。

研究成果の概要(英文)：Optimizers finding multiple optimal or quasi-optimal solutions in a single run are required especially for the real-world problems in dynamic environments. In this research, we proposed a novel multi-swarm optimizer, in which multiple subswarms can dynamically be organized around the optimal solutions. In particular, we modified particle swarm optimization by implementing a simple gravitational force between particles. In the proposed method, the particles not only form multiple subswarms but also escape from the corresponding subswarm, by which the proposed method was able to find near and distant optimal (or quasi-optimal) solutions. The mechanism of these search motions was revealed by analyzing the effects of the simple gravitational force. Furthermore, based on this analysis, the exploitation and exploration capability of the proposed method were controlled. As the results, the performance of proposed method was remarkably improved.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：群れ形成 最適化問題 群知能 力学系 粒子群最適化

## 1. 研究開始当初の背景

車の衝突回避などに代表されるように、予測困難な環境下で適切な制御や行動を選択することは、動的最適化問題、すなわち最適な設計変数が時間的に変化する問題へと帰着する。この動的最適化問題では、ある時刻において最適解だった設計変数が、次の瞬間には局所的な最適解(局所解)へと変化する可能性がある。そのため、常に最適な設計変数を得るには、最適解と、複数の優良な局所解を探索・追従しておき、その中からある時点における最も優良な解を提示することが必要となる。

これまで、これを実現するために多群探索型最適化手法が提案されてきた。これらの手法は、最適解を探索するエージェントを複数の群れに分割し、各群が異なる最適解と局所解を探索する。多くの場合、その群れの数や1つの群れあたりのエージェント数といった群れの構成を事前に定める必要がある。

しかしながら、実問題においては一般に、探索すべき最適解と局所解の数は未知であり、適切な群れの構成を事前に定めることは難しい。この対策として、適応的な群れの分割アルゴリズムを用いた手法が提案されている。具体的には、周期的に群れを分割・統合する手法や、階層構造による柔軟な群れの分割法などがある。しかし、いずれの場合も事前に周期や分割条件を定める必要があり、根本的な解決には至っていない。また、これらの分割アルゴリズムは最適化手法を複雑化させ、計算コストを増加させる。さらに、ユーザが決定すべき手法のパラメータを増加させるという問題点も指摘されている。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、群れの分割アルゴリズムを必要とせず、簡素な物理法則に基づいて探索エージェント群が自律的に創発される多群探索型最適化手法の構築を目的とした。この新しい手法では、事前に群れの構成や群れの分割条件定める必要がない。さらに、従来法よりも手法が簡素となり、計算コストとパラメータの増加も抑制できると期待された。

## 3. 研究の方法

本研究では2つのアプローチによって自律的な群れの創発を試みた。

最初に、カオス振動子の結合系にみられる部分同期現象の応用を検討した。研究代表者はこれまでの先行研究で、複数のカオス振動子による多点探索型最適化手法を提案してきた。この振動子を結合させた系において部分同期が生じれば、同期した振動子を1つの群れとして扱う多群探索型最適化手法の構築が期待された。

しかし、群れを創発する結合ネットワークの構造と結合パラメータの発見には至らなかった。そこで、第二のアプローチとして粒子群最適化法(Particle Swarm Optimization, PSO)の改良による群れの創発を試みた。スター結合型PSOでは、gbestと呼ばれる全探索エージェントが発見した中で最良な解の情報が、探索エージェント間で共有され、これに基づいてエージェントの位置が更新される。この情報共有は単一の最適解を探索する際には有効であるものの、複数の最適解を同時に探索することを阻害する。そこで、gbestの情報共有の代わりに、エージェント間に働く仮想的な重力を実装した。これにより、近傍のエージェントが互いに引き合うことで、自律的に群れが創発されると期待された。

## 4. 研究成果

### (1) 重力項による多群探索型最適化手法の実現

実装した重力項は、探索エージェント間の距離の2乗に反比例することとした。これにより、あるエージェントは近傍のエージェントと強く引き合い、一方で遠方のエージェントからの重力は無視できるほど小さくなる。この結果、エージェントの密度が高い領域において、群れが自律的に形成されることが確かめられた。また、各探索エージェントはPSOと同様に、自身が発見した最良な解の周囲を重点的に探索する。そのため、形成された各群れは近傍の最適解、もしくは優良な局所解へと到達した。よって、自発的な群れの創発による多群探索型最適化手法が実現された。

この手法は、群れの分割アルゴリズムを必要とせず、探索エージェントの更新ダイナミクスのみで実現される。そのため、従来の多群探索型最適化手法よりも簡素であり、必要な計算コストやパラメータ数も少ない。さらに、ベンチマーク問題で評価した結果、従来法よりも高い探索性能を有することが確認された。

### (2) 高い探索性能を実現するメカニズムの解明

次に、実装した重力項の影響を解析し、提案手法が高い性能を実現するメカニズムを明らかにした。提案法では、探索エージェントが凝集して群れを形成するだけでなく、時にその群れから離脱し、それまで未発見であった遠方の最適解、もしくは優良な局所解へと到達する。この離脱の振る舞いも、実装した重力項に起因することが明らかにされた。重力の強さは距離の2乗に反比例するように実装されていたため、エージェント間の距離が0に近づくほど、重力が無限大に近づく。これにより、十分に近接したエージェント同士は瞬間的に反発し、群れから離脱していた。解析により、この凝集と反発の境界がある1つのパラメータによって記述できることを明らかにした。

### (3) 重力項の適応的制御による探索性能の改善

上記の解析結果を応用して提案手法のさらなる性能向上を実現した。具体的には、探索の初期ではエージェントの反発の効果を強めて大域的探索性能を向上させ、反対に終盤では凝集の効果を強めて局所的探索性能を向上させた。結果として、提案手法の大幅な性能向上が実現された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. Katsutoshi Yoshida, Keishi Sato and Yoshikazu Yamanaka, Simple Degree-of-Freedom Modeling of the Random Fluctuation Arising in Human Bicycle Balance, Applied Sciences, Vol.9, Issue 10, p.2154, May 2019. (査読有)
2. Yoshikazu Yamanaka and Tadashi Tsubone, Tracking optima in dynamical problems by an optimizer based on piecewise-rotational chaos system, IEICE Trans. Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), vol.9, no.4, pp.497-516, Oct. 2018. (査読有)

〔学会発表〕(計 4 件)

1. Yoshikazu Yamanaka, Shigeki Matsumoto, and Katsutoshi Yoshida, Dynamic stability analysis on human controller model in cooperation with human operator, In Proc. the Twenty-Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2019, pp. 168-171, 2019.

- 2 . Keishi Sato, Yoshikazu Yamanaka, and Katsutoshi Yoshida, Identification of single degree-of-freedom fluctuation model of human bicycle balance, In Proc. the Twenty-Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2019, pp. 326-330, 2019.
- 3 . Yoshikazu Yamanaka and Katsutoshi Yoshida, Monte Carlo analysis of gathering and scattering behavior generated by gravitational particle swarm algorithm, In Proc. the 50th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Application, 2018. (in printing)
- 4 . 大沼研太, 山仲芳和, 高松秀樹, 吉田勝俊, ヒステリシス特性を有するアクセルペダルのモデル化に向けた検討, 電子情報通信学会技術研究報告(信学技報), vol.118, no.75, pp.97-101, 2018.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。