

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K20362

研究課題名(和文) 解評価時間の不均一性に依存しない並列進化的アルゴリズムの提案

研究課題名(英文) A Study of Parallel Evolutionary Algorithm Independent to Evaluation Time Variances

研究代表者

原田 智広 (Harada, Tomohiro)

東京都立大学・システムデザイン研究科・助教

研究者番号：40755518

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、最適化問題に対する解法の一つである進化的アルゴリズム(EA)における効率的な並列化手法(並列EA:PEA)を確立することを目的とする。従来PEAは最適化対象の解評価時間に差や偏りのような不均一性がある場合に短い計算時間で最適解を獲得できない問題がある。この問題に対し、本研究では、解評価時間の不均一性がある場合に対処可能なPEAとして、(1)最適化時の並列計算機の同期度合いを任意に調整可能な半非同期PEA、(2)解の探索進度を考慮した選択機構を導入した非同期PEA、(3)解の先行評価により計算機利用率を向上する同期型PEAを確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、代表的な最適化手法である進化的アルゴリズム(EA)の計算時間削減のための効果的な並列化手法を確立した。実世界の多くの最適化問題では、解候補の評価にシミュレーションや複雑な数値計算が必要になるなど、莫大な計算時間が必要になり、かつそれぞれの解候補の評価時間は不均一である。これに対し、本研究の研究成果によって、EAの最適化性能を低下させることなく、最適化問題に要する計算時間を大幅に削減でき、製品開発やサービス提供のプロセスを大きく加速できる。

研究成果の概要(英文)：This research proposes an efficient parallelization method for evolutionary algorithms (PEA), which are typical methods for solving optimization problems. Conventional PEA has a problem of not obtaining the optimal solution in a short computation time when the evaluation time of solutions differs and is biased. To address this problem, this research has proposed the following three PEA approaches; (1) semi-asynchronous PEA that can arbitrarily set the asynchrony of parallelization during optimization, (2) asynchronous PEA that introduces a selection mechanism considering the search progress of solutions, and (3) synchronous PEA that improves the computer utilization rate by the precedence evaluation.

研究分野：知能情報学

キーワード：進化計算 並列計算 最適化

1. 研究開始当初の背景

進化的アルゴリズム (**Evolutionary Algorithm: EA**) は、対象となる問題の特性によらず適用可能という特徴から幅広い分野の最適化問題に対する解法として利用されている。**EA** は、最適化対象の解の評価値を数万回から数百万回求める必要があるが、実問題では解評価に膨大な計算時間を要するため、**EA** の計算時間が増大する。**EA** の計算時間を削減する方法として、解評価を複数の計算機で同時に処理する並列化 **EA** (**Parallel EA: PEA**) が研究されている。**PEA** の実問題への応用として、マツダ株式会社の車両設計最適化に関する研究がある。この研究では、車両の剛性評価のための物理シミュレーションに莫大な計算時間が必要であり、**PEA** による高速化が必須である。このように、**PEA** は実問題への **EA** の応用に必須の技術である。

実世界の最適化問題では、複数の解候補の間で評価時間の差や、探索領域ごとの評価時間の偏りが生じる。例えば、車両設計最適化では、複雑な構造ほど解評価 (シミュレーション) に時間を要する評価時間の差が生じる。一方、ロボットの歩行制御最適化では、歩行距離が評価値となるため、評価値が低い (歩行距離が短い) ほど評価時間が短く、評価値が高い (歩行距離が長い) ほど評価時間が長いという評価値に応じた評価時間の偏りが生じる。

2. 研究の目的

PEA では、解評価時間の差や偏りのような不均一性がある場合に、解評価の待機時間や解選択順序の変化により、探索性能が低下する問題がある。具体的には、すべての解評価を待機する同期 **PEA** では、解評価時間の差が大きい場合に最も評価時間の長い解を待機する必要があり、計算時間が増大する。一方、一つの解評価だけを待機して新しい解を生成する非同期 **PEA** では、局所解の評価時間が最適解と比べて短い場合、評価時間の短い局所解の探索回数が増加し、局所解に陥る。

そこで、**PEA** の実用化に向けては、解評価時間の不均一性への対処が必須となる。しかし、一般に、解評価時間の不均一性は未知のため、それぞれの評価時間の不均一性に特化した方法を **PEA** に組み込むことは現実的ではない。そのため本研究では、解評価時間の不均一性に左右されずに短時間で最適解を獲得可能な新しい **PEA** を提案し、その有効性を計算機実験で検証することを目的とする。具体的には、事前の設定なしに最適化の過程で動的に処理を変更することで解評価時間の不均一性に対応可能な **PEA** を探求する。

3. 研究の方法

解評価時間の不均一性に左右されない **PEA** の実現に向け、以下のサブテーマを設定する。

[サブテーマ 1] 解評価時間の偏りの大きな最適化問題に適用可能な非同期 **PEA** の考案

[サブテーマ 2] 解評価時間の偏りの大小によらず最適化可能な非同期 **PEA** の考案

[サブテーマ 3] 解評価時間の差と偏りの大小によらず最適化可能な半非同期 **PEA** の考案

本研究では、複数のマルチコア計算機からなる計算機クラスタを用いて実験し、最適化に要する計算時間と最終的に得られる最適解の質に基づいて評価する。実験では、解評価時間の差と偏りの大小を変更可能なベンチマーク問題を用いるだけでなく、実世界の最適化問題に提案手法を適用する。

4. 研究成果

本研究では、解評価時間の差と偏りの不均一性によらず短時間で最適解を獲得可能な **PEA** の実現に向け、令和元年度では、解評価時間の差に対しては頑健であるが、偏りに対して性能が低下する非同期 **PEA** を対象として、(サブテーマ 1) 解評価時間の偏りの大きな最適化問題に適用可能な非同期 **PEA** の考案と、(サブテーマ 2) 解評価時間の偏りの大小によらず最適化可能な非同期 **PEA** の考案に取り組んだ。まず、(サブテーマ 1) に関しては、解評価時間と探索母集団、並列計算機の確率モデルで表現し、世代交代による確率モデルの遷移を分析した。この研究の結果、解評価時間の偏りがある場合の非同期 **PEA** の母集団分布を確率モデルで表現することに成功し、かつその収束状態から非同期 **PEA** が解評価時間の短い領域に偏ることを理論的に示した。また、解評価時間の長い領域の選択確率を増加させることで母集団分布の偏りを解消できることを示した。確率モデルから導出される母集団分布が、実際の非同期 **PEA** により得られる母集団分布をよく近似することを確認した。次に、(サブテーマ 2) では、母集団分布の偏りを抑制するために解評価時間の逆数に比例した確率に基づいて **EA** における親個体選択・自然淘汰を実行することで、解評価時間の偏りの大小によらず母集団分布の偏りを解消できることを確率モデルから明らかにした。また、単純な非同期 **PEA** を用いた計算機実験を通して、実際の最適化においても解評価時間の偏りによらず母集団分布の偏りを抑制できることを示した。

令和 2 年度には、同期型と非同期型の 2 つのアプローチで (サブテーマ 3) 解評価時間の差と

偏りの不均一性に対処可能な **PEA** を確立した。同期型のアプローチでは、解評価時間の差がある場合に並列計算機の待機時間が発生する問題を解決するための不連続世代 **PEA** を探求した。具体的には、同期型 **PEA** で先行的に評価可能な個体を待機中の計算機で評価することで、計算機の利用率を向上させ、計算時間を削減する方法を確立した。また、提案手法を連続値最適化で高い性能を有する差分進化に適用し、単純な同期型と比較して探索性能を保ったまま計算時間を削減可能であることを示した。一方、非同期型のアプローチでは、評価時間が短い領域の解が重点的に探索されることに着目し、解ごとの探索頻度を考慮した親選択法を考案した。この実現のために、解ごとに子個体を生成した回数(探索頻度)を記録する機構を考案した。評価時間に偏りがある場合、評価時間の短い個体は探索頻度の値が大きく、評価時間の長い個体は値が小さくなる。そして、親選択時には探索頻度の少ない個体から優先的に選択する機構を導入することで、評価時間の短い領域が重点的に探索されることを抑制可能にした。評価時間の偏りを持つテスト問題を用いた計算機実験の結果、提案手法が評価時間の偏りの影響を受けずに同期型、非同期型よりも短時間に最適解を獲得可能であることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tomohiro Harada, Keiki Takadama	4. 巻 24
2. 論文標題 Analysis of semi-asynchronous multi-objective evolutionary algorithm with different asynchronies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soft Computing	6. 最初と最後の頁 2917-2939
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00500-019-04071-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Harada Tomohiro, Alba Enrique	4. 巻 53
2. 論文標題 Parallel Genetic Algorithms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACM Computing Surveys	6. 最初と最後の頁 1~39
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3400031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Harada Tomohiro, Kaidan Misaki, Thawonmas Ruck	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison of synchronous and asynchronous parallelization of extreme surrogate-assisted multi-objective evolutionary algorithm	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Natural Computing	6. 最初と最後の頁 1-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11047-020-09806-2	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14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 10件）

1. 発表者名 Tomohiro Harada, Kei Murano, Ruck Thawomnas
2. 発表標題 Proposal of Multimodal Program Optimization Benchmark and Its Application to Multimodal Genetic Programming
3. 学会等名 IEEE Congress on Evolutionary Computation 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Harada
2. 発表標題 Mathematical Model of Asynchronous Parallel Evolutionary Algorithm to Analyze Influence of Evaluation Time Bias
3. 学会等名 IEEE 6th the Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering 2019 (IEEE CSDE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Enzhi Zhang, Tomohiro Harada, Ruck Thawonmas
2. 発表標題 Using Graph Convolution Network for Predicting Performance of Automatically Generated Convolution Neural Networks
3. 学会等名 IEEE 6th the Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering 2019 (IEEE CSDE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shubu Yoshida, Tomohiro Harada, Ruck Thawonmas
2. 発表標題 Multimodal Genetic Programming Using Program Similarity Measurement and Its Application to Wall-Following Problem
3. 学会等名 ACM Genetic and Evolutionary Computation Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大塚 一路, 原田 智広, ターウォンマツト ラック
2. 発表標題 多制約多目的最適化問題に対する変分オートエンコーダを用いる評価値推定と解修復による進化計算法
3. 学会等名 第44回知能システムシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野口 隼, 原田 智広, ターウォンマツト ラック
2. 発表標題 制約条件を考慮した ISDE+ を用いた風力発電用風車の多目的設計最適化
3. 学会等名 第17回進化計算学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉野 創平, 原田 智広, ターウォンマツト ラック
2. 発表標題 多峰性プログラム最適化ベンチマークの提案と多峰性遺伝的プログラミングによる検証
3. 学会等名 第17回進化計算学会研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辻野 幸希, 原田 智広, ターウォンマツト ラック
2. 発表標題 ELMOEA/DIにおける代替評価モデルの推定誤差と探索性能の関係性分析
3. 学会等名 第16回進化計算学会研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hayato Noguchi, Tomohiro Harada, Ruck Thawonmas
2. 発表標題 arallel Differential Evolution Applied to Interleaving Generation with Precedence Evaluation of Tentative Solutions
3. 学会等名 ACM Genetic and Evolutionary Computation Conference 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohiro Harada
2. 発表標題 Search Progress Dependent Parent Selection for Avoiding Evaluation Time Bias in Asynchronous Parallel Multi-Objective Evolutionary Algorithms
3. 学会等名 2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Harada
2. 発表標題 A Study on Efficient Asynchronous Parallel Multi-Objective Evolutionary Algorithm with Waiting Time Limitation
3. 学会等名 Theory and Practice of Natural Computing 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hayato Noguchi, Akari Sonoda, Tomohiro Harada, Ruck Thawonmas
2. 発表標題 Interleaving Generation Evolutionary Algorithm with Precedence Evaluation of Tentative Offspring
3. 学会等名 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sohei Kino, Tomohiro Harada, Ruck Thawonmas
2. 発表標題 Proposal of Surrogate Model for Genetic Programming Based on Program Structure Similarity
3. 学会等名 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koki Tsujino, Tomohiro Harada, Ruck Thawonmas
2. 発表標題 Analysis of Relation between Prediction Accuracy of Surrogate Model and Search Performance on Extreme Learning Machine Assisted MOEA/D
3. 学会等名 2020 59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

原田智広個人ホームページ http://www.comp.sd.tmu.ac.jp/tomohiro-harada/ 東京都立大学システムデザイン学部/大学院システムデザイン研究科ホームページ https://www.sd.tmu.ac.jp/ 東京都立大学システムデザイン学部電子情報システム工学科 http://www.comp.sd.tmu.ac.jp/eecs/

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		
スペイン	University of Malaga		