

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月21日現在

機関番号：13201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K12751

研究課題名(和文) Improving evolutionary algorithms from population structures and interaction networks

研究課題名(英文) Improving evolutionary algorithms from population structures and interaction networks

研究代表者

高尚策(Gao, Shangce)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・准教授

研究者番号：60734572

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、進化計算アルゴリズム(EA)の性能に及ぼす集団構造の影響を体系的に研究しました。集団によって構築された情報相互作用ネットワーク(PIN)の一般的な特徴の抽出を研究し、有効な探索アルゴリズムの設計を分析しました。PINを特徴付けるためにノードの度数分布を導入しました。更に、EAの解の精度、収束および集団多様性の観点から探索性能に影響を与える集団構造の特性の解析を行い、差分進化アルゴリズムなどの多数のアルゴリズムを改良しました。また、改良したアルゴリズムの有効性を多値論理ネットワークの学習、樹状突起ニューロンの学習、タンパク質構造の予測などの応用を通して実証しました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果について、学術的にみると、進化計算の探索性能と集団構造との間のいくつかの一般的な関係を引き出すことができ、それによってより性能の良い進化計算の設計や進化計算の改善に対するいくつかの潜在的なガイドラインを与えることができると予想されます。特に、異種集団構造に基づいて構築された進化計算は、より効果的であると期待できます。また、社会的にみると、進化計算のコミュニティ内で大きな影響を及ぼし、さらに多目的または動的な環境下で実世界の問題を解決するためのより強力な計算手法を提供できます。

研究成果の概要(英文)：In this research, we systematically study the influence of the population structure for the evolutionary algorithms (EA). We construct a novel information interaction network of the population (PIN) to extract the characteristics of the search dynamics in EA, and then analyze the design of effective search algorithm from the perspective of structure. The distribution of node degree in PIN is introduced, based on which several algorithms (e.g., differential evolution) are improved in terms of solution accuracy and population diversity. Furthermore, the performance of improved algorithms are verified by applying them on various problems, such as multivalued network learning, dendritic neuron learning, protein structure prediction, and so on.

研究分野：計算知能

キーワード：進化計算 アルゴリズム 最適化

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

1. 研究開始当初の背景

進化計算 (EA) は、最適化、パターン認識、予測などから生じるさまざまな実用上の問題を解決する能力があるため、非常に注目を集めています。過去 20 年間にわたり、EA の研究コミュニティでは 2 つの主な側面から急速な成果が上げられてきました。1 つは、より新しい進化型アルゴリズムを提案すること、もう 1 つは既存の EA のパフォーマンスを向上させることです。アルゴリズムアーキテクチャー、バリエーション演算子、選択戦略、または EA の他の技法のハイブリダイゼーションから、多くの改善が行われています。

EA は多数の応用において非常に大きな成功を収めていますが、そのパフォーマンスの大部分は経験的に評価されているため、理論分析が大幅に欠落しています。EA の厳密な理論分析は困難ですが、EA の理解・設計に役立ちます。現在、スキーマ理論、テイクオーバー時間分析、統計物理分析などを含む、EA を理論的に分析するための先駆的な研究成果が提案されており、収束証明、性能測定、探査と収支のバランスを含む EA の基本的な問題に対処できます。しかし、これらの方法はそれらのすべてではなく、特定の EA のために提案されているので、適用性は限られています。したがって、EA の研究分野において重要な課題は、すべての EA を扱い、非常に複雑な問題、特に多目的で動的な問題を解決する際のパフォーマンスをさらに向上させることができる一般的な分析方法論を提案することです。

2. 研究の目的

本研究では、すべての EA で共通の構成要素である集団に着目します。集団構造と進化のダイナミクスを体系的に調査することで、集団によって構築された情報相互作用ネットワークの一般的な特徴の抽出、および集団構造の観点からの効果的な最適化アルゴリズムの設計またはその有効性の実証を目的とします。この提案の科学的な特徴は、EA の分析ツールとしての複雑なネットワークの使用です。複雑なネットワークにおける強固な統計的推論の利点を利用すると、EA の分析と改善はより合理的になります。EA の探索性能と集団構造との間のいくつかの一般的な関係を引き出すことができ、それによってより性能の良い EA の設計や EA の改善に対するいくつかの潜在的なガイドラインを与えることができると予想されます。特に、異種集団構造に基づいて構築された EA は、より効果的であると期待できます。

3. 研究の方法

EA と複雑なネットワーク (CN) の間の関係を確立するために、集団相互作用ネットワーク (PIN) を提案します。集団動態分析と PIN による統計的信頼度検定を通じて、CN の構造特性 (PIN のノードの度数分布など) を利用することで、EA の問題 (集団多様性など) の調査が可能で、また、理論解析と応用検証も実施します。

4. 研究成果

(1) EA の PIN の提案

EA を分析するために CN を使用することの主な問題は、表現の欠如です。この問題に対処するために、本研究では、図 1 (a) に示すような PIN を提案し、ここで各個体は頂点として表され、各エッジは個体間の情報相互作用を表します。PIN は、親の情報がどのように再結合して新しい個体を形成するかに関する情報だけでなく、個体の変動行動も含む、全体的な進化的情報の流れを描くことができます。図 1 (b) は、変異演算子に基づいて PIN を構成する方法を示します。例えば、単点交叉オペレータが個体 A および B に実行され、単一の子孫 A' が生成されると、進化的関係を有する個体の間に接続を確立します。このような構築方法を使用して、図 1 (c) に示すようにベンチマークの関数の PIN を生成しました。

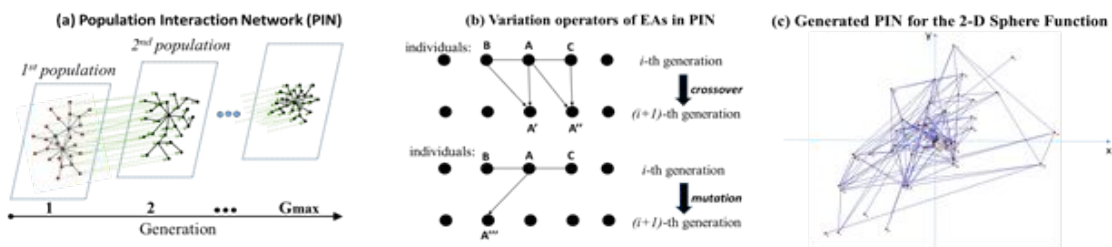


図 1 : 集団相互作用ネットワーク (PIN) の表現と構築方法

(2) PIN の EA の探索ダイナミクスと集団構造の関係の解明

集団構造が EA の探索パフォーマンスに大きな影響を与えることは広く受け入れられていますが、どのような構造が EA の設計に最適な選択であるか、およびそのような構造情報をいつどのように利用すべきかは不明です。これらの問題に関して、本研究では、EA のサーチダイナミクスと PIN における集団構造の関係の解明しました。

EA の一種である差分進化アルゴリズム (DE) に対して、PIN の実験実証を行いました (図 2

(a) ）。その結果、DE の探索が収束しているときは PIN のノードの度数がポアソン分布に従い、探索が局所的な最適状態に落ちたときは指数分布または正規分布に従うことを示しました (図 2 (b)) ）。また、その統計的信頼度は、最尤推定、適合度の p 値、および赤池の情報量基準を含む 3 つの手法を使用して実証されました。同様に、EA の一種であるブレインストームの最適化アルゴリズム (BSO) に対して、PIN の実験実証も行いました。その結果、BSO の探索が収束しているときは PIN のノードの度数が冪乗則に従うことを証明しました (図 2 (c)) 。

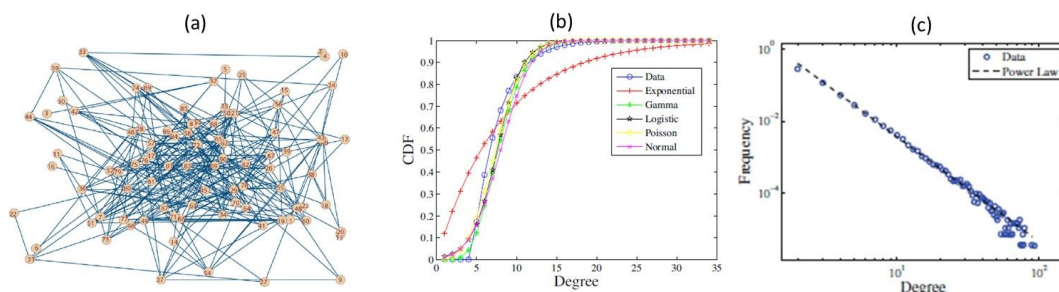


図 2 : (a) DE の PIN 構造 ; (b) DE の PIN のノードのポアソン分布特性 ; (c) BSO の PIN のノードの冪乗則の分布特性

(3) 異種集団構造に基づく新しい EA の設計

最後に、本研究では、異種集団構造に基づいて様々な EA (差分進化計算アルゴリズム、重力探索アルゴリズム、粒子群探索最適化、ブレインストームの最適化アルゴリズム、進化戦略など) の提案及び改良を行いました。更に、本研究では、これらの改良した EA を用いて、多値論理ネットワークの学習 (図 3 (a))、樹状突起ニューロンの学習 (図 3 (b))、タンパク質構造の予測 (図 3 (c)) などに応用し、その有効性を実証しました。

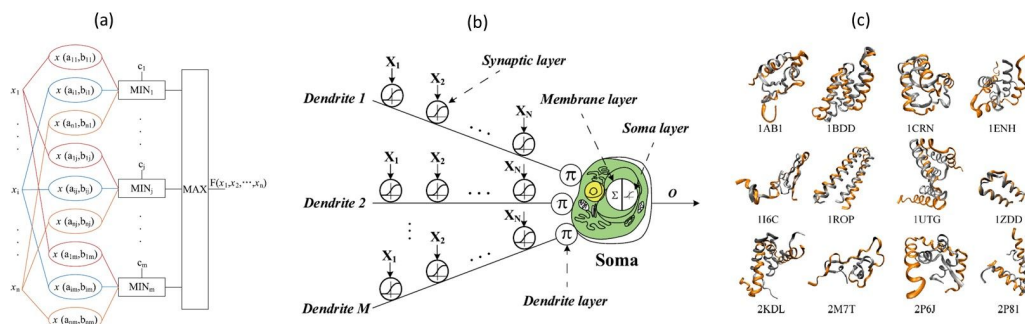


図 3 : (a) 多値論理ネットワークの構造 ; (b) 樹状突起ニューロンの構造 ; (c) タンパク質構造の予測の結果

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 13 件)

- (1) Jian Sun, Shangce Gao, Hongwei Dai, JiuJun Cheng, MengChu Zhou, and Jiahai Wang, "Bi-objective Elite Differential Evolution for Multivalued Logic Networks," IEEE Transactions on Cybernetics, 2019. DOI: 10.1109/TCYB.2018.2868493 査読有
- (2) Yirui Wang, Yang Yu, Shangce Gao, Haiyu Pan, and Gang Yang, "A hierarchical gravitational search algorithm with an effective gravitational constant," Swarm and Evolutionary Computation, vol.46, pp.118-139, May 2019. DOI: 10.1016/j.swevo.2019.02.004 査読有
- (3) Yang Yu, Shangce Gao, Yirui Wang, and Yuki Todo, "Global Optimum-based Search Differential Evolution," IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, vol.6, no.2, pp.379-394, March 2019. DOI: 10.1109/JAS.2019.1911378 査読有
- (4) Shangce Gao, Mengchu Zhou, Yirui Wang, JiuJun Cheng, Hanaki Yachi, and Jiahai Wang, "Dendritic neuron model with effective learning algorithms for classification, approximation, and prediction," IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol.30, no.2, pp. 601-614, 2019. DOI: 10.1109/TNNLS.2018.2846646 査読有
- (5) Shangce Gao, Shuangbao Song, JiuJun Cheng, Yuki Todo, and MengChu Zhou, "Incorporation of Solvent Effect into Multi-objective Evolutionary Algorithm for Improved Protein Structure Prediction," IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, vol. 15, no.4, pp.1365-1378, July-Aug. 2018. DOI: 10.1109/TCBB.2017.2705094 査読有

- (6) Jiujun Cheng, Pengyu Qin, Mengchu Zhou, Shangce Gao, Zhenhua Huang, and Cong Liu, "A Novel Method for Detecting New Overlapping Community in Complex Evolving Networks," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2018. DOI: 10.1109/TSMC.2017.2779138 查読有
- (7) Yang Yu, Shangce Gao, Shi Cheng, Yirui Wang, Shuangyu Song, and Fenggang Yuan, "CBSO: A Memetic Brain Storm Optimization with Chaotic Local Search," Memetic Computing, vol.10, no.4, pp.353-367, December 2018. DOI: 10.1007/s12293-017-0247-0 查読有
- (8) Yirui Wang, Shangce Gao, Yang Yu, and Zhe Xu, "The discovery of population interaction with a power law distribution in brain storm optimization," Memetic Computing, vol. 11, pp. 65-87, 2019. DOI: 10.1007/s12293-017-0248-z 查読有
- (9) Shuangbao Song, Shangce Gao, Xingqian Cheng, Dongbao Jia, Xiaoxiao Qian, and Yuki Todo, "AIMOES: Archive Information Assisted Multi-objective Evolutionary Strategy for Ab Initio Protein Structure Prediction," Knowledge-Based Systems, vol. 146, pp.58-72, April 2018. DOI: 10.1016/j.knosys.2018.01.028 查読有
- (10) Jiujun Cheng, Hao Mi, Zhenhua Huang, Shangce Gao, Di Zang, and Cong Liu, "Connectivity Modeling and Analysis for Internet of Vehicles in Urban Road Scene," IEEE Access, vol.6, pp.2690-2702, Feb. 2018. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2784845 查読有
- (11) Yajiao Tang, Junkai Ji, Shangce Gao, Hongwei Dai, Yang Yu, and Yuki Todo, "A pruning neural network model for credit classification analysis," Computational Intelligence and Neuroscience, vol.2018, Article ID 9390410, 22 pages, Feb. 2018. DOI: 10.1155/2018/9390410 查読有
- (12) Junkai Ji, Shangce Gao, Shuaiqun Wang, Yajiao Tang, Hang Yu, and Yuki Todo, "Self-adaptive Gravitational Search Algorithm with A Modified Chaotic Local Search," IEEE Access, vol. 5, pp. 17881-17895, September 2017. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2748957 查読有
- (13) Shangce Gao, Yirui Wang, Jiahai Wang, Jiujun Cheng, "Understanding Differential Evolution: A Poisson Law Derived from Population Interaction Network," Journal of Computational Science, vol.21, pp.140-149, July 2017. DOI: 10.1016/j.jocs.2017.06.007 查読有

〔学会発表〕(計 12 件)

- (1) Zhe Xu, Yusuke Terada, Dongbao Jia, Zonghui Cai, and Shangce Gao, "Recognition Effects of Deep Convolutional Neural Network on Smudged Handwritten Digits," 5th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE 2018), Zhengzhou, Henan, China, July 20-22, pp.412-416, 2018. 查読有
- (2) Shi Wang, Zonghui Cai, Yang Yu, Zhenyu Lei, and Shangce Gao, "Using Grey Wolf Hunting Mechanism to Improve Brain Storm Optimization," 5th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE 2018), Zhengzhou, Henan, China, July 20-22, pp.602-606, 2018. 查読有
- (3) Shi Wang, Daiki Sugiyama, Jian Sun, Lin Yang, and Shangce Gao, "Dendritic Neuron Model Trained by Biogeography-based Optimization for Crude Oil Price Forecasting," 2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC 2018), Zhejiang University, Hangzhou, China, 25-26 August, pp.36-40, 2018. 查読有
- (4) Dongbao Jia, Yining Tong, Yang Yu, Zonghui Cai, and Shangce Gao, "A Novel Backtracking Search with Grey Wolf Algorithm for Optimization," 2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC 2018), Zhejiang University, Hangzhou, China, 25-26 August, pp.73-76, 2018. 查読有
- (5) Zhe Xu, Zhenyu Lei, Lin Yang, Xiaosi Li, and Shangce Gao, "Negative Correlation Learning Enhanced Search Behavior in Backtracking Search Optimization," 2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC 2018), Zhejiang University, Hangzhou, China, 25-26 August, pp.310-314, 2018. 查読有
- (6) Zhe Xu, Yang Yu, Hanaki Yachi, Junkai Ji, Yuki Todo, and Shangce Gao, "A Novel Memetic Whale Optimization Algorithm for Optimization," 9th International Conference on Swarm Intelligence (ICSI-2018), Shanghai, China, June 17-22, LNCS 10941, pp. 384-396, 2018. 查読有
- (7) Sheng Li, Fenggang Yuan, Yang Yu, Junkai Ji, Yuki Todo, and Shangce Gao, "Galactic Gravitational Search Algorithm for Numerical Optimization," 9th International Conference on Swarm Intelligence (ICSI-2018), Shanghai, China, June 17-22, LNCS 10941, pp. 397-409, 2018. 查読有
- (8) Shi Wang, Shuangyu Song, Yang Yu, Zhe Xu, Hanaki Yachi, and Shangce Gao, "Multiple Chaotic Cuckoo Search Algorithm," 8th International Conference on Swarm Intelligence (ICSI-2017), Fukuoka, Japan, July 27-August 01, Y. Tan et al. (Eds.): ICSI 2017, Part

I, LNCS 10385, pp. 531-542, 2017. 査読有

(9) Hang Yu, Huisheng Zhu, Huiqin Chen, Dongbao Jia, Yang Yu, and Shangce Gao, “Gravitational Search Algorithm Combined with Modified Differential Evolution Learning for Planarization in Graph Drawing,” IEEE 2017 International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC-2017), pp.1-6, Dec. 15-17, Nanjing, China, 2017. 査読有

(10) Hang Yu, Xiaoxiao Qian, Yang Yu, Jiujun Cheng, Ying Yu and Shangce Gao, “A Novel Mutual Information based Ant Colony Classifier,” IEEE 2017 International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC-2017), pp.61-65, Dec. 15-17, Nanjing, China, 2017. 査読有

(11) Zhenyu Song, Yajiao Tang, Xingqian Chen, Shuangbao Song, Shuangyu Song, and Shangce Gao, “A Preference-based Multi-objective Evolutionary Strategy for Ab Initio Prediction of Proteins,” IEEE 2017 International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC-2017), pp.7-12, Dec. 15-17, Nanjing, China, 2017. 査読有

(12) Yang Yu, Lei Wu, Hang Yu, Sheng Li, Shi Wang and Shangce Gao, “Brain Storm Optimization with Adaptive Search Radius for Optimization,” IEEE 2017 International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC-2017), pp.394-398, Dec. 15-17, Nanjing, China, 2017. 査読有

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。