

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：34316

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26730133

研究課題名(和文) - 多様性に基づく遺伝的プログラミングにおける探索バイアス制御手法の開発と応用

研究課題名(英文) A Study of Searching Bias based on a-b Diversity in Genetic Programming

## 研究代表者

小野 景子 (Ono, Keiko)

龍谷大学・理工学部・講師

研究者番号：80550235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：遺伝的プログラミング(GP)の汎用性の高い探索バイアスを開発と、解析からの知見を基にした適用指針の確立と複雑な環境制約の元での自律制御プログラムの自動生成問題への適用することが本研究の目的である。探索バイアスの開発に関しては、探索と探査のバランスの制御を実現する上位の意思決定を実現する手法を提案した。具体的には、(1)幾何学的特徴量を用いた設計解間の距離(類似性)を定義、(2)類似度ネットワークの自動クラスタリング技術を用いた多様性の制御を提案した。提案法の性能検証はベンチマーク問題と照明制御問題を用いて行い、その性能を確認した。

研究成果の概要(英文)：A parallel model encourages genetic diversity and frequently shows a better search performance than do single population models. To enhance the parallel model, it is important to consider a balance between local and genetic search. In GP, individuals have various features, and, so it is difficult to determine which feature is the most effective. Therefore, we proposed a novel adaptive subpopulation model (cuSASGP). The proposed method automatically generates a correlation network on the basis of the difference between individuals in terms of not only a fitness value but also node size and generates subpopulations by network clustering. Using three benchmark problems, we demonstrate that performance improvement can be achieved, and that the proposed method significantly outperforms a typical method. Moreover, we verify that genetic diversity can be achieved by adopting subpopulation models such as the island method and cuSASGP in the lighting control problem.

研究分野：進化計算

キーワード：遺伝的プログラミング 並列モデル 遺伝的多様性 ネットワーククラスタリング

## 1. 研究開始当初の背景

設計解が木構造で表現される設計問題において、遺伝的プログラミング(以下、GP)は適用のしやすさから実社会の広い分野において、設計支援が必要な分野で必要不可欠な技術手法となっている。より良い解構造を得るために多様性を向上や精度を上げるための局所探索の導入など探索に応じた適応的な探索バイアスの設計が重要である。これまでに並列モデルを用いた探索バイアスの改良やALPSと呼ばれる並列モデルのstate-of-the-artなど、数多くの手法が提案されているが、GPの解構造の特徴である木構造を考慮した設計解の幾何学的特徴量を取り入れた手法の重要性は指摘されながらも困難さから開発されていない。そこで、本研究では、設計解の幾何学的特徴量を取り入れた、GPにおける探索バイアスの設計を目指す。

## 2. 研究の目的

GPの汎用性の高い探索バイアスを開発と、解析からの知見を基にした適用指針の確立と複雑な環境制約の元での自律制御プログラムの自動生成問題への適用することが本研究の目的である。

具体的には大きく分けて次の2点を目標とした。

### (1) 設計解の幾何学的特徴量を取り入れた探索バイアスの設計

探索バイアスは最適解を探索する方向や局所的な探索、大域的な探索を制御するものであり、効率的な探索に不可欠である。GPの解構造は木であるため、多様性、局所性を議論するには、解の幾何学的特徴量に基づいている必要がある(例えば、解構造が似ている、似ていないなど)。しかしながら、木構造同士の類似性の算出は計算コストが非常に高いため、これまでGPの並列モデルにおいて扱われてこなかった。半構造木の共通部分木を実時間で抽出する手法や木の大きさの類似性に基づく手法を適用することで、幾何学的特徴量に基づく探索バイアスの構築を目指す。

また、個体同士の類似度をもとに個体群を再構成することで、適応的に大域的な探索、局所的な探索を切り替える手法の実現を目指す。

### (2) ベンチマーク問題と実問題を用いた提案法の性能

提案法の検証を、GPの性能検証として広く使われている関数同定問題、Santa Fe Trail問題を対象に行う。また、ベンチマーク問題だけでなく、照明の明るさ制御(照明の出力制御)問題を取り上げ、提案法の実問題における性能を検証する。

## 3. 研究の方法

研究の目的の(1)および(2)に関して、それぞれ

の方法を述べる。

### (1) に関する方法

探索バイアスの開発に関しては、探索と探索のバランスの制御を実現する上位の意思決定を実現する手法を提案した。具体的には、次の2点を解決する必要がある。(a)どのような幾何学的特徴量を用いて設計解間の距離(類似性)を定めるか、(b)多様性のバランスをどのように定め制御するか。

(a)に関しては、解の評価値と解の大きさの類似度を用いて、解の距離を測る。一般的に多様性を考える上で、解の近さは評価値に基づいて定義されることが多いが、GPの場合、解の大きさ(木構造のサイズ)が一定でなく、ノード数が少ないものから非常に多いものまで様々である。そのため、解の評価値のみで多様性が測るのではなく、解の大きさを考慮する、つまり解の幾何学的な形質を考慮に入れる。

(b)に関しては(a)に基づく類似度ネットワークを作成し、ネットワーククラスタリングを適用し、特徴量が似た個体で一つのクラスタを形成されるようにする。この結果、特徴量が似ている、つまり、クラスタ内に存在する個体同士の局所的な探索と、複数のクラスタに分かれることによる大域的な探索を同時に行うことができる。

しかし、複数の類似度から類似度ネットワークを形成する際に、指標が多くなればなるにつれ、類似度間の組み合わせ数が多くなるため、類似度の形成に計算時間がかかる。そこで、GPUおよび並列プログラミングライブラリのCUDAを使用し、計算時間の増加を抑える。

### (2) に関する方法

提案法をGP手法の性能検証でよく使われる、ベンチマーク問題を用いて、検証を行う。提案法は評価値と解の形質的特徴量を用いて探索バイアスを制御しているため、比較は提案法と標準的なGP手法、提案法の枠組みで評価値のみを使う場合、解の形質のみを使う場合との比較検証を行う。また、実問題における性能の検証として、申請者がこれまでに取り組んできたGPを用いた照明の明るさ制御問題[1]を取り上げる。この問題は個々に照明の出力を制御できる天井照明を用い、複数のユーザーが要求するそれぞれの場所に要求する照度(明るさ)を実現する照明の出力パターンを求める問題である。ユーザーが要求する照度が異なる場合、満足する照度パターンを得ることは難しくなり、局所最適解が複数ある最適化問題となる。ユーザーの要求との誤差を最小にする、照明の出力を上げる、下げるためのルールをGPにより学習する。

## 4. 研究成果

### (1) に関する成果

提案法の探索バイアスの設計に関して、

IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)2015 において、「A CUDA-based Self-adaptive Subpopulation Model in Genetic Programming: cuSASGP」というタイ

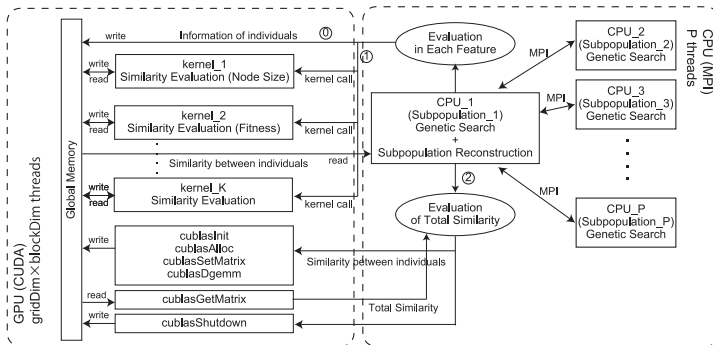


Fig.1 提案法の流れ

トルで発表した。提案法の流れを Fig.1 に示す。複数のサブ集団を CPU 上で形成し、そのサブ集団の再構成を解の類似度に基づき行う。解の類似度ネットワークは GPU を用いて作成し、ネットワーククラスタリングでサブ集団を再構成する。

ベンチマーク問題を用いてその性能を検証した結果を Fig.2 に示す。ベンチマーク問題は関数同定問題と Santa Fe Trail 問題を用いたが、ここでは関数同定問題の 1 つの関数を例にあげる。関数 (Function A) は Function A:  $x_s(s) = (2 - 0.3s) \sin(2s) \cos(3s) + 0.11s^2$  である。評価関数を関数同定の精度と比例するように定めているため、Fig.2 の評価値は小さいほど良い性能を示す。この結果より、提案法は通常の SA 法 (Simple)、通常の並列モデル (Ring) より高い性能を示すことが分かる。また、提案法は評価値と解の大きさを

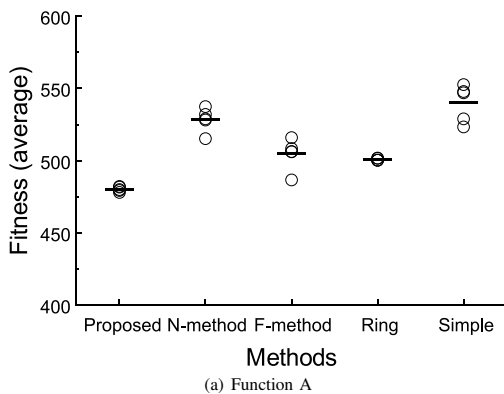


Fig.2 関数同定 (Function A) の結果

考慮して探索バイアスを制御するが、それぞれ 1 つのみを使って探索バイアスを制御し、その他は提案法と同じ枠組みの手法 (評価値 (F-method)、解の大きさ (N-method)) と比較したところ、それぞれ 1 つだけ用いた場合は Simple 法よりは性能が高いが、Ring 法より性能が悪いことが分かった。これらの結果より、1 種類の特徴量で探索バイアスを制御するのではなく、複数の特徴量を用いることが探索バイアスの高度化には有効であること

が分かった。本研究により、特徴量を複数個用いた探索バイアスの構築は有効であり、今後、用いる特徴量数を増やすことで、より高性能な探索制御が行えるのではないかと考えられる。

## (2) に関する成果

提案法の有効性を実問題で検証した。その成果を IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)2016 において、「Distributed Light Brightness Control based on cuSASGP」というタイトルで発表する予定である (2016 年 7 月末)。

対象とする問題は Fig.3 のように 1 灯ずつ明るさが調整できる天井照明の出力を複数

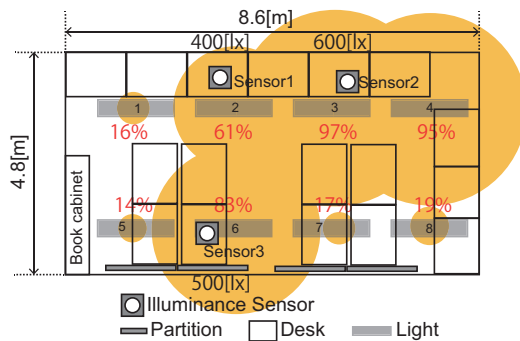


Fig3. 照明制御問題

のユーザーが希望する机上面の明るさ (照度) を満たす照明の出力値を求める。GP で照明制御する際の解構造の例を Fig.4 に示す。終端子と非終端子の設計は論文 [1] の通りとした。

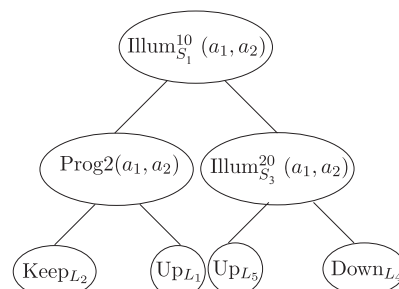


Fig.4 解構造の例

結果を Fig.5 に示す。図中の凡例の Island は Fig.2 における Ring 法、つまり従来の並列モデルの結果を示し、評価値を要求する照度との誤差としているため、評価値は小さいほど性能が高いことを示す。横軸は世代数であり 50 世代で目標照度値を変更し、環境が動的に変化する場合における性能を検証した。この結果より、照明制御問題においても提案法が最も高い性能を示し、動的に環境が変化する状況下においてもベンチマーク問題と同様の傾向を示すことが確認できた。

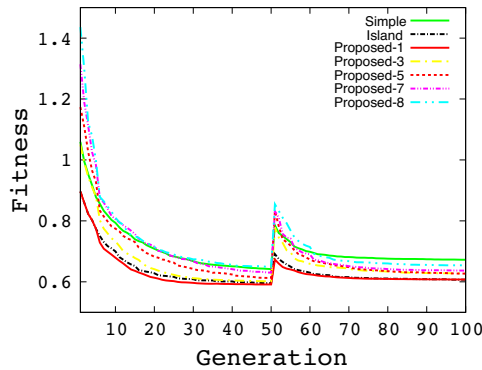


Fig.5 照明制御問題での結果

## 引用

[1] 発表論文(2)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

(1)小野景子, 花田良子 : GP における頻出構造に着目した複合的ブロート抑制戦略, *Assembling Bloat Control Strategies in Genetic Programming Based on Frequent Tree Structures*, 情報処理学会論文誌 数理モデル化と問題解決, 2014-MPS-100(20), pp.1-6, 2015.査読有

(2)小野景子, 熊野雅仁, 木村昌弘 : 協調型単目的最適化のための遺伝的プログラミング, システム制御情報学会論文誌, Vol.28, No.5, 2015.査読有

[学会発表] (計 9 件)

(1)近藤魁, 花田良子, 小野景子: 頻出部分木を用いる物体検出法における部分木保存率の影響分析, 進化計算学会第10回研究会, P1-15, 2016年3月17日~18日、富士通(株)川崎工場(神奈川県川崎市)

(2)鳥山直樹, 折登由希子, 小野景子: GP を用いた Realized Volatility に関する性能評価, 進化計算学会第10回研究会, P1-16, 2016年3月17日~18日、富士通(株)川崎工場(神奈川県川崎市)

(3)Keiko Ono, Yoshiko Hanada: A CUDA-based Self-adaptive Subpopulation Model in Genetic Programming: cuSASGP, Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2015), pp.1543 - 1550, 2015年5月25日~28日, 仙台国際センター(宮城県仙台市)

(4)鳥山直樹, 近藤魁, 小野景子: 遺伝的プログラミングにおける木構造間特徴量を考慮した並列モデルの検討, 進化計算シンポ

ジウム 2014, pp.53-56, 2014年12月20日~21日, 安芸グランドホテル(広島県廿日市市)

(5)近藤 魁, 鳥山 直樹, 小野 景子: 頻出部分木を用いた部分画像抽出法の検討, 進化計算シンポジウム 2014, pp.324-327, 2014年12月20日~21日, 安芸グランドホテル(広島県廿日市市)

(6)Keiko Ono, Yoshiko Hanada: Assembling Bloat Control Strategies in Genetic Programming for Image Noise Reduction, The 14th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), D1-20, IEEE, 2014年11月27日~29日, 沖縄科学技術大学院大学(沖縄県国頭郡)

(7)Yoshiko Hanada, Koutaro Minami, Keiko Ono, Yukiko Orito, and Noriaki Muranaka: A Study on Neighborhood and Temperature in Multi-step Crossover Fusion for Tree Structure, Proceedings of the 18th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems - Volume 2, pp.519-531, Springer, 2014年11月10日~12日, Singapore

(8)小野景子, 花田良子 : GP における頻出構造に着目した複合的ブロート抑制戦略, 研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS), Vol.2014-MPS-100, No.20, pp.1-6, 2014年9月25日~26日, 日本科学未来館(東京都江東区)

(9)小野景子, 熊野雅仁, 木村昌弘 : 協調型単目的最適化のための遺伝的プログラミング, Genetic Programming for Cooperative Single-Objective, 第58回システム制御情報学会 研究発表講演会予稿集 (SCI), 136b-1, 2014年5月21日~23日, 京都テルサ(京都府京都市)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

小野 景子 (ONO, Keiko)  
龍谷大学 理工学部 講師  
研究者番号 : 80550235

(2)研究協力者

花田 良子 (HANADA, Yoshiko)  
関西大学 システム理工学部 准教授  
研究者番号 : 30511711