

令和元年6月19日現在

機関番号：32678

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14271

研究課題名(和文) 決定論的群知能最適化の開発とその実装

研究課題名(英文) Development of Deterministic Swarm Intelligence Optimization and Its Implementation

研究代表者

中野 秀洋 (Nakano, Hidehiro)

東京都市大学・知識工学部・教授

研究者番号：10386360

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、様々な工学システムが最適な状態で動作するための最適化手法について検討した。従来の手法と比較して、本手法は乱数を用いないことが特徴の一つである。このため、本手法は単純なプログラムによって動作させることができる。また、様々な機器に組み込むことも容易である。本研究では、本手法の動作について理論的な解析を行っており、良好な解が得られる条件についても明らかにしている。さらに本手法が動作するプロセッサ回路の設計についても検討している。今後はより大規模、複雑なシステムの最適化に応用することを考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の発見的最適化手法は、様々な最適化問題に対して汎用的に利用できる。一方、良好な解が得られる条件は、数値実験を繰り返すことによって経験的に求めることが多い。本研究で用いた最適化手法については、数学的な考察に基づく理論解析によって、この条件を明らかにしている。このことは、様々な手法の動作を理解することにつながるため、学術的意義は高いと考えている。また、本手法は実装も容易であり、様々な機器の最適化のために本手法を組み込むといった応用も期待でき、社会的意義も高いと考えている。

研究成果の概要(英文)：In this research, we considered optimization methods such that various engineering systems can operate at optimum states. As compared with the conventional methods, it is one of features that our method does not use random numbers. Thereby, our method can be executed by simple software program. Also, our method can be easily embedded on various devices. In this research, we have shown theoretical analysis results for the behavior of our method, and have clarified the conditions such that good solutions can be obtained. In addition, we have considered the design of processor circuits on which our method is executed. In future, we consider applications to optimization for larger and more complex systems.

研究分野：非線形回路工学

キーワード：群知能最適化 粒子群最適化 最適化問題 非線形力学系 非線形システム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

連続最適化問題の解法には勾配法を基にした局所探索法が主に用いられるが、局所探索法は、局所解に陥り易く、解探索に時間を要する場合も多い。特に目的関数が未知でかつ多峰性関数である場合、最適解を探索することは容易ではない。このような問題を解決するため近年、群知能最適化と呼ばれる最適化法が注目されている。群知能最適化では確率的要素が効果的に使用されることで最適解探索能力の向上が図られている。しかしながら、確率的要素が含まれているが故、同一の初期値を使用しても得られる解が異なり、確率的にしか良解が得られないため、実用的な最適化問題では適用が難しい場合がある。このため確率要素に依らない新たな解探索アルゴリズムの構築が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は確率的要素に頼らない決定論的群知能最適化手法を確立し、多峰性連続最適化問題、複数解問題、多目的関数最適化問題、組合せ最適化問題等に適用し、更に専用ハードウェアを開発することである。従来、群知能最適化は確率要素の性質に解探索性能が依存し、解は確率的にしか得られなかった。これを決定論的にすることで、解を保証した新たな探索手法を確立する。更にこの探索手法を電子回路で実装化し、汎用的で高速に解探索を行える装置の開発を行う。これをセンサーネットワーク、電源回路、適応フィルタ等の設計問題に適用し、従来よりも効率等が優れた装置の設計を行うことが目標である。

3. 研究の方法

確率的要素に依存しない決定論的群知能による最適解探索手法を確立することが本研究計画の第一の目的である。更にこの決定論的群知能を電子回路を用いて実装化し、最適化問題ソルバーの開発が第二の目標である。これまでに我々は群知能最適化法から確率的要素を排除した決定論的群知能最適化法の動作解析を行ってきた。この研究結果で得られた知見と、非線形回路工学の知識を基に確率要素に依らない群知能最適化法を基にした新たな最適解探索手法の確立を目指す。また研究代表者が有する組込み系の知識を活用し、決定論的群知能を用いた最適化問題ソルバーを開発する。そして実問題を用いて、その性能を評価する。

4. 研究成果

平成 28 年度

確率変数を有する既存の群知能最適化法と比較し、同等あるいはそれ以上の探索性能を示すことができる決定論的群知能最適化法を提案した。提案手法において、最適化問題の解を探索する各探索個体の各時刻における状態変数は、自身が持つ位置、速度、最良解などの情報に基づき、決定論的に与えられる。特に提案手法では、各探索個体の状態変数が、減衰振動と発散振動を交互に繰り返しながら変化する点が特徴的である。また、振動を切り替える条件も探索の状況に応じて動的に変化する。これにより、各探索個体は動作が決定論的でありながら、複雑な挙動を示すことができ、解空間を広域的に探索できる。様々なベンチマーク問題を対象とした数値実験を行い、提案手法が良好な性能を示すことを明らかにした。さらに、提案手法における各探索個体の収束性に関する理論解析を行い、安定して良解の探索が可能なパラメータ条件を明らかにした。また、決定論的群知能最適化法をハードウェア実装するための基礎として、既存の確率論的群知能最適化法に対するネットワーク化、および、PC クラスタへの実装と評価実験を行った。一般的な群知能最適化法では、多数の探索個体を用いて並列的に解の探索を行う。本研究では、各計算ノードに探索個体群を分散配置し、最良解の情報のみを通信する並列分散実装法を提案した。実験の結果、計算ノード数と実行速度はほぼ比例し、通信のボトルネックがほとんど生じないことを確認した。

平成 29 年度

(1) 多数の最適化すべき設計変数を有する高次元最適化問題に対する決定論的手法を提案した。従来研究では、探索空間を比較的小規模な部分探索空間に分割し、サブ集団に分割した個体群を用いてそれぞれの部分解を探索する手法が提案されている。本研究では、決定論的ルールに基づきサブ集団間の通信を実現する手法を提案した。提案手法はランダムな通信を行う従来手法と比較して、対象とする問題に応じて同等あるいは優れた性能を示すことを実験により明らかにした。また、乱数を用いないことによる実装の容易さ、および計算時間における利点も示した。

(2) 最適化の対象となる目的関数を複数持つ多目的最適化問題に対する決定論的手法を提案した。従来研究では、個々の目的関数を最適化するサブ集団と、多目的最適化を行うサブ集団を用いて探索する手法が提案されており、我々も同様の手法を過去に提案している。本研究では、前者のサブ集団間の各個体の交換を積極的に行う手法を提案した。この交換を行うことにより、多目的最適化の観点での優良解の探索を促進し、結果として従来手法よりも優れた性能を示す

ことを実験より明らかにした。

(3) 簡素な非線形写像に基づく最適化手法を提案した。従来の群知能最適化手法では多数の計算素子による群れを構成する必要がある、大量の計算資源を必要としていた。本研究ではこれまでの非線形理論に基づく解析の結果に基づき、解の探索に適した非線形写像を提案手法における計算素子として設計した。提案手法は、非常に少ない計算素子で構成できるとともに、従来の群知能最適化手法と比較して探索性能が優れていることを実験により示した。

平成 30 年度

決定論的群知能最適化手法の開発および実装を目的として、主に以下の 2 つについて、研究を進めた。(1) 発散と収束の 2 つの探索モードを有する最適化手法。(2) 簡素な非線形写像に基づく最適化手法。

(1) の手法については、これまでに様々なベンチマーク問題を対象とする数値実験を行い、その有効性を示している。本年度は、この手法が有効に働く理由を明らかにすべく、理論解析を試みた。ある問題空間に対して移動、拡大、縮小、回転などの変換を施した問題について、本手法は探索を繰り返すことにより性能が不変となることを理論的、実験的に示した。これにより、本手法は様々な問題に対して、汎用的に適用できることを明らかにした。これら成果は論文誌に投稿しており、現在は査読中である。

(2) の手法についても、基本的な探索性能と有効性をこれまでの研究により明らかにしている。本手法は大域的な探索と局所的な探索を非線形写像に基づく動作によって実現するものである。本年度は従来と同等な探索を実現可能な非線形写像の簡素化を試みた。様々なベンチマーク問題に適用した数値実験を行い、本手法の有効性を示した。本研究では手法の実装も目的としており、基本的な群知能最適化手法の実装は既に行っている。これまでの研究により、その足掛かりとなる成果を得ることができており、上記手法の実装も困難ではないと考えている。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- 1) Y.Hoshino, K.Jin'no; Learning Algorithm with Nonlinear Map Optimization for Neural Network, Journal of Signal Processing, vol.22, no.4, pp.153-156, 2018 (査読有) (DOI: 10.2299/jsp.22.153)
- 2) 佐々木智志, 中野秀洋, 宮内新, 田口亮; 区分線形系粒子群最適化法における解探索性能の解析, 進化計算学会論文誌, vol.8, no.1, pp.1-10, 2017. (査読有) (DOI: 10.11394/tjpnsec.8.1)
- 3) T.Shindo, J.Xiao, T.Kurihara, K.Jin'no; Analysis of the Dynamical Characteristics of the Firefly Algorithm, International Journal of Swarm Intelligence Research, vol.8, no.4, pp.18-33, 2017. (査読有) (DOI: 10.4018/IJSIR.2017100102)
- 4) T.Sasaki, H.Nakano, A.Miyauchi, A.Taguchi; Deterministic particle swarm optimizer with the convergence and divergence dynamics, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E100-A, no.5, pp.1244-1247, 2017. (査読有) (DOI: 10.1587/transfun.E100.A.1244)
- 5) T.Sasaki, H.Nakano, A.Miyauchi, A.Taguchi; Particle swarm optimizer networks with stochastic connection for improvement of diversity search ability to solve multimodal optimization problems, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E100-A, no.4, pp.996-1007, 2017. (査読有) (DOI: 10.1587/transfun.E100.A.996)

〔学会発表〕(計 24 件)

- 1) S.Sato, H.Nakano, A.Miyauchi; Particle Swarm Optimizer Networks with Switching Local and Global Network Topologies, NOLTA, 2018.
- 2) M.Omika, H.Nakano, A.Miyauchi; An Artificial Bee Colony Algorithm for Dynamic Optimization Problems, NOLTA, 2018.
- 3) Y.Hoshino, K.Jin'no; Learning Algorithm with Nonlinear Map Optimization for Neural Network, NCSP, 2018.
- 4) A.Yamasaki, K.Jin'no; Optimization of Switching Phase of PWM Inverter by DE, NCSP, 2018.
- 5) S.Ishikawa, K.Jin'no; On a Nonlinear Map Optimization, NCSP, 2018.
- 6) K.Jin'no; Nonlinear Map Optimization, WCCI (CEC), 2018.
- 7) K.Jin'no; Analysis of Dynamics of Nonlinear Map Optimization, ICAND, 2018.
- 8) T.Shindo, T.Hiraguri, K.Jin'no; Analysis of Particle Swarm Optimization with Individual Dropout, NOLTA, 2018.
- 9) K.Jin'no; On a Nonlinear Map Optimization, NOLTA, 2018.
- 10) K.Miyano, H.Nakano, A.Miyauchi; Multi-Objective Particle Swarm Optimizer Networks with Tree Topology, NOLTA, 2017.

- 11) R.Kikkawa, H.Nakano, A.Miyauchi; A Co-Evolutional Particle Swarm Optimizer with Dynamic Re-Grouping Schemes, NOLTA, 2017.
- 12) K.Kohinata, T.Shindo, K.Jin'no; Canonical Deterministic Particle Swarm Optimization with Rotation Angle Adjustment, NCSP, 2017.
- 13) Y.Hariya, K.Jin'no; A Deterministic Parameter Adaptation for Differential Evolution Algorithm, NCSP, 2017.
- 14) K.Jin'no, Y.Hariya, T.Shindo; A Study of PCMPSO, NOLTA, 2017.
- 15) T.Shindo, K.Jin'no; Study of SI algorithm that individual to drop out, NOLTA, 2017.
- 16) T.Sasaki, H.Nakano, A.Miyauchi, A.Taguchi; Piecewise-Linear Particle Swarm Optimizer Networks, NOLTA, 2016.
- 17) T.Sasaki, H.Nakano, A.Miyauchi, A.Taguchi; Analysis for basic dynamics and performances of piecewise particle swarm optimizers, SMC, 2016.
- 18) T.Sasaki, H.Nakano, A.Miyauchi, A.Taguchi; Solving Performances of Piecewise-Linear Particle Swarm Optimizer with Chaotic Dynamics, SCIS & ISIS, 2016.
- 19) Y.Hariya, T.Shindo, K.Jin'no; An Improved Rotationally Invariant PSO: A Modified Standard PSO-2011, WCCI (CEC), 2016.
- 20) Y.Hariya, T.Shindo, K.Jin'no; A Novel Particle Swarm Optimization for Non-Separable and Ill-Conditioned Problems, SMC, 2016.
- 21) T.Shindo, K.Jin'no; Particle Swarm Optimization for Matrix Converter of Switching Pattern Design, APCCAS, 2016.
- 22) K.Kohinata, T.Kurihara, T.Shindo and K.Jin'no; Multi-agent search method with rotation angle dependent on the best position, NOLTA, 2016.
- 23) T.Shindo and K.Jin'no; A study of the solution search performance improvement of firefly algorithm using evolutionary strategy operation, NOLTA, 2016.
- 24) Y.Hariya, T.Kurihara, T.Shindo and K.Jin'no; A study on invariance of differential evolution for ill-conditioning problems, NOLTA, 2016.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：神野 健哉

ローマ字氏名：Kenya Jin'no

所属研究機関名：東京都市大学

部局名：知識工学部 情報通信工学科

職名：教授

研究者番号（8桁）：50286762

(2)研究協力者

研究協力者氏名：佐々木 智志

ローマ字氏名：Tomoyuki Sasaki

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。