

令和元年6月17日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00340

研究課題名（和文）代数幾何学的手法を用いた探索個体群の収束点推定による進化計算の高度化

研究課題名（英文）Acceleration of Evolutionary Computation using an Convergence Point Estimated by Geometrical Method

研究代表者

高木 英行 (Takagi, Hideyuki)

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：50274543

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：進化計算の多点探索点の移動方向から収束点を数理的に推定する手法を2014年に発表した。本研究はこの手法の推定精度を向上させ多くの進化計算適用分野に適用できるようにすることを目的に、以下の項目を実施した。(1)この手法の推定収束点精度を向上させる仕組みを考案し、(2)一般的な多峰問題にも適用できるよう最適化問題の局所最適解領域毎に分割する手法を開発し、(3)推定収束点を進化計算に組み込むことで進化計算の探索を高速化できることを性質の異なる多数のベンチマーク関数で評価し、(4)進化計算応用であるニッチ手法（複数の局所最適解探索）、多目的最適化、対話型進化計算での推定収束点導入の効果を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

進化計算の収束点を事前に推定できる手法は進化計算を原理的に高速化できる可能性を持っている。しかし実際の進化計算の問題に利用するためには、多峰性問題、多目的最適化問題、ニッチ問題、対話型進化計算など多くの進化計算の分野で利用できるようにする必要がある。本研究はこの原理的可能性を実際にこれらの幅広い応用分野に適用できるようにしたという意味で学術的意義がある。

進化計算は産業応用（新幹線、ジェット機、自動車、航空宇宙の各種設計など）も多いが、一つの探索解を評価するコストが多くなる実問題もあり、いかに進化計算の解探索を高速化するが実用的な課題である。本研究成果はこの社会的要請に直接応えるものである。

研究成果の概要（英文）：We proposed a mathematical estimation method of a convergence point of evolutionary computation (EC) in 2014. This research follows the proposal and aims to extend its capabilities and applicability. We conducted the below points: we (1) devised to increase the estimation accuracy of a convergence point, (2) developed a method for dividing local optima areas to apply the estimation method to each area by each, (3) evaluated how the estimated convergence point accelerates EC using many benchmark functions with different characteristics, and (4) evaluated its performance when it is applied to extended EC applications, i.e. niche EC, evolutionary multi-objective optimization, and interactive EC.

研究分野：知能情報

キーワード：進化計算 アルゴリズム 高速化 数理的手法 推定収束点

1. 研究開始当初の背景

進化計算は、新幹線、航空宇宙、自動車の設計など実応用が広がっている。それにともない設計変数の増大、強い制約、複雑度増大による計算コストの増加などがあり、進化計算技術の高度化が求められている。

進化計算の高度化には、(a) 新しい進化計算手法の提案、(b) 進化演算の工夫、(c) fitness 景観の近似による最適解の近似解の高速推定、(d) 大規模次元探索空間での最適化、(e) 多数目的最適化、(e) fitness 計算・計測ができないタスクの最適化、など色々な取り組みがある。

数ある進化計算の共通特徴は、多点探索（あるいは個体ベースの探索）にある。fitness の高い個体情報を優先的に扱うことで次世代探索点を有力解に近づけることである。この具体的方法が進化計算のアルゴリズムであり、各個体の fitness 値を基に各種進化計算特有の演算で最適解を探索する。

しかし、我々人間が探索過程を観察する場合は、各個体の fitness 値分布もさることながら、個体全体がどちらの方に向かって進化しているかを判断する。例えば、 d 次元変数空間において、第 n 世代の 5 個の探索点が、第 $(n+1)$ 世代で次の 5 個の探索点に移動したとする。隣接世代だけでなく数世代に亘る進化パスでもよい。すると、図 1. の 5 個の世代間移動ベクトルが得られる。視覚的にこれらの移動ベクトルを見れば、印の点を目指しているように推察可能である（ d 次元空間の話なので実際には見えないが）。進化計算の最適化とは、多点探索点が大局的最適解に順次収束することであり、点線で示す直線群への最も近い点（以後、印の収束点）は、最適化に有力な情報を持っているはずである。この情報を積極的に進化計算に利用できれば探索の高度化が期待できると考えられた。

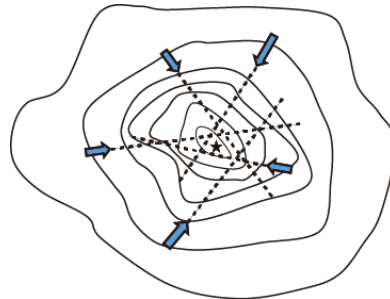


図 1. d 次元探索空間上の各個体の世代間移動ベクトル（矢印）と、これらのベクトルが向かう収束点（印）。

2. 研究の目的

個体群が世代毎に大局的最適解に向かう進化計算において、個体毎に世代間の移動を有向線分（以後、移動ベクトル）群で表現して解析的に収束点を推定し、この推定収束点を用いて進化計算を効率化することを目的とする。

3. 研究の方法

上記目的達成のため、3 段階で研究を進める。

第 1 に、この収束点の推定精度を向上させる手法を開発し、進化計算に組み込んでその評価を行う。

第 2 に、この収束点推定を汎用的な問題に適用できるように多峰性対応をする。fitness 景観が多峰性の場合、個体群の移動ベクトルは複数の局所最適解に向かう。多峰性対応とは、局所最適解領域を分離するアルゴリズムを開発し、個々に収束点を推定できるようにすることで、収束点を推定して進化計算を効率化する本手法を拡張する。

第 3 に、本手法の適用を進化計算の幅広い応用分野に拡張するため、ニッチ手法、多目的最適化、および、対話型進化計算に推定収束点の手法を展開し、その効果を評価する。

4. 研究成果

第 1 の取り組みとして、まず推定収束点を進化計算に組み込むことによる高速化の効果を実験的に評価した [4, 5, 14]。過去の全探索点の上位 n 個体を保持する個体プールを導入してこれらの情報から収束点を推定する方法 [8]、および、fitness 勾配の大きい移動ベクトル程、あるいは、移動ベクトルの始点の fitness 値の高い移動ベクトルほど重要視するよう重みを導入する [3, 10] ことで、収束点の推定精度を向上させ、進化計算の収束を有意に向上させた。

第2の取り組みとして、最良個体から他の個体への距離順と、個体の fitness 値順を求め、両者の相関が高い場合は単峰性、相関が低い場合は多峰性であるとの基準を基に、逐次に局所最適解領域に向かう移動ベクトル群をグループ化し分離する手法[7]を開発した。この手法を適用することで、図2のように順次局所最適解領域を分離できるようになった。

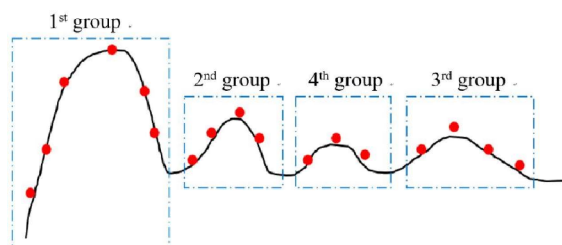


図2. 最良個体からの距離順位と fitness 順位との相関から局所最適解領域を分離する実験例。

第3の展開の取り組みとして、(a) ニッチ手法への応用、(b) 多目的最適化への応用、(c) 対話型進化計算への応用を行った。第2の取り組み成果に推定収束点を組み合わせることで局所最適解を探索するニッチ手法を開発し評価した。また目的空間での多目的最適化が Pareto 曲面を拡大するように解探索を行うことから、この世代間の移動ベクトルを設計変数空間に写像し、設計変数空間で推定収束点を求め、その点を目的空間に戻すことで多目的最適化の効率化を行った[2, 13]。さらに対話型進化計算に推定収束点を導入することも評価した。シミュレーション実験的には有意な効果が見られた[11]が、CGの馬の疾走感デザインを課題にして人間ユーザを用いた実対話型進化計算の実験では、その高速化の効果は人間が実感できる程大きくはないことを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1. Jun Yu, Hideyuki Takagi, and Ying Tan, "Multi-layer Explosion Based Fireworks Algorithm," International Journal of Swarm Intelligence and Evolutionary Computation, vol.7, no.3 (December, 2018). DOI: 10.4172/2090-4908.1000173
2. Yan Pei, Jun Yu, and Hideyuki Takagi, "Search Acceleration of Evolutionary Multi-objective Optimization Using an Estimated Convergence Point," Mathematics, vol.7, no. 2, pp.129-147 (Jan., 2019). DOI: 10.3390/math7020129
3. Jun Yu, Yuhao Li, Yan Pei, and Hideyuki Takagi, "Accelerating Evolutionary Computation Using a Convergence Point Estimated by Weighted Moving Vectors," Complex and Intelligent Systems, Springer (2019). DOI: 10.1007/s40747-019-0111-6

〔学会発表〕(計 18 件)

1. Noboru Murata, Ryuei Nishii, Hideyuki Takagi, and Yan Pei, "Analytical Estimation of the Convergence Point of Populations," 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Sendai, Japan, pp.2619-2624 (May 25-28, 2015).
2. 余俊, 高木英行「多峰性最適化問題での局所最適解推定高度化のための補正法 -- 局所最適解が2個の場合 --」第9回進化計算研究会, pp.92-97, 神戸 (2015年9月7-8日).
3. Jun Yu and Hideyuki Takagi, "Clustering of Moving Vectors for Evolutionary Computation," 7th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition (SoCPaR2015), pp.169-174, Fukuoka, Japan (November 13-15, 2015).
4. 裴岩, 余俊, 高木英行「推定収束点を用いた進化計算高速化の評価」進化計算シンポジウム 2015, pp.292-297, 西尾 (2015年12月19-20日).
5. Jun Yu, Yan Pei and Hideyuki Takagi, "Accelerating Evolutionary Computation Using Estimated Convergence Point," IEEE Congress on Evolutionary Computation, Vancouver, Canada, pp.1438-1444 (July 24-29, 2016).
6. 余俊, 高木英行「局所個体群の fitness に基づく fitness 景観の勾配推定を導入した花火アルゴリズム」進化計算シンポジウム 2016, 長生郡一宮町, pp.131-137 (2016年12月10-11日).
7. 余俊, 高木英行「個体間距離順位とフィットネス順位に基づく局所解領域の推定」第12回

- 進化計算学会研究会プログラム, 福岡, pp.203-206 (2017年3月13-14日).
8. Jun Yu and Hideyuki Takagi, "Estimation of Convergence Points of Population Using an Individual Pool," 10th International Workshop on Computational Intelligence & Applications (IWCIA2017), Hiroshima, Japan, pp.67-72 (November 11-12, 2017). DOI: 10.1109/IWCIA.2017.8203563
 9. Jun Yu and Hideyuki Takagi, "Acceleration for Fireworks Algorithm Based on Amplitude Reduction Strategy and Local Optima-based Selection Strategy," 8th International Conference on Swarm Intelligence (ICSI2017), Fukuoka, Japan, pp.477--484, In: Tan Y., Takagi H., Shi Y. (eds) Advances in Swarm Intelligence. Lecture Notes in Computer Science, vol 10385. Springer, Cham (July 27 - August 1, 2017). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61824-1_52
 10. 余俊, 高木英行「信頼性重みを導入した個体群の収束点推定精度の向上」第13回進化計算学会研究会, pp.59-63, 草津 (2017年9月1-2日).
 11. 余俊, 高木英行「推定収束点を用いた対話型進化計算高速化の可能性」第33回ファジィシステムシンポジウム, pp. 47-50, 米沢 (2017年9月13日 - 9月15日).
 12. 余俊, 高木英行「強制約条件付き最適化問題の2段階探索」進化計算シンポジウム 2017, 北海道茅部郡森町, pp.38-41 (2017年12月9-10日).
 13. 裴岩, 高木英行「推定収束点を用いた多目的最適化の高速化」進化計算シンポジウム 2017, 北海道茅部郡森町, pp.411-417 (2017年12月9-10日).
 14. Jun Yu and Hideyuki Takagi, "Estimated Convergence Points Applied to Evolutionary Computation", 日本知能情報ファジィ学会ECOmp研究部会2018, 福岡 (2018年2月28日)
 15. 余俊, 譚嘗, 高木英行「花火アルゴリズムへの偵察戦略導入」第14回進化計算学会研究会, 小金井, pp.106-110 (2018年3月5-6日).
 16. Jun Yu, Ying Tan, and Hideyuki Takagi, "Accelerating the Fireworks Algorithm with an Estimated Convergence Point," 9th International Conference on Swarm Intelligence (ICSI2018), Shanghai, China, Springer LNCS 10941, pp.263-272 (June 17-22, 2018). DOI: 10.1007/978-3-319-93815-8_26
 17. Jun Yu, Ying Tan, and Hideyuki Takagi, "Scouting Strategy for Biasing Fireworks Algorithm Search to Promising Directions," The Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO2018), Kyoto, Japan, pp.99-100 (July 15 - 19, 2018). DOI: 10.1145/3205651.3205740
 18. 余俊, 高木英行「距離ベース排他戦略導入によるニッチ花火アルゴリズム」第15回進化計算学会研究会, 横浜, pp.27-30 (2019年3月7-8日).

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 裴岩

ローマ字氏名: PEI, Yan

研究協力者氏名: 余俊

ローマ字氏名: YU, Jun

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。