

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K00339

研究課題名（和文）遺伝的プログラミングにおける効果的な木構造探索法の研究

研究課題名（英文）A Study on an Efficient Searching Procedure for Genetic Programming

研究代表者

大木 誠（OHKI, Makoto）

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00263484

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）：多数目的GP（MaOGP）のための効果的な探索法として部分サンプリングを提案した。この手法を簡素化し、計算効率を向上させた。MaOGPおよび多数目的組合せ最適化（MaCOP）のための異なる難易度のベンチマーク問題を提案し、4目的以上の問題に対して有効でないと考えられていたNSGA-IIやSPEA2などが有効であることを実証した。MaOGPのための参照点ベース進化計算法のための従来の参照点集合生成法では参照点数が限定されていたが、新たに単位超平面や単位超球面上に一樣に分布する任意個数の参照点集合生成法を提案した。研究成果を総合病院における看護師勤務表作成問題に応用し、実用的な勤務表を獲得した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

部分サンプリングは、従来の単純な部分木構造の操作とはことなり、広い範囲の木構造サイズを探索可能であることから、十分な木構造最適化が可能である。この部分サンプリングによる多数目的GPは、会社間の取引や工場運営、政策決定などの実社会の意思決定問題に直接貢献できる。本研究を進めるための新しいベンチマーク問題は、本研究のみならず将来の組合せ最適化の研究の発展にも寄与する。

研究成果の概要（英文）：Partial sampling is proposed as an effective search method for Many-Objective GP (MaOGP). Benchmark problems having different difficulties for MaOGP and Many-objective Combinatorial Optimization Problems (MaCOP) are proposed, demonstrating the effectiveness of NSGA-II, SPEA2, etc., which were thought to be ineffective for such problems with four or more objectives.

A new method which generates arbitrary number of reference points uniformly distributed on the unit hyperplane or unit hypersphere has been proposed, whereas the conventional method for the reference point-based evolutionary computation method for MaOGP is limited in the number of reference points. The research results are applied to Nurse Scheduling for general hospitals, and a practical work schedule has been obtained.

研究分野：情報エレクトロニクス

キーワード：多数目的Genetic Programming 部分サンプリング変異 木構造最適化 組合せ最適化 多数目的最適化
ベンチマーク問題 看護師勤務表最適化 参照点集合

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) 木構造を最適化する手法として、GP(Genetic Programming)や DE(Differential Evolution)などの進化的最適化法が有効である。このような最適化アルゴリズムはいずれも GA(Genetic Algorithm)をベースとしており、最適化では膨大な回数の変異(新たな木構造の生成)および評価を行う必要がある。また、最適化の過程で、生成した木のサイズが増大し、計算機の資源を無駄に消費した結果、最適化が停止してしまうプロートと呼ばれる現象が問題となる。私はこれまでに、無駄な部分木を削減してプロート抑制に有効な手法を提案している[1]が、この手法でも必ずしもプロートを完全に解消することはできていない。またいずれの従来手法でも、木構造サイズの広範囲にわたる探索は実現されていない。

(2) プロートを抑制し、効果的な変異を行う試みとして「Size-fair モデル GP」やこれを改良した手法[2]、また「90/10 交叉」[3]など様々な研究が行われてきた。これらのアイデアは主に、木の深さを制限することと木のサイズに応じた評価関数、そして追加ノードの種類制限(終端子と非終端子)などに基づいている。しかし、いずれの手法でも僅かなプロート抑制の効果しか得られず、効果的な木構造探索は達成されていない。

(3) 近年、個体内の部分的な確率分布に基づいて新たな個体を生成する EDA (Estimation of Distribution Algorithm) [4]が再び注目され、GP において効果的な探索が可能と考えられている。しかし EDA は個体内の確率分布算出に要する計算コストが膨大で、実際の最適化問題に適用するのは現実的ではない。一方、PORTS[5]は複数の親個体の木構造から木構造断片を切り出して結合させるもので、木構造をもつ個体の確率モデルを計算することなく広範囲の木構造サイズを探索することに成功している。しかし PORTS は EDA のような確率モデルに基づいていないため、世代ごとの親個体集団にのみ依存しており、多様性に乏しい木構造再生しか行えない。しかも、実際の最適化問題に適用すると、乱数計算を多用しているため計算コストの問題が浮上し、また部分的な木の探索能力は備えておらず、必ずしも効果的ではない。

(4) 私はこれまでに、看護師勤務表最適化[6]や大規模ホームセンターでの短時間労働者勤務表最適化[7]などの混合組合せ最適化問題に関する研究や意思決定ルールベース最適化などの木構造組合せ最適化問題などへの進化的最適化法に関する実践的な研究に取り組んできた。その経験の中で、評価機構を木構造で表現し最適化することの必要性や、実現可能性を考慮した効果的な木構造最適化手法が存在しないことを痛感している。本研究課題を遂行し、効果的で実用的な木構造探索手法を確立することにより、当該分野の飛躍的な発展が期待できる。

2. 研究の目的

(1) 木構造データの効果的な最適化手法である Genetic Programming (GP) について研究する。木構造は、if-then-else 形式のルール構造体や複雑な合成関数、スケジューリング問題の評価指標、VLSI モジュール配置など様々な事象を表現するのに有効である。GP では木構造を効果的に探索する機構が必要がある。木構造は複雑でしかも全体を見渡すことができないため、効果的に探索することは困難である。従来探索手法よりも計算コストが小さく、木構造の部分的な探索を可能とし、さらにプロート現象を抑制できる木構造探索手法を確立する。

(2) GP の最適化性能を検証するためのベンチマークとして、RoyalTree や Symbolic Regression など従来手法では複雑で多数目的問題に対応できないため、新しい多数目的 GP 問題を提案する。更に、看護師勤務表の評価ペナルティ関数群の最適化[6]などの実世界の最適化問題に提案手法

を適用する。

(3) 多数目的 GP を効果的に解くための多数目的組合せ最適化アルゴリズムを確立する。本研究では、主に多数目的組合せ最適化に有効な選択戦略および参照点生成法について重点的に検討する。

3. 研究の方法

(1) EDA の効果を損なわずに広範囲の木構造サイズを探索する手法の確立

EDA では最適化過程に現れた全ての個体（木構造）の出現確立を求め、確率モデルに従って新たな個体（子木構造）を生成する。しかし確率モデルの計算には膨大な計算コストが必要で、実用的な手法ではない。これに対し、確率モデルの計算を簡略化し、近似的な確率モデルに基づいて子木構造を生成する手法を確立する。ここで問題になるのは、近似確率モデル獲得の計算コストと近似確率モデルの正確性のトレードオフであるが、これを簡単なパラメータを設定することによって設定できる仕組みはすでに提案している。

(2) 木構造の部分的な探索を高速に実行する手法の確立

PORTS の木構造再生機構の効果を失わず、PORTS の操作を簡略化した木構造探索手法を確立する。PORTS では2種類の遷移を行うが、これでは木構造の部分的な探索は不十分である。これに対し、①における近似確率モデルに基づき、部分探索を行える遷移を追加する。また PORTS では遷移による子木構造生成の際に膨大な回数の乱数計算が行われる。PORTS のアルゴリズムを簡略化することで、乱数計算を削減し、高速に木構造探索する手法を確立する。③両者を融合した新たな木構造探索アルゴリズムを確立する。

(3) ベンチマークによる有効性の検証

ベンチマークによる有効性の検証確立した木構造探索手法を、木構造探索のベンチマークとして有名な RoyalTree 問題[8]や 6-Multiplexer 問題、Symbolic Regression 問題[3]などに適用し、その有効性を検証する。評価に際しては、最適化に要した世代数や最適化結果の良し悪しだけでなく、最適化の各世代までに現れた木構造サイズの分布を調べることで、広範囲に木構造が探索できることを示す。

(4) 看護師勤務表最適化問題における評価機構の最適化への適用

看護師勤務表の評価内容（弱制約条件）を13個のペナルティ関数に集約している。しかし先行研究[6]ではこれらをスカラー化しており、本来の評価内容の表現が不十分で、エンドユーザが望むような評価が実現できていない。そこで、評価指標を if-then-else 形式のルールベースによって表現し、ルール間の結合関係を提案手法③を備えた GP によって探索し、ルールが含む数値パラメータを粒子群最適化法 (Particle Swarm Optimization, PSO)によって交互に最適化する手法を考えている。これによりエンドユーザが望む評価内容を計算機上で実現でき、得られる看護師勤務表もエンドユーザが本来望むものになると期待できる。GP と PSO を交互に実行して木構造を最適化する手法は先行研究[7]において既に提案している。

4. 研究成果

(1) プロート現象を抑制しながら多数目的 Genetic Programming (MaGP) の探索性能を向上させるために、配列による木構造の新しい表現法、部分サンプリング (Partial Sampling; PS) による交配操作 (図1および図2) および木構造間距離をそれぞれ提案した。NSGA-IIにおける混雑距離 (Crowding Distance; CD) に替えてSDを適用した改良型NSGA-IIによってGPを行った。従来手法結果を図4に示す。従来の交叉・突然変異 (CO+MU) およびCDを用いた場合に比べ

て、提案したPSおよびTSDによって大幅にMaGPの性能を向上させることに成功した(図3)。

(2)部分サンプリングの操作を簡素化する手法を提案し、計算効率を向上させた。木構造サイズおよび母集団内での木構造間距離のばらつきを目的に追加することによって最適化結果の収束性が高まることも示した(図4)。

(3) 多数目的GPのための新しいベンチマーク問題として多数目的ナップサック問題(MaKSP)のアイテム選択ベクトルを木構造による解析関数によって与えるベンチマーク問題を提案し、MaGPアルゴリズムの性能評価の有効性を示し、さらに当該問題に対するIGDメトリックによる評価のための参照点集合の生成法を提案した。多数目的GPベンチマーク問題に対して、4目的以上の問題に対して有効でないと考えられていたNSGA-IIやSPEA2などの支配ベースの進化計算法に対し、部分支配の手法を提案し有効性を実証した。

(4) 4個以上の目的を有する多数目的GP問題を解くためのNSGA-IIIおよびIGDベース進化アルゴリズムなどの参照点ベースの進化計算法に対して、新しい参照点集合の生成法を提案した。新しい参照点集合をNSGA-IIIやIGDベースの多数目的最適化アルゴリズムに適用し、新しいベンチマーク問題における有効性を示した。提案手法を用いて3次元単位超球面上に配置した例を図5に、それぞれ示す。当該成果では、従来手法を用いた場合より、収束性が高まっていることを示した。

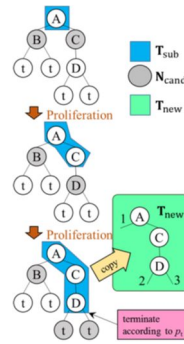


図1. 部分サンプリングにおける増殖操作

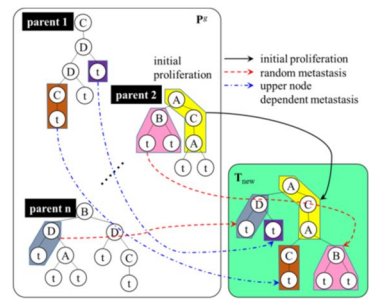


図2. 部分サンプリングにおける転移操作

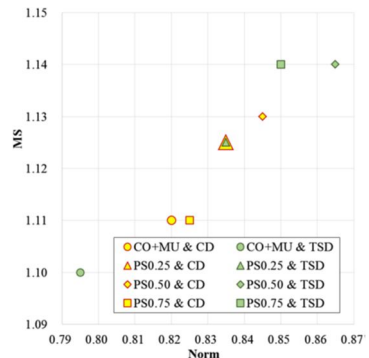


図3. MaGP 実行結果の比較

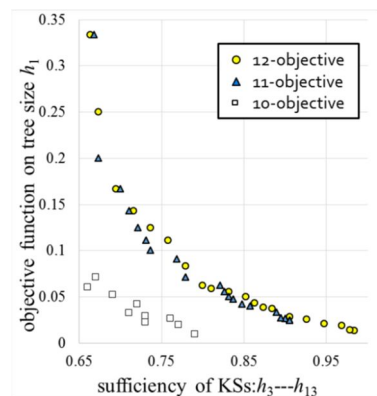


図4. 多数目的GP問題に対する目的追加の効果

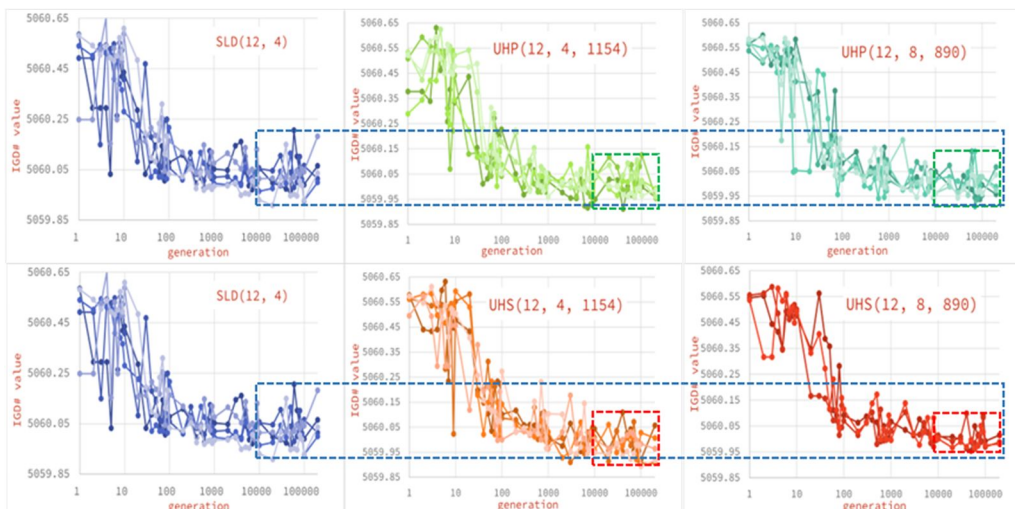


図5. 提案手法によって生成した参照点を用いて最適化したいずれの場合でも、従来手法(SLD)を用いた場合より収束性(IGD+の値が小さい)が向上した。

(5) 多数目的組合せ最適化の新しいベンチマーク問題として、3種類の多数目的巡回セールスマン問題 (MaTSP) および2種類の多数目的オープンショップ・スケジューリング問題 (MaOSP) を提案した。

(6) 多数目的組合せ最適化の応用として、大規模DIYショップにおける短時間労働者勤務表自動生成および総合病院における看護師勤務表自動生成に取り組んだ。この問題は39個の目的を有し、従来の手法では効果的な最適化が行えなかったが、MOEA/Dを改良することで最適化が進行することを示した(図6)。更に目的間の関係を整理して目的数を25に削減し、実用的な看護師勤務表が獲得できた。また、1回の試行における更新部分問題数の推移を図7に示す。最適化開始後、一旦、更新される部分問題は減少するが、その後、回復し最適化が進行していることが示された。

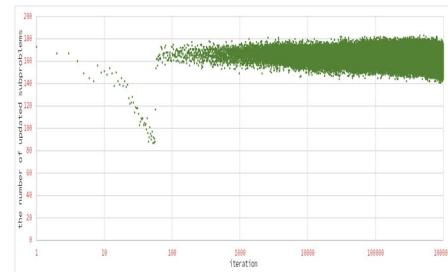


図7．最適化世代に対する更新部分問題数の推移

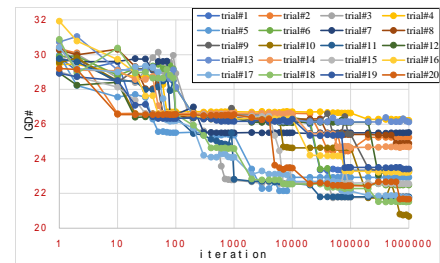


図6．看護師勤務表最適化を20回試行した場合の進行状況

<引用文献>

[1] 大本, 竹花, 大木 誠, “株式会社イトレーディングルール最適化問題における最適化期間と取引日に関する検討,” SIS2013-39 (2013-12) (2013).

[2] 小野, 花田, GP における頻出構造に着目した複合的プロト抑制戦略”, 2014-MPS-100(20)(2014).

[3] J.R.Koza, Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection”, MIT Press (1992).

[4] K.Sastry & D.E.Godberg, “Probabilistic model building and competent genetic programming”, Genetic Programming Theory and Practise (2003).

[5] 丹治, 伊庭, “木構造のランダムサンプリングによるGP の個体生成手法の提案と評価”, IEEJ Trans. EIS, vol.130, no.5 (2010).

[6] Makoto Ohki, “Nurse Scheduling by Cooperative GA with Effective Mutation Operator,” IEICE Trans. Information and Systems, Vol.E95-D, No.7, pp1830-1838 (2012).

[7] 大木 誠, 中嶋, 岸田, “共存型遺伝的アルゴリズムを用いた大規模ホームセンタにおける短時間労働者勤務表の作成及び最適化,” 電子情報通信学会論文誌D, Vol.J97-D, No.1, pp.192-203 (2014).

[8] B.Punch, D. Zongker and E.Goodman, “Advances in genetic programming; volume 2”, pp.299-316, MIT Press (1996).

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 1件）

1. 著者名 Makoto OHKI	4. 巻 No.3, Vol.1
2. 論文標題 Multi-objective genetic programming with partial sampling and its extension to many-objective	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SN Applied Sciences, Springer	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） 10.1007/s42452-019-0208-y	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19件（うち招待講演 0件/うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Khan Md Kawsar, Haruto Takeuchi, and Makoto Ohki
2. 発表標題 An Experimental Application of Multi-Objective Evolutionary Algorithm to Many-Objective Nurse Scheduling for Real General Hospitals
3. 学会等名 36th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC). IEEE (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeuchi Haruto, Md Kawsar Khan, and Makoto Ohki
2. 発表標題 Reference Points Generated on Unit Hypersurfaces for MaOEAAs
3. 学会等名 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT). IEEE (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ohki, Makoto
2. 発表標題 A Fundamental Technique Generating Reference Points on Hypersurfaces for MaOEAAs
3. 学会等名 IEEE 19th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY). IEEE (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内 晴人, Md. Kawsar Khan, 大木 誠
2. 発表標題 参照点集合に基づく多数目的最適化進化アルゴリズムに関する検討
3. 学会等名 The 23rd IEEE Hiroshima Section Student Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲垣水希斗, 竹内晴人, 大木誠
2. 発表標題 多数目的組合せ最適化ベンチマーク問題に関する検討
3. 学会等名 2021年度(第72回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹内晴人, 森保駿也, 大木誠
2. 発表標題 多数目的進化計算のためのほぼ一様な参照点集合生成に関する検討
3. 学会等名 2021年度(第72回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森保駿也, 竹内晴人, 大木 誠, 櫛田大輔, 庄川久美子
2. 発表標題 MOEA/Dを用いた看護師勤務表の多数目的最適化
3. 学会等名 2020年度(第71回)電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内晴人, 森保駿也, 大木 誠
2. 発表標題 多数目的進化計算のためのほぼ一様な参照点集合生成に関する検討
3. 学会等名 2020 年度 (第 71 回) 電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内晴人, 森保駿也, 大木 誠
2. 発表標題 A Consideration on Many-Objective GP Applied with NSGA-III based on Uniformly Distributed Reference Points on the Unit Hypersphere
3. 学会等名 the 22nd IEEE Hiroshima Section Student Symposium
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ohki Makoto
2. 発表標題 Effectiveness of NSGA-II with Linearly Scheduled Pareto-Partial Dominance for Practical Many-Objective Nurse Scheduling
3. 学会等名 2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ohki Makoto
2. 発表標題 Verification of Applicability of MOEAs to Many-Objective GP Problem
3. 学会等名 2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ohki Makoto
2. 発表標題 A benchmark with facile adjustment of difficulty for many-objective genetic programming and its reference set
3. 学会等名 GECCO '20: Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Makoto Ohki
2. 発表標題 An Effective Many-Objective Extension of Genetic Programming and Its Benchmark
3. 学会等名 2019 IEEE First International Conference on Digital Data Processing (DDP) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Makoto Ohki
2. 発表標題 Partial Sampling Operator and Tree-structural Distance for Multi-objective Genetic Programming
3. 学会等名 2018 IEEE International Conf. on Computer and Applications (ICCA 2018, Beirut-Lebanon, 25-26, July, 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ohki
2. 発表標題 Linear Subset Size Scheduling for Many-objective Optimization using NSGA-II based on Pareto Partial Dominance
3. 学会等名 15th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ohki
2. 発表標題 Linear Subset Size Scheduling for Many-objective Optimization using NSGA-II based on Pareto Partial Dominance
3. 学会等名 15th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ohki
2. 発表標題 Many-Objective Nurse Scheduling Using Pareto Partial Dominance with Linear Subset-Size Scheduling
3. 学会等名 10th International Joint Conf. on Computational Intelligence (IJCCI 2018, Seville-Spain, 18-20, Sep. 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ohki
2. 発表標題 Partial Sampling Operator and Tree-structural Distance for Multi-objective Genetic Programming
3. 学会等名 10th International Joint Conf. on Computational Intelligence (IJCCI 2018, Seville-Spain, 18-20, Sep. 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Ohki
2. 発表標題 Shift Scheduling of Short Time Workers in Large-Scale Home Improvement Center by Using Cooperative Evolution
3. 学会等名 International Conference on Soft Computing MENDEL2017 (国際学会)
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------