

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00336

研究課題名(和文) 解マイニングの開発と探索へのフィードバックによるDeep Search

研究課題名(英文) Development of Solution Mining and Deep Search by Feedback to Search

研究代表者

吉川 大弘 (Yoshikawa, Tomohiro)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20303753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、可視化結果及び解析結果より、ユーザの求めるパレート解群を選択してもらい、それらのパレート解が持つ評価値ベクトルをReference Pointとした上で、原点とReference Pointとを結ぶReference Lineを形成し、進化計算手法による再探索を行うDeep Search手法を開発した。さらに、このDeep Searchにおける独創的な方法として、Reference Lineの原点をユーザの嗜好に合わせて任意に移動させることで、追加探索において求める解の性質を決めることを可能とした。多目的実数ナップサック問題に提案した手法を適用し、その有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this research, I developed the Deep Search method for a user's preference direction by using the concept of reference lines. In this method, a user selects the preference area in the visualized space by plotting the acquired solutions, and reference points are generated in the selected area. Reference lines are defined by making connections between the reference points and the original point. In this research, I carried out the experiments that applied the Deep Search method to a real coded multi-objective knapsack problem and studied the effectiveness of this method. The experimental result showed that the solutions having the desired features could be acquired by moving the original point. The experimental result also showed that the Deep Search method also worked well in MaOPs (Many-Objective Optimization Problems), as well as for 2 objectives. The effect of the Deep Search method increased with the number of objectives.

研究分野：ソフトコンピューティング

キーワード：Deep Search 可視化 ユーザの嗜好 進化計算 多目的最適化 Reference Line 追加探索 フィードバック

1. 研究開始当初の背景

進化的計算手法は、全探索が困難な最適化問題に対して、「より良い解(準最適解)を、(ランダム探索等)より速く(効率的に)」求める手法である。これまでに、探索の効率化に対する工夫や、種々の応用研究など、数多くの研究が報告されてきた。一方、クラスタコンピューティングやグリッドコンピューティングに代表される並列計算技術の急速な進歩や、近年の急速な計算機の発達は、これまでの「より良く」、「より速く」だけでなく、多目的最適化問題における、「より多様な」パレート解の生成という次なる要求をもたらした[I]。さらには、近年の進化計算手法の工業分野への応用により、単に評価値の高いパレート解を得るだけでなく、得られたパレート解集合から評価値と設計変数との物理的関係に関する解析を行うことや、設計者にとって有益な知見を抽出することも重要な課題となっている[II]。そして今後、計算機性能の向上や並列計算技術のさらなる進歩により、多次元な評価値を持つ膨大な数のパレート解が生成可能になり、さらに、その膨大な数のパレート解を解析する必要性が生じると考えられる。IT技術により蓄積された膨大なデータに対してデータマイニングの技術が必要となったように、膨大な数のパレート解を、解析する、あるいはユーザに効果的に提示する技術、いわば解のマイニング (Solution Mining) 技術の開発が、必要不可欠になると考えられる。

これに対し応募者はこれまで、特に“可視化”をキーワードとした Solution Mining 技術の提案・開発を行ってきた。一般的なデータマイニング技術の研究や、データの可視化技術の開発は様々行われているが、進化計算手法により得られたパレート解の解析を目的とし、“可視化”を前面に打ち立てた研究は、国内外においても、東北大学の大林茂の提唱する「多目的設計探査[III]」のみである。これは、Solution Mining の必要性は共感するものの、「可視化による解析」の有用性に対する定量的な評価が困難であり、研究として成り立ちにくいことが原因であると思われる。

応募者がこれまで、実問題でのパレート解の可視化解析を行ってきた経験に基づき、この技術を実世界での問題に適用できる本当の意味での実用的なレベルに高めるためには、得られた解の情報をユーザに提示するだけでは、あと一つ不十分であると考えている。それは、解析により得られた知見を、そもそもの進化計算の探索にフィードバックすることである。実問題では、得られた解に満足解が存在することは少なく、解析は妥協解を探すことの支援にしかならない。一方で、多くの場合は時間的な制約により、進化計算手法による探索をそれ以上行うことは困難である。しかし、得られた知見により探索範囲を絞り込んで探索を行うことで、ユーザにと

っていわば必要のない大部分の探索を行わなくて済み、時間的なコストは大幅に抑えられると考えられる。すなわち、許された時間を一杯使って探索を行い、得られた解を解析するという従来のアプローチではなく、ある程度の時間で探索を打ち切り、その時点での解を解析し、知見をフィードバックして効率的な探索をすることを何回か繰り返す、インタラクティブな解析・探索を行うことで、制約となる時間内に満足解が得られる可能性が高まると期待できる。以上が、本申請研究の着想に至った経緯である。

[I] K. Deb: Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms, Chichester, UK, Wiley, 2001

[II] 大山, 川勝, 萩原: 次期太陽観測衛星軌道の多目的設計探査の試み, 第4回進化計算シンポジウム 2010, pp.208-214, 2010

[III] 大林: 多目的最適化とデータマイニング, 日本機械学会誌, Vol.109, No.1050, pp.383-385, 2006

2. 研究の目的

IT技術により蓄積された、膨大なデータに対する解析技術「データマイニング」が近年大いに注目を集めている。一方応募者はこれまで、進化計算手法により得られた数多くの解候補(パレート解)を解析する、あるいはユーザに効果的に提示する技術、いわば「解のマイニング (Solution Mining)」技術の開発に取り組み、特に“可視化”をキーワードとした研究成果を報告してきた。本研究では、この Solution Mining の開発を深めると共に、さらに一步推し進め、可視化により得られた知見から、ユーザの求める特徴を進化計算での探索にフィードバックし、要求される特徴を有する解を積極的に探索する Deep Search に関する提案・開発を行う。

3. 研究の方法

初めに、申請時当初進めていた、「目的空間と探索空間との非対応性」に関する検討を深く推し進め、対象問題における評価値と設計変数との関係性指標構築を目指した。想定していた三つの非対応性について、指標の定量化・非対応領域の抽出手法がまとまった段階で、この指標に基づく可視化解析ツールを作成し、WEB等により公開することで、利用者から課題をフィードバックし、ツールのユーザビリティ評価・改良を行う。また並行して、解析で得られた知見の探索への有効なフィードバック方法に対する検討を推し進めた。初年度において、考案中のアプローチであった「ユーザが選択した妥協解を Reference Point とすることで、ユーザの求める目的関数方向に探索を進める」方法を試行し、その有効性を検証すると共に、新たなアプローチを模索した。最終的には、Solution Mining から Deep Search までの一貫した手法として確立させることを目指した。

4. 研究成果

初めに、申請時に進めていた、「目的空間と探索空間との非対応性」に関する検討を行った。平成 26 年度までの「分布領域の非対応性」に対する成果をまとめ、JACIII という英文誌において発表した。さらに、「線形関係の非対応性」に関する検討に着手した。ある限られた領域内の個体を対象として、設計変数を説明変数、評価値を目的変数として重回帰分析を行い、その決定係数を指標とすることで、その領域内の設計変数と目的変数とが、どれだけ線形性を持っているかを表すことが可能となる。この指標に基づき、線形関係が対応/非対応、すなわち、線形/非線形な領域を抽出することが可能となる。線形性の高い領域では、設計変数の値から、評価値が予測しやすいことを意味するため、解析・設計を行う上で有益な情報となる。この成果についてまとめ、進化計算学会論文誌において発表した。さらに、この定義した非対応性指標の遺伝的演算へのフィードバックとして、対応領域に対する評価値推論への応用を試みた。評価値推論とは、探索個体の一部を実際に評価（実評価）し、残りの個体は、過去に実評価された個体の情報（データベース）を基に、推論された評価値（推論評価値）を用いて探索を進める手法である。これにより、評価値推論では、通常の探索と比べ、少ない実評価回数で探索を行えることが期待できる。評価値推論ではその性質上、非線形性が強い領域では評価値の推論が困難なことが予想されるため、非線形性の強い非対応領域では実評価を行い、線形性の強い対応領域では評価値推論を行うことが有効だと考えられる。この評価値推論法を実問題に適用し、少ない評価回数で高い性能（パレート解集合に対する精度、多様性の総合的な評価指標である Hyper Volume 値（HV 値）の向上）を確認した。

また並行して、解析で得られた知見を、進化計算手法による探索へとフィードバックする Deep Search 手法について、検討を行った。可視化結果及び解析結果より、ユーザの求めるパレート解群を選択してもらい、それらのパレート解が持つ評価値ベクトルを Reference Point とした上で、進化計算手法による再探索を行う方法を提案し、進化計算学会において発表した。この方法は、近年発表された NSGA-III (Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm III) という手法に着想を得たものである。NSGA-III では、Reference Point を目的空間に均等に分布させることで、多様なパレート解を得ているが、この Reference Point をユーザの選択したパレート解群とすることで、ユーザの求める方向に志向性の高い探索が可能になることが期待できる。さらに、この Deep Search における独創的な方法として、Reference Line の原点をユーザの嗜好に合わせて任意に移動させることで、追加

探索において求める解の性質を決めることを可能とした。多目的実数ナップサック問題に提案した手法を適用し、その有効性を示した。

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 3 件、査読有)

T. Yoshida, T. Yoshikawa, “Analysis of Pareto Solutions Based on Non-Correspondence in Spread Between Objective Space and Design Variable Space,” *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.19, No.5, pp.681-687, 2015

吉田徹, 吉川大弘, “評価値空間と設計変数空間の線形関係の非対応性指標と遺伝的演算へのフィードバック”, *進化計算学会論文誌*, Vol.6, No.2, pp.82-89, 2015

岸上利裕, 吉川大弘, “reference lineに基づくユーザの嗜好方向探索手法の提案”, *進化計算学会論文誌*, Vol.6, No.1, pp.31-41, 2015

〔学会発表〕(計 29 件)

T. Kishigami, T. Yoshikawa, “A Proposal of User’s Preference Direction Search based on Reference Lines,” *Workshop at the IEEE 2015 International Congress on Evolutionary Computation (CEC2015)*, 2015

T. Yoshikawa, T. Yoshida, T. Kishigami, “A Study on Non-Correspondence in Spread between Objective Space and Design Variable Space and Application to Genetic Search,” *2015 World Congress in Computer Science, Computer Engineering, and Applied Computing (WORLDCOMP’15)*, pp.317-323, 2015

T. Kishigami, T. Yoshikawa, “Proposal of Search Based on a User’s Preference Direction Using Reference Lines,” *the 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC2016)*, pp.4321-4327, 2016

R. Ooe, T. Yoshikawa, “A Study on Stepwise Satisfaction Method of Constraints Based on Difficulty of Constraints,” *Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 17th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2016)*, pp.26-29, 2016

T. Yoshikawa, “A Search Method with User’s Preference Direction Using Reference Lines,” *2016 9th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation*, pp.986-991, 2016

R. Ooe, T. Yoshikawa, “Study on Satisfaction Method of Constraints by Approximating Constraints,” the 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA2016), pp.443-446, 2016

吉川大弘, “進化計算で得られたパレート解の可視化に基づく解析手法”, 計算数理工学 forum, 2018 (招待講演)

他, 国内学会 22件

〔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

吉川 大弘 (YOSHIKAWA, Tomohiro)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 20303753

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()