

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500276

研究課題名(和文)大規模多数目的最適化を促進する新しい多目的進化アルゴリズムの開発

研究課題名(英文)Development of a new multi-objective evolutionary algorithm to advance large-scale many-objective optimization

研究代表者

アギレ エルナン (AGUIRRE, Hernan)

信州大学・工学部・准教授

研究者番号：50402136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では効果的な多数目的最適化進化アルゴリズムの開発を行います。多数目的最適化における集団サイズの重要性、非破壊的な交叉の関連性、大規模問題でのスケーラビリティを明確にします。適応選択を使用することによってパラメータを削減し、さまざまな最適化問題や集団サイズで信頼性を向上します。最適な解集合を望みどおりの解分布の検索するためのイプシロン・マッピングの有効性を示し、空間分割の目的の間での対立情報に基づく新しい手法を提案します。さらに、多数目的最適化実問題に提案アルゴリズムの性能を確認します。つまり、宇宙航空研究開発機構から提供されたDESTINYの衛星軌道設計問題に提案アルゴリズムを適用します。

研究成果の概要(英文)：This work proposes an effective evolutionary algorithm for many-objective optimization. It clarifies the importance of population size, the relevance of non-disruptive recombination, and the scalability in large-scale many-objective optimization. The algorithm reduces its parameters and increases its reliability for different problems and population sizes by using two adaptive methods during selection. The effectiveness of epsilon dominance mappings to search sets of optimal solutions with desired distributions is shown and new methods based on conflict information among objectives are proposed for space partitioning. The proposed algorithm is verified in real-world optimization problems. Namely, the proposed algorithm is applied to optimize the trajectory of JAXA's DESTINY mission spacecraft.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：ソフトコンピューティング、遺伝アルゴリズム

キーワード：進化計算 大規模多数目的最適化 適応選択 目的空間分割 目的関数の次元数削減 実世界の問題への応用

1. 研究開始当初の背景

多目的最適化問題(MOP)では、品質とコストのように相反する複数の目的関数を考慮しなければならず、産業応用や意思決定における最も重要な課題のひとつである。この MOP を、近年、生物の遺伝と進化を基礎とする進化計算を用いて解法する、多目的進化アルゴリズム(MOEA)の研究が活発に行われている。これは、MOEA が解集団を用いた多点探索を行うため、一度の試行でトレードオフを形成するパレート最適解集合(POS)を導出できることによる。このため、MOP の有用な解法手段として注目され、様々な工学的応用も検討されている。しかし、NSGA-II や SPEA2 に代表される従来のアルゴリズム[1]は、目的数が少ない 2、3 目的問題では高い POS 探索能力を示すものの、目的数が 4 個以上に増加した多数目的最適化問題(MaOP)では、十分な探索性能が得られない。近年の複雑化した実世界応用では、多くの目的関数を同時に最適化する要求が高まっており、MaOP の解法に有効なアルゴリズムの研究が急がれている。

2. 研究の目的

本研究では、進化計算を用いた多目的最適化問題の解法に焦点を当て、システムに多数の目的関数と膨大な設計変数を含む大規模多数目的最適化において、その解探索能力を格段に促進・向上させる新しい多目的進化アルゴリズムを開発する。本研究により、近年の複雑化した大規模システムの設計、制御、予測、解析や最適パラメータの導出、意志決定支援を実現するための基礎となるスキームを与え、様々な実世界応用における最適化問題解法での貢献を目指す。

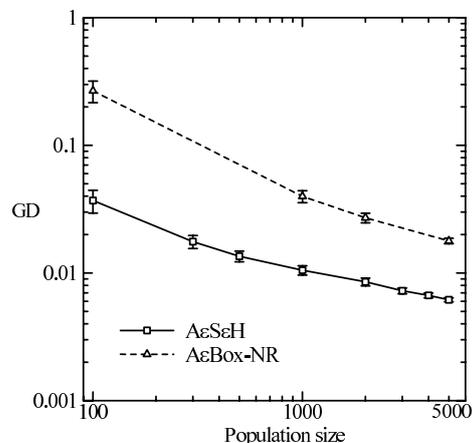
3. 研究の方法

本研究では、目的空間分割アルゴリズムの取り組みで得た知見に基づき、これらをさらに強化・発展させる新しい多目的進化アルゴリズムを開発する。この際、以下の研究項目を明らかにする。

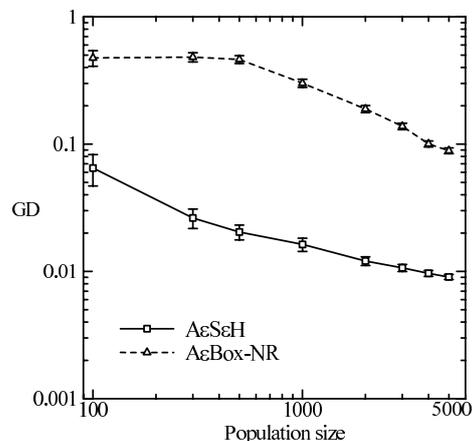
- (1) 目的空間分割アルゴリズムを検討し、大規模最適化における効果を検証する。
- (2) サブ集団毎に実行するアルゴリズムのハイブリッド化を行い、その効果を検証する。
- (3) 目的空間分割アルゴリズム全体としての適応化を図る。
- (4) サブ集団ごとに実行するハイブリッドアルゴリズムの適応化を図る。
- (5) 並列化による目的関数の次元数削減方法の確立と、その効果を検証する。
- (6) 実世界の大規模多数目的最適化問題への適用方法を検討する。

4. 研究成果

(1) 本研究の主な成果は、多数目的最適化のための進化的アルゴリズムの開発である。提案アルゴリズムは従来多目的最適化アルゴリズムより有意に優れています。図 1 は、提案アルゴリズム AεSεH の収束性を示しています。比較のために AεBox-NR によっての結果が含まれています。AεBox-NR は NSGA-II から改良された多数目的最適化アルゴリズムです。



(a) DTLZ2 問題, 目的数 5



(b) DTLZ2 問題, 目的数 6

図 1 収束性, さまざまな集団サイズ

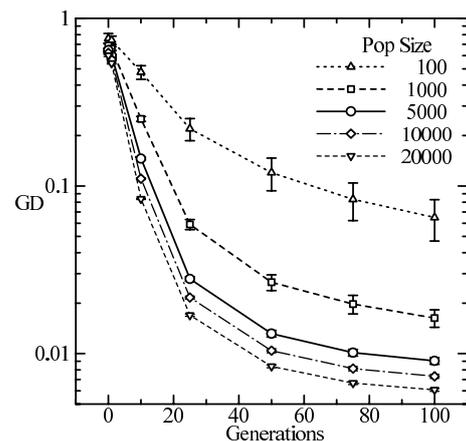
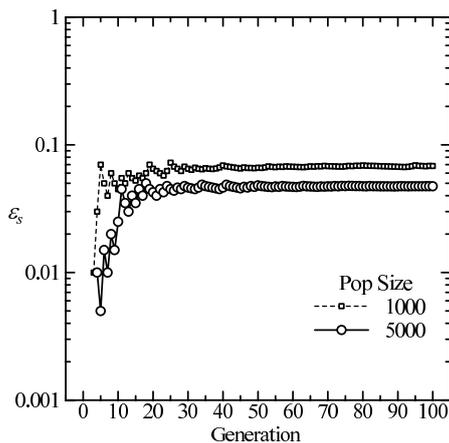


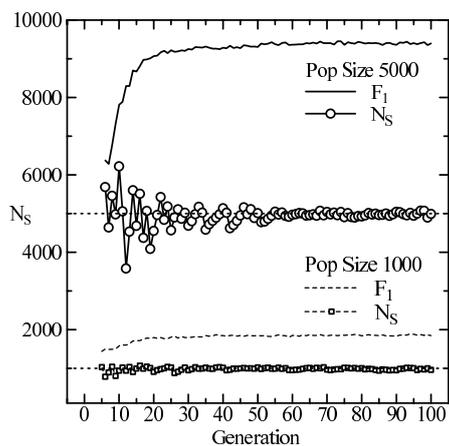
図 2 世代にわたって AεSεH の収束性

(2) 本研究は多数目的最適化における集団サイズの重要性を明らかにします。図 1 に示すように集団サイズが大きい場合、良好な収束特性を実現することができます。これは、世代にわたって $A \varepsilon S \varepsilon H$ アルゴリズムの収束性を示す図 2 でより明確に見ることができます。大きい集団サイズは大規模な並列環境で使用できます。

(3) 研究では、選択の 2 ステップのための適応の有効性を示している。生存する解を選択するために適応的手法を使用します。また、複製する解の選択するためにも適応的手法を使用します。これらの手法によってアルゴリズムのパラメーターを削減し、さまざまな最適化問題や集団サイズで信頼性を向上します。図 3(a)-(b) はイプシロンの適応と選択した集団サイズ N_s を示します。



(a) イプシロンの適応



(b) 選択した集団サイズ N_s

図 3 適応と集団サイズ

(4) 空間分割の目的の間での対立情報に基づく新しい手法を提案します。図 4 では目的数が増え、NSGA-II と比較して、2 つの空間分割の戦略によって良好な収束特性を示します。

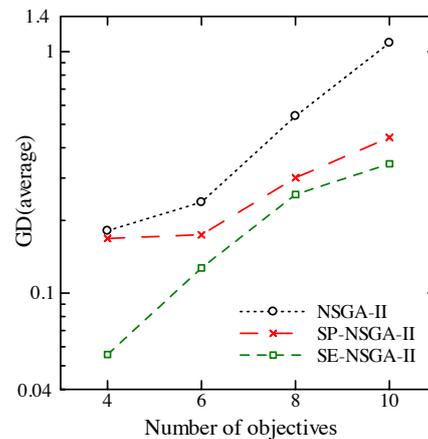


図 4 空間分割の戦略によって収束特性

(5) 多数目的最適化のための非破壊的な交叉の関連性と多数変数のためのアルゴリズムのスケールビリティを明確にします。図 5 は、50 変数問題に対する提案アルゴリズム Add と従来 NSGA-II を比較して、世代にわたって良好な収束特性を示します。

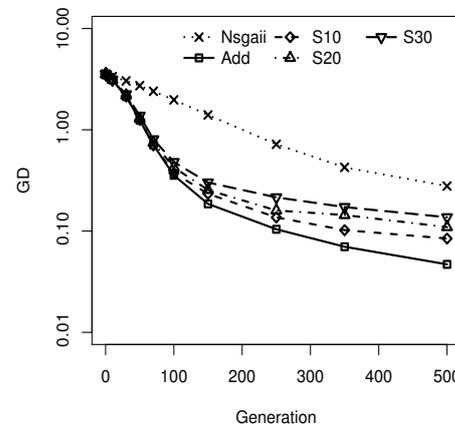
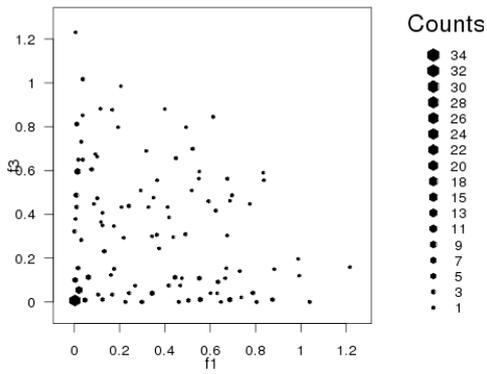


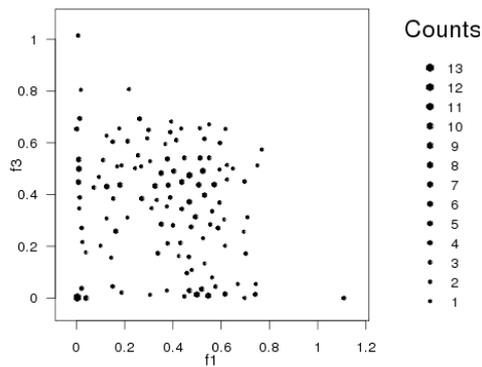
図 5 収束性、大規模 DTLZ2 問題 (50 変数, 6 目的)

(6) この研究は最適な解集合を望みどおりの解分布の検索するためのイプシロン・マッピングの有効性を示します。図 6 では 2 つのイプシロン・マッピングの手法による解の分布を示しています。一つのマッピングは、一様分布ともう一つは中間点付近で目的関数空間分布を誘導します。

(7) 多数目的最適化実問題に提案アルゴリズムの性能を確認します。宇宙航空研究開発機構から提供された DESTINY の衛星軌道設計問題に提案アルゴリズムを適用し、図 7 では最適化解集合を示します。提案アルゴリズムによって従来 NSGA-II より非常に良い結果を得られることが確認できました。



(a) 一様分布



(b) 中間点付近

図6 f1-f3 目的関数空間分布. DTLZ2 問題、目的数 6、2 つのイプシロン・マッピングの手法

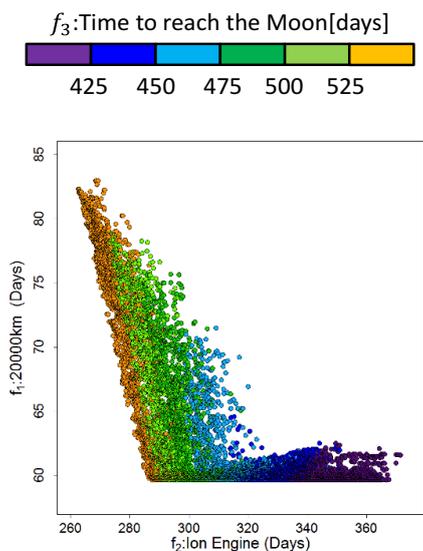


図7 DESTINY の最適化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 4 件)

- ① A López Jaimes, C. Coello, H. Aguirre, K. Tanaka, "Objective Space

Partitioning Using Conflict Information for Solving Many-Objective Problems", Information Sciences, Elsevier, 査読有, Vol. 268, pp. 305-327, 2014.

- ② H. Sato, H. Aguirre and K. Tanaka, "Evolutionary Many-Objective Optimization Combined CCG Crossover with Self-Controlling Dominance Area of Solutions: Performance Verification in 0/1 Knapsack Problems", Transaction of the Japanese Society for Evolutionary Computation, 査読有, 4, 2, 46-56, 2013. (in Japanese)
- ③ H. Sato, H. Aguirre and K. Tanaka, "Variable Space Diversity, Crossover and Mutation in MOEA Solving Many-objective Knapsack Problems", Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, Springer, 査読有, 68:197-224, 2012.
- ④ H. Sato, C. Coello, H. Aguirre and K. Tanaka, Self-Adaptive Control of the Number of Crossed Genes in Evolutionary Many-Objective Optimization: Performance Verification on Many-Objective 0/1 Knapsack Problems, Transaction of the Japanese Society for Evolutionary Computation, 査読有, 3, 3, 122-132, 2012.

〔学会発表〕 (計 54 件)

- ① M. Takahashi, Y. Akimoto, H. Aguirre and K. Tanaka, "A Subspace Extraction Strategy for Many-Objective Space Partitioning Optimization", Proc. Learning and Intelligent Optimization Conference 2014 (LION 8), Lecture Notes in Computer Science, Springer, February 17, 2014.
- ② Y. Nishio, A. Oyama, Y. Akimoto, H. Aguirre and K. Tanaka, "Many-Objective Optimization of Trajectory Design for DESTINY Mission", Proc. Learning and Intelligent Optimization Conference 2014 (LION 8), Lecture Notes in Computer Science, Springer, February 17, 2014.
- ③ S. RamezanJamaat, Y. Akimoto, H. Aguirre, and K. Tanaka, "Extended Pruning-Grafting Operators for Efficient Distribution Network Reconfiguration", Proc. 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS 2013), October 3, 2013.

- ④ N. Kusuno, H. Aguirre, K. Tanaka and M. Koishi, "Evolutionary Multi-Objective Optimization To Attain Practically Desirable Solutions", Proc. Genetic and Evolutionary Computation Conference 2013 (GECCO 2013), ACM, pp.639-646, July 10, 2013
- ⑤ M. Drozdik, H. Aguirre, and K. Tanaka, "Attempt to Reduce the Computational Complexity in Multi-objective Differential Evolutionary Algorithms", Proc. Genetic and Evolutionary Computation Conference 2013 (GECCO 2013), ACM, pp.599-606, July 8, 2013.
- ⑥ H. Aguirre, A. Liefooghe, S. Verel and K. Tanaka, "Population Size and Scalability in the AeSeH Evolutionary Many-objective Algorithm", Proc. Genetic and Evolutionary Computation Conference 2013 (GECCO 2013), ACM, pp.85-86, July 7, 2013.
- ⑦ H. Aguirre, A. Liefooghe, S. Verel and K. Tanaka, "A Study on Population Size and Selection Lapse in Many-objective Optimization", Proc. 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, IEEE Press, pp.1507-1514, June 22, 2013.
- ⑧ H. Aguirre, A. Oyama, and K. Tanaka, "Adaptive ε -Sampling and ε -Hood for Evolutionary Many-Objective Optimization", Proc. 7th International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO 2013), Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol.7811, pp. 322-336, March 20, 2013.
- ⑨ H. Aguirre, A. Liefooghe, S. Verel and K. Tanaka, "Effects of Population Size on MOEAS's Selection and Scalability to Many-objective Optimization", Proc. Learning and Intelligent Optimization Conference 2013 (LION 7), Lecture Notes in Computer Science, Springer, January 8, 2013.
- ⑩ N. Kusuno, H. Aguirre, K. Tanaka and M. Koishi, "Practically Desirable Solutions Search on Multi-Objective Optimization", Proc. Learning and Intelligent Optimization Conference 2013 (LION 7), Lecture Notes in Computer Science, Springer, January 7, 2013.
- ⑪ N. Kowatari, A. Oyama, H. Aguirre and K. Tanaka, "Analysis on Population Size and Neighborhood Recombination on Many-Objective Optimization", Proc. 12 International Conference on Problems Solving from Nature (PPSN 2012) - Part 2, Lecture Notes on Computer Science, Springer, Vol. 7492, pp.22-31, September 9, 2012.
- ⑫ H. Aguirre, A. Oyama and K. Tanaka, "Adaptive Epsilon-Ranking and Distribution Search on Evolutionary Many-objective Optimization", Proc. 2012 Italian Workshop on Artificial Life and Evolutionary Computation: Artificial Life, Evolution and Complexity (WIVACE 2012), pp.1-12, February 21, 2012.
- ⑬ N. Kowatari, A. Oyama, H. Aguirre and K. Tanaka, "A Study on Large Population MOEA Using Adaptive Epsilon-Box Dominance and Neighborhood Recombination for Many-objective Optimization", Proc. Learning and Intelligent Optimization Conference 2012 (LION 6), Lecture Notes in Computer Science, Springer, Vol. 2012, pp.86-90, January 18, 2012.

〔図書〕(計 1 件)

- ① H. Aguirre, A. Oyama, and K. Tanaka, "Adaptive epsilon-Ranking and Distribution Search on Evolutionary Many-Objective Optimization", Evolution, Complexity and Artificial Life, ISBN 978-3-642-37576-7, Editors S. Cagnoni, M. Mirolli, M. Villani, Springer, pp.241-260, 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

アギレ・エルナン (AGUIRRE, Hernan)
 信州大学・工学部・准教授
 研究者番号：50402136

(2) 研究分担者

田中 清 (TANAKA, Kiyoshi)
 信州大学・工学部・教授
 研究者番号：20273071