

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17824

研究課題名（和文）選好に基づく多目的進化型アルゴリズムを自動生成する枠組みの開発とその応用

研究課題名（英文）Automatic Configuration of Preference-based Evolutionary Multi-objective Optimization Algorithms

研究代表者

田邊 遼司 (Tanabe, Ryoji)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・助教

研究者番号：80780923

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）：互いにトレードオフな複数の目的関数を同時に最小化する多目的最適化は、工学分野にて日常的に直面する。選好に基づく多目的進化型アルゴリズムは意思決定者の選好を満たす非劣解集合のみを探索する有用なアプローチであるが、その性能はアルゴリズム構成に強く依存する。加えて、アルゴリズム構成を人手で最適化するのは困難である。この問題に対して、本研究では、選好に基づく多目的進化型アルゴリズムを自動生成する枠組みの開発・検討をした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した選好に基づく多目的進化型アルゴリズムを自動生成する枠組みを利用すれば、非専門家であるユーザでも手軽に最適化が可能となった。また、自動アルゴリズム構成は研究者がこれまで思いつかなかったような構成を生成する機会が多い。そのため、高性能かつ新規性のある多目的進化型アルゴリズムが自動生成されることが期待でき、本研究分野に新しい視点をもたらすことが期待される。

研究成果の概要（英文）：Multi-objective optimization aims to simultaneously minimize multiple objective functions that conflict with each other. Multi-objective optimization problems can be found in a wide range of engineering applications. Although a preference-based multi-objective evolutionary algorithm is a useful approach to finding a set of non-dominated solutions preferred by a decision-maker, its performance strongly depends on the algorithmic configuration. In addition, it is difficult to optimize the algorithm configuration by means of hand-tuning. To address this issue, this work studied a framework for automated generation of preference-based multi-objective evolutionary algorithms. Secondly, this work also addressed benchmarking issues in preference-based multi-objective evolutionary algorithms.

研究分野：進化計算

キーワード：進化計算 進化型多目的最適化 選好に基づく最適化 自動アルゴリズム生成

## 1. 研究開始当初の背景

互いにトレードオフな複数の目的関数を同時に最小化する多目的最適化は、工学分野にて日常的に直面する。多目的進化アルゴリズムは新たな解集団を生成、そして現解集団と合わせて次世代解集団を決定といった操作を繰り返す。多点探索法である多目的進化アルゴリズムは、一試行で良い非劣解集合の獲得が期待できる。しかし、一般的に、パレートフロント全体を近似する非劣解集合の獲得は困難である。一方、ユーザが潜在的に好ましいと思われるパレートフロントの部分集合(選好領域)の非劣解集合のみを求めるのは、比較的容易である。幸いにも、実応用の現場では、ユーザが選好する非劣解集合のみを獲得できれば十分である場合が多い。選好に基づく多目的進化型アルゴリズムは、意思決定者の選好を満たす非劣解集合のみを探索する有用なアプローチである。しかし、その性能はアルゴリズム構成に強く依存する。加えて、アルゴリズム構成を人手で最適化するのには困難である。この問題は実応用の現場にて選好に基づく多目的進化型アルゴリズムを使用する上での障害となっている。

## 2. 研究の目的

先述の問題に対して、本研究では選好に基づく多目的進化型アルゴリズムの自動構成による解決を目的とする。これにより、多目的最適化の非専門家であるユーザでも、手軽に高性能な多目的進化型アルゴリズムを自身の解きたい実問題に適用可能となることが期待される。

## 3. 研究の方法

自動アルゴリズム構成の大まかな処理は次のとおりである: テンプレートを元に新しいアルゴリズム構成を何らかの方法で生成する。そして、そのアルゴリズム構成を実際に訓練問題にて実行することで、良し悪しを定量化する。その結果を元に、新たな構成を生成する。以上の操作を終了条件を満たすまで繰り返す。つまり、自動アルゴリズム構成では(1)アルゴリズムのテンプレート、(2)構成の定量的評価法が必要である。特に(2)に誤りが生じると、自動アルゴリズム構成の指向性も当然不適切なものとなるため、良い構成が得られることは期待できない。しかし、選好に基づく進化型多目的最適化ではベンチマーキング方法論が体系化されていなかったため、本研究では(1)よりも(2)の方をやや重点的に取り組んだ。

## 4. 研究成果

[ベジエ単体を用いた多目的最適化の枠組みの開発] 目的関数の計算コストが高いため、解評価回数が制限される computationally expensive 多目的最適化に対する効果的な枠組みを開発した。本枠組みは2つの探索フェーズに分かれる。最初のフェーズでは数値最適化ソルバーを用いて極少数のパレート最適解を近似する。次のフェーズではベジエ単体を用いて、得られた近似解集合を補間するような解集合を生成する。特定の問題クラスにて、いくつかの state-of-the-art な多目的最適化手法よりも本枠組みが有用であることを確認した。

[選好に基づく進化型多目的最適化のための指標のサーベイと解析] 進化型多目的最適化手法の性能は、獲得された解集合の指標値により定量的に議論される。Hypervolume を始めとするこれまでに様々な指標が提案されている。自動アルゴリズム構成のためにも、適切な指標を使用することは重要である。しかし、選好に基づく進化型多目的最適化では指標についての議論はほとんどされておらず、どの指標を用いれば良いのか定かではない。この問題を解決するために、選好に基づく進化型多目的最適化のための指標のサーベイと解析をした。既存の14個の指標を解析し、最も適切であろう指標を発見した。

[選好に基づく進化型多目的最適化における無限アーカイブと集団数の影響の解析] 進化型多目的最適化において、母集団サイズは重要なパラメータである。しかし、選好に基づく進化型多目的最適化に対する影響については、ほとんど知られていない。また、探索中に求めた全ての非劣解を保持する無限外部アーカイブの有効性も十分に理解されていない。これら2点の問題は選好に基づく進化型多目的最適化手法の自動アルゴリズム構成に深く関わるため、事前に解決することにした。まず、本研究では代表的な部分解集合を無限外部アーカイブから選択するための選好に基づく後処理法を提案した。そして、無限外部アーカイブと母集団の大きさが選好に基づく進化型多目的最適化手法の性能に与える影響を解析し、明らかにした。

[選好に基づく進化型多目的最適化手法における目的値の正規化の影響の解析] 進化的多目的最適化の実応用では、例えば時間と金銭的コストのようなスケールの異なる目的関数を扱うため、目的関数値の正規化が重要な役割を果たす。しかし、選好に基づく進化型多目的最適化では正規化の影響は研究されておらず、正規化操作の種類が性能にどのような影響を与えるかは不明である。本研究ではまず、選好に基づく進化型多目的最適化における正規化手法は、ideal point と nadir point、およびパレートフロントの範囲の近似という3点で、通常のエволюティブ多目的最適化よりも性能が乏しいことを明らかにした。これは、選好に基づく進化型多目的最適化はパレートフロントの部分集合である region of interest の近似を目的としているため、集団は一般的にパレートフロント全体を被覆しない性質が原因である。次に、代表的な選好に基づく進化型多目的最適化手法にて3つの正規化手法の有効性を明らかにした。選好に基づく進化型多目的最適化では明確に最良となる正規化手法は存在しないが、本研究で設計した外部アーカイブに基づく正規化手法が比較的良好であることがわかった。

[任意のエволюティブ多目的最適化手法を選好に基づく進化型多目的最適化手法に組み込む枠組み] エволюティブ多目的最適化手法の開発研究は活発にされており、数多くの高性能な手法が提案されている。これら既存の手法を選好に基づく進化型多目的最適化に拡張できれば、ゼロベースで専用の手法を設計する必要がなくなる。そこで、本研究では任意のエволюティブ多目的最適化手法を選好に基づく進化型多目的最適化手法に組み込むテンプレートを設計した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ryoji Tanabe	4. 巻 -
2. 論文標題 On the Unbounded External Archive and Population Size in Preference-based Evolutionary Multi-objective Optimization Using a Reference Point	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO2023)	6. 最初と最後の頁 749-758
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3583131.3590511	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ryoji Tanabe, Ke Li	4. 巻 -
2. 論文標題 Quality Indicators for Preference-based Evolutionary Multi-objective Optimization Using a Reference Point: A Review and Analysis	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Evolutionary Computation	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TEVC.2023.3319009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Ryoji Tanabe, Youhei Akimoto, Ken Kobayashi, Hiroshi Umeki, Shinichi Shirakawa, Naoki Hamada	4. 巻 -
2. 論文標題 A Two-phase Framework with a Bezier Simplex-based Interpolation Method for Computationally Expensive Multi-objective Optimization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of ACM Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO2022)	6. 最初と最後の頁 601-610
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ryoji Tanabe	4. 巻 -
2. 論文標題 Investigating Normalization in Preference-based Evolutionary Multi-objective Optimization Using a Reference Point	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Applied Soft Computing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	University of Exeter			