

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12750

研究課題名（和文）多目的進化計算の最適なアルゴリズムマップ構築と未知問題への展開

研究課題名（英文）Search Algorithm Mapping of Evolutionary Multi-objective Optimization and Its Utilization on Unknown Problems

研究代表者

佐藤 寛之（Sato, Hiroyuki）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：60550978

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：特徴が異なる複数の最適化問題において、それぞれの最適化問題間の関係性の強弱を視覚的に表現するため、最適化問題群を2次元空間にマッピングする方法を構築した。また同様に、進化計算に基づく複数の最適化アルゴリズムにおいて、それぞれのアルゴリズム間の関係性の強弱を視覚的に表現するため、アルゴリズム群を2次元空間にマッピングする方法を構築した。さらに、これらをもとに、既存の最適化問題群のマップにおいて、未知の最適化問題の位置を推定する方法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義としては、これまで最適化問題群は目的関数の内部の構成要素の有無などによって簡素に分類する他なかったが、本研究によって最適化問題の関係性を精緻かつ視覚的に表現できるようになったこと、最適化アルゴリズムも同様に、これまで処理の構成要素などで簡素に分類してきたが、本研究によってアルゴリズムの関係性を精緻かつ視覚的に表現できるようになったことがある。社会的意義としては、これまで新しい最適化問題が生じるたびに適切なアルゴリズムの取捨選択に時間を要していたが、本研究によって既存の最適化問題群から近い問題を見出せるため、アルゴリズムの取捨選択が容易かつ合理化され、最適化技術の利用促進が期待される。

研究成果の概要（英文）：For multiple optimization problems with different characteristics, this research developed a mapping method of these optimization problems into a two-dimensional space to visually represent relationship strengths among these optimization problems. Also, this research developed a mapping method of optimization algorithms based on evolutionary computation into a two-dimensional space to visually represent relationship strengths among these optimization algorithms. Furthermore, based on these maps and their data, this research developed an estimation method of the position of an unknown optimization problem on the optimization problem map generated by known optimization problems.

研究分野：進化計算

キーワード：進化計算 最適化

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

品質とコストのように相反する複数の目的を同時に最適化することを多目的最適化という。進化計算による多目的最適化は、産業界における新しい設計手法として産業界から注目を浴びている。この約 20 年の間に、多目的最適化のための進化計算は盛んに研究され、多数のアルゴリズムが乱立状態にある。最適化問題は、それぞれが異なる特徴を持つため、適したアルゴリズムも異なる [1]。しかし、どの最適化問題にどのアルゴリズムが適切かといった、最適化問題とアルゴリズムの相性は整理されていない。そのため、最適化したい問題に対して、採用すべき適切なアルゴリズムがわからない状況にある。このように、多目的進化計算に対する産業界からの期待に反して、アルゴリズム研究の最新成果の産業展開には、困難が生じている。

これまでの多目的進化計算の研究では、多数のテスト最適化問題(例えば特徴の異なる 9 種類の問題からなる DTLZ 問題セット)が利用され、問題ごとに最適なアルゴリズムを探索することが主だった。それぞれの最適化問題は異なる特徴を持つものの、限られた数の最適化問題によって実世界の問題の全パターンを網羅することは困難である。問題の特徴も、最適化する関数の多峰性や変数間依存性の有無などによって大まかに分類する程度であり、問題間の特徴の近さを精緻に表現する試みは、これまでに存在しない。そのため、未知の最適化問題が、既存の最適化問題の中間的な特徴を持っていたとしても、適したアルゴリズムやそのパラメータに見込みをつけることは困難である。

### 2. 研究の目的

本研究では、最適化問題を特徴の近さによって視覚化する最適化問題マップと、最適化アルゴリズムを特徴の近さによって視覚化する最適化アルゴリズムマップを構築する。既存の最適化問題と最適化アルゴリズムに関する知識を組織化し、それをもとに、新たに取り組む未知の最適化問題に近い既存の最適化問題を見出し、未知の最適化問題に適した最適化アルゴリズムを提案できるようにする。

### 3. 研究の方法

産業界の設計最適化に対する高い需要を鑑み、連続値の変数を多目的に最適化する問題を対象にした。(1)既存の最適化問題セットに対して、一つひとつの最適化問題に特化したものだけでなく、複数の問題に対して高い解探索性能を示すロバストなアルゴリズムとパラメータも獲得できる方法を構築する。次に、(2)最適化問題セットを 2 次元空間にマッピングする方法を考案し、各最適化問題の特徴の類似性を精緻に視覚化することで、特徴が似通った問題や、既存の問題だけではカバーできない特徴領域を明らかにする。さらに、(3)最適化アルゴリズムセットを 2 次元空間にマッピングする方法を考案し、各最適化アルゴリズムの特徴の類似性を精緻に視覚化することで、特徴が類似したアルゴリズムを明らかにする。最後に、(4)既存の最適化問題群マップを活用して、特徴が未知の最適化問題の位置を推定する方法を明らかにする。

研究内容を特徴空間の高解像化、最適化問題群の視覚化、最適化アルゴリズム群の視覚化、特徴推定・推薦のフェーズにブレークダウンした以下の 4 つの研究項目に取り組んだ。

研究項目(1):【特徴空間の高解像化フェーズ】問題の各特徴領域に最適なアルゴリズムの探索

研究項目(2):【最適化問題の視覚化フェーズ】最適化問題群マップの構築

研究項目(3):【最適化アルゴリズムの視覚化フェーズ】最適化アルゴリズムマップの構築

研究項目(4):【特徴推定・推薦フェーズ】未知の最適化問題の類似問題推定

### 4. 研究成果

#### (1) 問題の各特徴領域に最適なアルゴリズムの探索

最適化問題の各特徴領域に対して最適なアルゴリズムとパラメータ群を見出し、問題の特徴空間の全域に渡って最適な探索方法を網羅する方法を構築した。具体的には、複数の最適化問題において最適化性能を最大化する進化計算のパラメータ(交叉強度, 交叉率, 突然変異強度, 突然変異率)を進化計算で最適化する。これにより、ある最適化問題に対して解探索性能を最大化するアルゴリズムや、別の最適化問題に対して解探索性能を最大化するアルゴリズムだけでなく、これら 2 つの最適化問題の両方にロバストな解探索性能を示すアルゴリズムを獲得する。多目的最適化のベンチマーク最適化問題である DTLZ 問題群から、2 つの最適化問題を選び、それぞれの最適化問題に対して良好な最適化性能を示すアルゴリズムから、双方の最適化問題に対してロバストな最適化性能を示すアルゴリズムまでを同時獲得できることなどを明らかにした。

#### (2) 最適化問題群マップ

特徴が異なる複数の最適化問題において、それぞれの最適化問題の関係性の強弱を視覚的に表現するため、最適化問題群を 2 次元空間にマッピングする方法を構築した。具体的な方法としては、多数の最適化問題と多数の最適化アルゴリズムを用意し、各最適化問題を用意したすべてのアルゴリズムで最適化し、その最適化性能を記録する。各最適化問題において、最適化性能が良い順番にアルゴリズムをランキングする。2 つの最適化問題の類似性は、それぞれのアルゴリ

ムのランキングの差異として取り合う。2 つの最適化問題について、良い最適化性能を示すアルゴリズムのランキングが近ければ、その 2 つの最適化問題は類似性が高いと判断する。逆に、2 つの最適化問題について、良い最適化性能を示すアルゴリズムのランキングが遠ければ、その 2 つの最適化問題は類似性が低いと判断する。最適化問題群における 2 つの最適化問題の全ての組み合わせにおいて、良い最適化性能を示すアルゴリズムのランキングの差異を距離として算出し、その距離を利用する多次元尺度構成法によって最適化問題群を 2 次元空間にプロットする。これにより、最適化問題の類似関係を数値化するだけでなく、視覚的に最適化問題の間の距離を表現する。29 種類の多目的最適化ベンチマーク最適化問題群 (ZDT, DTLZ, WFG 問題群) を 2 次元マップにした結果を図 1 に示す。その結果、類似した内部関数を有する最適化問題群は、近くに配置されることなどを確認した。類似した特徴を有する最適化問題では、良好な最適化性能を示すアルゴリズムのランキングが類似するためである。また、この結果から、最適化問題の分布が疎な領域が存在することがわかった。これより、ベンチマーク問題として、これまでに提案されていない特徴を有する最適化問題があることを示唆された。

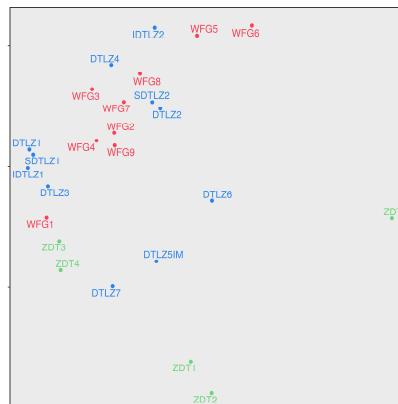


図 1: 最適化問題マップ [2]

### (3) 最適化アルゴリズムマップ

特徴が異なる複数の最適化アルゴリズムにおいて、それぞれの最適化アルゴリズムの関係性の強弱を視覚的に表現するため、最適化アルゴリズム群を 2 次元空間にマッピングする方法を構築した。最適化問題群マップと類似した方法で、最適化アルゴリズムマップを生成した。具体的には、多数の最適化問題と多数の最適化アルゴリズムを用意し、各最適化問題をすべてのアルゴリズムで最適化し、その最適化性能を記録する。各最適化問題において、最適化性能が良い順番に最適化アルゴリズムをランキングする。各最適化アルゴリズムは、それぞれの最適化問題における性能ランクから、高い最適化性能ランクを獲得できる順番に最適化問題を並べる。その順番の差異によって、最適化アルゴリズム間の類似性を表す。2 つの最適化アルゴリズムについて、良い最適化性能を示す順の最適化問題のランキングが近ければ、その 2 つの最適化アルゴリズムは類似性が高いと判断する。逆に、良い最適化性能を示す順の最適化問題のランキングが遠ければ、その 2 つのアルゴリズムは類似性が低いと判断する。最適化アルゴリズム群における 2 つの最適化アルゴリズムの全ての組み合わせについて、良い最適化性能を示す最適化問題のランキングの差異を距離として算出し、その距離を利用する多次元尺度構成法によって最適化アルゴリズム群を 2 次元空間にプロットする。これにより、最適化アルゴリズムの類似関係を数値化するだけでなく、視覚的に最適化アルゴリズムの距離を表現する。26 種類の多目的進化計算アルゴリズム群を 2 次元マップにした結果を図 2 に示す。マッピングしたアルゴリズム群は、アルゴリズムの処理の構成要素によって簡素に分類し、色の違いによって表現した。その結果、同じ処理の構成要素を有するアルゴリズムは、近くに分類する傾向などがみとれることなどがわかった。

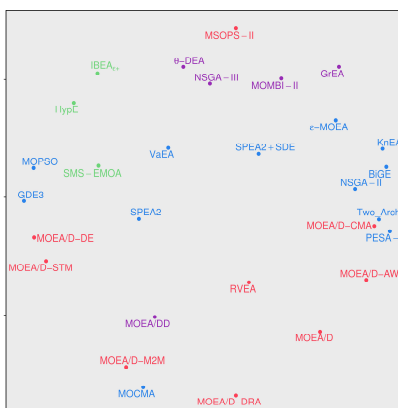


図 2: 最適化アルゴリズムマップ [2]

### (4) 未知の最適化問題の類似問題推定

既存の最適化問題群マップを活用して、未知の最適化問題の位置を推定する方法を構築した。既存の最適化問題群マッピングには、多数のアルゴリズムが必要になる。既存の最適化問題群マップにおいて、未知の最適化問題の位置を最も正確に見出すためには、既知の最適化問題群マップを生成するとき用いた多数のアルゴリズムを未知の最適化問題に適用して最適化性能を算出する必要がある。本研究項目では、既存の最適化問題群マップを形成できる最小限のアルゴリズム群を抽出し、計算コストを抑制して既存の最適化問題群マップにおける未知の最適化問題の位置を特定する方法を構築した。多目的最適化のベンチマーク最適化問題である DTLZ 問題群を用い、既存の最適化問題群マップにおいて未知の最適化問題の位置を推定できることなどを明らかにした。未知の最適化問題に近い既存の最適化問題がわかるため、その既存問題に有効な最適化アルゴリズムを未知の最適化問題に有望な手段として推薦できる。

<参考文献>

- [1] Wolpert, D.H. and Macready, W.G.: "No Free Lunch Theorems for Optimization," IEEE Trans. On Evolutionary Computation, Volume 1, Issue 1, pp. 67-82, 1997.
- [2] Yamamoto, K., Takagi, T., Takadama, K., and Sato, H.: "Visual Mapping of Multi-objective Optimization Problems and Evolutionary Algorithms," Workshop on Visualisation Methods in Genetic and Evolutionary Computation, 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2020), 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

〔学会発表〕 計30件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Kohei Yamamoto, Tomoaki Takagi, Keiki Takadama, and Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Visual Mapping of Multi-objective Optimization Problems and Evolutionary Algorithms
3. 学会等名 Workshop on Visualisation Methods in Genetic and Evolutionary Computation, 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本康平, 高木智章, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 多目的最適化のベンチマーク問題マップとアルゴリズムマップに関する検討
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 康平, 宮川みなみ, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 最適化問題群マップにおける未知問題の位置推定に関する基礎検討
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 康平, 宮川みなみ, 高玉圭樹, 佐藤寛之
2. 発表標題 多目的最適化問題群マップにおける未知問題の位置推定法の検討
3. 学会等名 進化計算学会進化計算シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Motoaki Kakuguchi, Minami Miyakawa, Keiki Takadama, Hiroyuki Sato
2. 発表標題 Multi-Objective Optimization Problem Mapping Based on Algorithmic Parameter Rankings
3. 学会等名 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (IEEE SSCI 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 角口 元章, 宮川 みなみ, 高玉 圭樹, 佐藤 寛之
2. 発表標題 進化計算のパラメータランキングに基づく多目的最適化問題群のマッピングに関する検討
3. 学会等名 第13回進化計算学会研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 角口 元章, 宮川 みなみ, 高玉 圭樹, 佐藤 寛之
2. 発表標題 目的数が異なる最適化問題群マップの生成に関する検討
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2017
4. 発表年 2017年

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----