

平成30年 5月24日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06077

研究課題名(和文)力学系理論に基づく正準型粒子群最適化の開発

研究課題名(英文) Development of Canonical Particle Swarm Optimization based on Dynamical System Theory

研究代表者

神野 健哉 (Jin'no, Kenya)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：50286762

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：最適化を行う目的関数の変数依存性、悪スケール性に起因した解探索性能の不変性の解析結果に基づき不変性を有した非線形写像最適化法を開発した。このアルゴリズムは非線形写像を利用することで決定論システムでありながら局所探索能力が向上し、不変性を有している。予備試験では非線形写像最適化法はこれまでに公表されている粒子群最適化手法よりも極めて高い探索性能を有していることを数値実験で確認した。また機械学習に用いると効率よい学習結果が得られた。電力変換システムのPWMインバータの最適化に適し高い変換効率のインバータを設計した。

研究成果の概要(英文)：We developed a nonlinear mapping optimization method with invariance based on analysis result of invariance of solution search performance due to variable dependency and ill-scale. Although the proposed algorithm is a deterministic system, local search capability improves and it has invariance. Based on the preliminary simulation results, we confirmed that the nonlinear mapping optimization method has higher search performance than the particle swarm optimization. When the proposed algorithm applies to machine learning, we confirmed that efficient learning result is obtained. The PWM inverter that is designed by using the proposed optimization method exhibits high power conversion efficiency.

研究分野：非線形工学

キーワード：群知能 決定論システム 非線形力学系 連続値最適化 機械学習 PWMインバータ 不変性 悪スケール性

1. 研究開始当初の背景

特定の集合上において関数が最大値、もしくは最小値となる状態を解析する最適化問題は、工学・理学・医学・農学・経済学等様々な分野において現れる基礎的かつ非常に重要な問題である。このような最適化問題を解くことはシステムの効率化・省エネ化・低コスト化に直結し、更には人間の意思決定においても非常に重要な役割を果たす。システムの最適なパラメータを精度良く、効率的かつ高速に求めることの重要性は日増しに高まっている。

最適化問題の解法は、勾配法を基にした局所探索法が主に用いられている。しかしながら局所探索法は、局所解に陥り易く、解探索に時間を要する場合も多い。このような問題の解決のため、短時間で実用的に十分な近似解を探索することを目的とした発見的探索アルゴリズムである、メタヒューリスティックスに関する研究が、精力的に行われている。局所探索法に比べ、解探索性能の保証が無い反面、大域探索が可能であり、結果として局所解に陥ることが少なく、良好な最適性を有した解が探索できる。このため、数多くのメタヒューリスティックスが提案されている。

このようなメタヒューリスティックスの中に、J. Kennedy らによって提案された粒子群最適化法(以下 PSO と略す)がある。PSO は実装が容易で、性能が高く、探索時間が比較的短い。PSO は多次元解空間内を多数の個体が、各個体の座標に対応した評価関数値を計算し、優良解情報を用いて解探索を行う。このような PSO の動特性を解析するため、我々は確率要素を排した決定論的 PSO を用いて動作の理論解析を行い、性能が向上するのは固有値が複素数のときで相空間内において回転運動を呈する場合であることを明らかにした。更に系を記述する方程式を正準形に変換した正準型決定論的 PSO(以下 CD-PSO と略す)を提案し、減衰定数と回転

角が果たす役割を明確にしている。

探索点の重複を避けるため、回転角を黄金角にした場合の解探索性能の解析、最良解情報が伝達されるネットワークポロジと解探索性能との関係の解析、更にネットワークポロジを時変にした場合など、精力的に解析を行ってきた。この CD-PSO の解析結果から、PSO は本質的に優良解情報の更新と共に探索領域が縮小することを理論的に明らかにした。一方、確率要素を含んだ通常の PSO に対して、確率分布がヘビータールを有した Levy 分布を用いることで、これまでに公表されている PSO に比べて、解探索性能が飛躍的に向上することを最近数値シミュレーションで見出した。

以上のような背景を基に本研究課題では CD-PSO に確率的要素を導入し、確率分布が与える影響を力学系理論で解析し、極めて優れた解探索性能を有する正準型 PSO(以下 CPSO)の構築を目指した。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は我々が提案した決定論的正準形粒子群最適化法の理論解析結果に基づき、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対して優れた解探索性能を有する確率的要素を含んだ正準形粒子群最適化法(Canonical Particle Swarm Optimization、以下 CPSO と略す)を開発することである。これまでに我々が明らかにした決定論的 PSO の理論解析結果と、確率的要素の確率分布による解探索性能との関係を解明し、経験的に行われているパラメータ設定法の理論解析を行う。さらに CPSO を電源回路の設計問題、適応フィルタの設計問題などの実問題に適用し、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

優れた解探索性能を有する CPSO の開発のため、確率密度関数の分布と粒子の動作の関係を理論的に明らかにし、確率要素に起因した性能改善の本質的な動作を明らかにする。各粒子間のネットワークトポロジーと解探索性能の関係についても解析を行う。更に申請者が有する結合発振器に関する知見も基に CPSO の解析を進める。また最良解情報の更新に伴い、解探索範囲が縮小することに対して、確率要素がこれをおある程度解決することを明らかにしており、適切な解探索範囲の制御法を検討している。同様に、その上で、多峰性関数問題、複数解問題、多目的関数問題など、問題の特性に合わせた性能についても検討を行う。

4 . 研究成果

粒子群最適化法 (PSO) を中心に、差分進化法 (DE) ホタルアルゴリズム (FA) などの群知能最適化法に関して最適化を行う目的関数の変数依存性、悪スケール性に起因した解探索性能の不変性を各アルゴリズムに関して解析を行った。その結果、これらの不変性に対してロバストなアルゴリズムに必要な要件を明らかにした。この解析結果に基づき、不変性を有した非線形写像最適化法を開発した。このアルゴリズムは非線形写像を利用することで決定論システムでありながら局所探索能力が向上し、かつ不変性を有している。予備試験では非線形写像最適化法はこれまでに公表されている粒子群最適化手法よりも極めて高い探索性能を有していることを数値実験で確認した。また機械学習に用いると効率よい学習結果が得られた。電力変換システムの PWM インバータの最適化に適用し高い変換効率のインバータを設計した。

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)

〔雑誌論文〕(計 8 件)

1)
Yuuki Morita, Takayuki Kimura, "An improved routing algorithm using chaotic neurodynamics for packet routing problems," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEECE, vol. 9, no. 1, pp. 95-106, 2018/01

DOI: <https://doi.org/10.1587/nolta.9.95>

2)
Takuya Shindo, Jianze Xiao, Takuya Kurihara, Kenya Jin'no, "Analysis of the Dynamical Characteristics of the Firefly Algorithm," *International Journal of Swarm Intelligence Research (IJSIR)*, vol. 8, issue 4, pp. 18-33, 2017/07

DOI: <https://doi.org/10.4018/IJSIR.2017100102>

3)
Masato Mabe, Yuuki Morita, Misa Fujita, Takayuki Kimura, "An Immunity Placement Method for Suppressing Spread of Viruses," *Journal of Signal Processing*, vol. 21, no. 4, pp. 159-162, 2017/07

DOI: <https://doi.org/10.2299/jsp.21.159>

4)
Takafumi Matsuura, Takayuki Kimura, "Covering Salesman Problem with Nodes and Segments," *American Journal of Operations Research*, vol. 7, no. 4, pp. 249-262, 2017/07

DOI: <https://doi.org/10.4236/ajor.2017.74017>

5)
Misa Fujita, Takayuki Kimura, Kenya Jin'no, "An Effective Construction Algorithm for the Steiner Tree Problem Based on Edge Betweenness," *Journal of Signal Processing*, vol. 20, no. 4, pp. 145-148, 2016/07

DOI: <https://doi.org/10.2299/jsp.20.145>

6)
Takayuki Kimura, Tohru Takamizawa, Takafumi Matsuura, "Neural-Based Routing Method for Alleviating Congestion in Complex Networks," *American Journal of Operations Research*, vol. 6, no. 4, pp. 343-354, 2016/07

DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ajor.2016.64032>

7)
Kazuya Morita, Takuya Shindo, Takuya Kurihara, Kenya Jin'no, "Optimization of Switching Phase of a Single-Phase PWM dc-ac Inverter," *Electrical Engineering in Japan*, Vol. 195, Issue 4, pp. 16-25, 2016/06
DOI: <https://doi.org/10.1002/eej.22827>

8)
Kazuya Morita, Takuya Kurihara, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Harmonic Elimination of Three phase PWM DC-AC Inverter using Particle Swarm Optimization," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE (NOLTA), Vol. E6-N, No. 4, pp. 512-519, 2015/10
DOI: <https://doi.org/10.1587/nolta.6.512>

[学会発表](計32件)

1)
Honami Tsushima, Takafumi Matsuura, Kenya Jin'no, "Local Search Method for Multiple Vehicle Bike Sharing System Routing Problem," RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018 (NCSP2018), pp. 387-390, 2018/03

2)
Seinosuke Ishikawa, Kenya Jin'no, "On a Nonlinear Map Optimization," RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018 (NCSP2018), pp. 379-382, 2018/03

3)
Asuna Yamasaki, Kenya Jin'no, "Optimization of Switching Phase of PWM Inverter by DE," RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018 (NCSP2018), pp. 243-246, 2018/03

4)
Yuki Hoshino, Kenya Jin'no, "Learning Algorithm with Nonlinear Map Optimization for Neural Network," RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018 (NCSP2018), pp. 223-226, 2018/03

5)
Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Study of SI algorithm that individual to drop out," 2017 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications

(NOLTA2017), pp. 510-513, 2017/12

6)
Kenya Jin'no, Yosuke Hariya, Takuya Shindo, "A Study of PCMPSO," 2017 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2017), pp. 506-509, 2017/12

7)
Yuuki Morita, Takayuki Kimura, "Performance Analysis of Routing Methods Using Complex Network Theory," International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2017), pp. 716-719, 2017/12

8)
Hiroki Sawade, Takayuki Kimura, "An efficient packet routing method adapted to various packet generation probabilities," The 6th Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences (KJCCS'18), 2018/01

9)
Kenya Jin'no, Yosuke Hariya, Takuya Shindo, "A Study of PCMPSO," 2017 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2017), pp. 506-509, 2017/12

10)
Yuki Hasegawa, Takayuki Kimura, Kenya Jin'no, "An improved Multi objective particle swarm optimization for high dimensional problems," Proc. 2017 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2017), pp.114-116, 2017/02

11)
Hiroki Sawade, Misa Fujita, Takayuki Kimura, Kenya Jin'no, "An Efficient Routing Method using Adaptive Damping Distance Information," Proc. 2017 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2017), pp.157-160, 2017/02

12)
Yuuki Morita, Takayuki Kimura, Kenya Jin'no, "A Study on a Routing Method Using Chaotic Neurodynamics and Degree Information," Proc. 2017 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2017), pp. 218-220,

2017/02

13)

Masato Mabe, Yuuki Morita, Misa Fujita, Takayuki Kimura, "An Immunity Placement Method for Suppressing Spread of Viruses," Proc. 2017 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP2017), pp. 401-404, 2017/02

14)

Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Study of SI algorithm that individual to drop out," 2017 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2017), pp. 510-513 2017/12

15)

Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "The Application of the ES Operation in Firefly Algorithm," 2016 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2016), pp. 463-466, 2016/11

16)

Kenta Kohinata, Takuya Kurihara, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Multi-point search algorithm with rotation angle dependent on the best position," 2016 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2016), pp. 459-462, 2016/11

17)

Yosuke Hariya, Takuya Kurihara, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "A study on invariance of differential evolution for ill-conditioning problems," 2016 International Conference on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2016), pp. 467-470 2016/11

18)

Yosuke Hariya, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "A Novel Particle Swarm Optimization for Non-Separable and Ill-Conditioned Problems," 2016 IEEE International Symposium on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2016), pp. 2110-2115, 2016/10

19)

Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Particle Swarm Optimization for Matrix Converter of Switching Pattern Design," 2016 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS2016), pp. 309-312, 2016/10

20)

Yosuke Hariya, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "An Improved Rotationally Invariant PSO: A Modified Standard PSO-2011," 2016 IEEE World Congress on Computational Intelligence (IEEE WCCI 2016 (CEC2016)), pp. 1839-1844, 2016/07

21)

Misa Fujita, Takayuki Kimura, Kenya Jin'no, "An Improved KMB Algorithm Using Edge Betweenness for Steiner Tree Problems," The 4th Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences (KJCCS'15), 2016/01

22)

Tohru Takamizawa, Takayuki Kimura, Kenya Jin'no, "A Packet Congestion Avoidance Method using a Neural Network with Waiting Transmitted Information," The 4th Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences (KJCCS'15), 2016/01

23)

Yuki Hasegawa, Takayuki Kimura, Kenya Jin'no, "Improved Multi-objective PSO with Dual Processing Method using Crowding Distance Assignment," The 4th Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences (KJCCS'15), 2016/01

24)

Syuehei Yoneda, Takuya Kurihara, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Design Variables Reduction Method of Matrix Converter Using the Symmetry," 2015 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN2015), pp. 42-45, 2015/12.

25)

Janze Xiao, Takuya Shindo, Takuya Kurihara, Kenya Jin'no, "Analysis of a Deterministic Firefly Algorithm", 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2015), pp. 614-617, 2015/12

26)

Yosuke Hariya, Takuya Kurihara, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "A study of robustness of PSO for non-separable evaluation functions," 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2015), pp. 724-727, 2015/12

27)
Kenta Kohinata, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Solution search performance of a multi-agent solution solving method," 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2015), pp. 728-731, 2015/12

28)
Tokuma Sato, Takayuki Kimura, Kenya Jin'no, "Efficient routing method on the mobile communication networks," Proc. 2015 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2015), pp. 349-352, 2015/12

29)
Mamoru Ugajin, Takuya Shindo, "Image-Rejection-Performance Assessment of Double-Conversion Wireless Receiver with 3-Phase Complex Filter Using Montecarlo Simulation," ISCIT2015, pp. 299-302, 2015/10.

30)
Kenta Kohinata, Takuya Kurihara, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "A Novel Deterministic Multi-agent Solving Method," 2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2015), pp. 1758-1763, 2015/10.

31)
Takuya Shindo, Jianze Xiao, Takuya Kurihara, Kazuya Morita, Kenya Jin'no, "Analysis of the dynamic characteristics of firefly algorithm," 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2015), pp. 2647-2652, 2015/05.

32)
Yosuke Hariya, Takuya Kurihara, Takuya Shindo, Kenya Jin'no, "Lévy flight PSO," 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2015), pp. 2678-2684, 2015/05.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神野 健哉 (Jin'no, Kenya)
日本工業大学・工学部・教授
研究者番号：50286762

(2) 研究分担者

木村 貴幸 (Kimura, Takayuki)
日本工業大学・工学部・准教授
研究者番号：80579607

進藤 卓也 (Shindo, Takuya)
日本工業大学・工学部・助教
研究者番号：90749110

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

針谷 維佑 (Hariya, Yosuke)