

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月27日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500201

研究課題名（和文）

探索点ネットワークを考慮した確率的多目的探索とその進化ロボティクスへの展開

研究課題名（英文）

Multi-objective stochastic search based on network topology and its application to evolutionary robotics

研究代表者

畠中 利治 (HATANAKA TOSHIHARU)

大阪大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：10252884

研究成果の概要（和文）：複数の目的関数からなる多目的最適化問題では、パレート解集合を得ることが重要な場合がある。進化計算などの多点探索は単一の試行で複数の解候補が得られ、良好なパレート解の近似を与える手法として注目されている。本研究では、確率的多点探索に基づく多目的最適化における、探索点間の情報の共有範囲を定めるネットワークを考慮した探索性能の改善法を検討した。また、RoboCup Soccer Simulation におけるサッカーロボットの動作獲得へ適用し良好な結果を得た。

研究成果の概要（英文）：To obtain Pareto optimal set is primary important for the multi-objective optimization that consists of plural objective functions. From this point of view, multipoint search methodology has attracted attention, since it is able to provide the Pareto optimal candidates by single run. In this study, we have considered stochastic multi-point search methodology for multi-objective optimization based on the search point network to define the information sharing range among search points. In addition, we discussed an application to motion acquisition of the soccer robot in the RoboCup soccer simulation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：粒子群最適化、多目的最適化、進化計算、RoboCup Soccer Simulation

1. 研究開始当初の背景

現実社会の多くの課題に対し、問題を数理的に定式化し、より良い解決策を与える最適化法の果たす役割は大きい。特に、一つの目

的関数によって問題をモデル化する単目的の最適化問題としての定式化より、複数の目的関数を有する多目的最適化問題としての定式化の方が対象の本質をよく表現していることが多く、多目的最適化問題を効率的に

解く解法へのニーズが高くなっている。このことから、進化計算やメタヒューリスティックによる最適化法の研究分野においても、多目的最適化問題への適用がさかんに議論されている。さらに、多目的最適化問題では、すべての目的関数を同時に最適化できるような解が存在せず、ある目的関数を改善する解が他の目的関数を悪化させるような場合が多く存在し、唯一の最適解ではなく、解のトレードオフを表現するパレート解集合を求めることが強く要求されている。このため求解のアルゴリズムの一度の実行により、多数の解候補の生成が可能な進化計算の特性を活かし、パレート解集合の要素を近似表現できる解集合を求めるアルゴリズムが注目されている。

進化計算における確率的な操作による新たな解候補の生成と、その探索過程において得られたパレート最適解の候補を記憶するメカニズムが、これらのアルゴリズム開発における重要な点である。十分によい解集合を得るためには、広範な探索空間を効率的に探索することが必要であり、また、パレート最適解を広く一樣に近似する解候補の獲得が課題となっており、現在では、この分野は総称して EMO (Evolutionary Multi-Objective Optimization) と呼ばれている。

一方で、PSO (Particle Swarm Optimization) は、1995年に提案された比較的新しい多数の探索点による確率的探索法のひとつであり、進化計算の一手法にも分類されるアルゴリズムである。PSO では、粒子(Particle)と呼ばれる探索点の探索空間での動作モデルに基づいて解探索が進んでいく。粒子の動作モデルは、粒子ごとの良い解の記憶 (パーソナルベスト) と、集団で共有する解の記憶 (グローバルベスト) に基づく漸化式で表現されている。パーソナルベストとグローバルベストは、粒子の探索方向を定めるため、ガイドとも呼ばれている。PSO は、アルゴリズムの実行に関わる調整パラメータが少なく、実装も容易であるため、さまざまな分野での利用が進んでいる。

近年、EMO の研究者によって、PSO の多目的最適化問題への適用の研究が開始され、これまでに、主にガイドの選択法に関する議論もなされてきた。しかし、PSO の特徴の一つである粒子間で記憶の共有することによる相互作用の利用に関しては、これまで、多目的 PSO では、ほとんど検討されていなかった。一方で、本研究に着手する以前から、研究代表者(島中)は、多目的 PSO において、粒子のトポロジーに基づいてパーソナルベストとグローバルベストを選択する手法を提案し、パレート解への収束性能が改善されることを示してきた。トポロジーによる近傍粒子の記憶を利用することの有用性は、相互

作用の活用が探索の効率を改善することを示しており、このことから、近傍粒子を介した記憶の伝搬の状態を調べ、粒子のネットワークを検討していくことは、多目的 PSO の探索過程の理解と、その性能を向上させるうえで重要な役割を果たすことが期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、鳥や魚などの生物の群れの振る舞いに着想を得た確率的多点探索法である PSO (Particle Swarm Optimization) を複数の目的関数を有する多目的最適化問題に適用する場合の粒子 (群れを構成する個体) の動作モデルについて検討し、複数の目的が競合する場合におけるパレート解集合のより良い候補を得ることを目的に、粒子同士の相互作用を表す粒子のネットワークを、PSO の探索モデルに導入し、有効に利用する手法を提案する。

また、多目的 PSO を多目的機械学習へ展開し、RoboCup 3D サッカーシミュレーションにおけるヒューマノイドロボットの動作を生成する動作モデルおよび、制御系のパラメータの調整に適用し、その有用性を実証する。

3. 研究の方法

(1) 探索時の動的なトポロジーの構成法とそのガイド選択への適用

トポロジーによって定義された近傍粒子の記憶を参照する探索点を更新するためのパーソナルベストおよび、グローバルベストの選択法の有用性を示している。本研究では、参照する近傍粒子数を変化させるとともに、さまざまな多目的最適化問題のベンチマークに適用する。このときに、粒子間の目的関数空間上での距離および、探索空間上での距離により、粒子の実際の近傍関係の変化を調べていく。多次元の問題であるため、粒子の位置関係を可視化するための次元縮約の手法を検討するとともに、クラスタ形成の有無、移動方向の分布、粒子間のリンクの解析を進めていく。粒子のネットワークを検討する準備として、探索過程においてトポロジーの再構成を行うアルゴリズムを検討する。具体的には、まず、各粒子が最近傍粒子と接続したトポロジーによる検証を進めていく。なお、これらの研究は、多次元空間での距離に基づく実験的解析であり計算資源の強化を図る必要がある。このため、クラスタ計算機のノード追加を計画している。研究協力者は、プログラム作成および、データ解析の補助を担当する予定である。また、研究の進捗を確

実なものとするため、特に確率的探索アルゴリズムの収束等の数理的側面をモデルに基づいて検討していく。これらの成果は、進化計算に関する国内研究会および IEEE 主催の国際会議で発表していくことを予定している。

(2) PSO (Particle Swarm Optimization) を用いた進化型 CPG によるヒューマノイドの2足歩行獲得

進化計算を用いた CPG パラメータの調整の、ヒューマノイドエージェントの歩行動作の獲得における性能を検証してきた。本研究では、PSO を利用した CPG の調整に着手し、この課題における PSO の探索性能を評価する。さらに、多目的最適化に基づく CPG の調整のため、評価関数の構成を検討していく。具体的には、歩行速度、歩行時の身体の安定性を評価するが、研究の遂行においては RoboCup Soccer Simulation のコミュニティと連携して研究を進めていく。さらに、RoboCup の日本大会および世界大会へ出場するチームを、多目的最適化に基づく学習で構成することを予定している。なお、ロボットの動力学シミュレーションを効果的に行うため、海外のサーバ開発者とも連携して環境を整えていく予定である。

4. 研究成果

(1) 進化計算を用いた 2 足歩行ロボットの歩行動作の獲得法に関する研究を行い、以下の各項目について確認をした。

歩行動作に関わるパラメータを2つのグループに分け、交互に進化オペレータを作用させることにより、効率的に歩行動作を獲得できることを示すとともに、ある歩行軌道を実現するための内部パラメータの探索に比べ、ある内部パラメータに対して適切な歩行軌道の探索が容易であることを示した。

多変量正規分布の平均ベクトルと分散共分散行列を、サンプル点の評価に基づいて更新していくことによりパラメータの調整をはかる CMA-ES を適用した場合の探索性能について検討し、パラメータ空間内のある有望な領域が探索過程において発見された場合には、非常に少ないステップ数で歩行性能が改善できることを示した。

PSO(Particle Swarm Optimization)を適用し、PSO を適用した際の性能を評価した。CMA-ES を適用した場合の探索性能と比較し、PSO の収束性能が優れていることを示した。

ロボットの動作設計のように目的関数が高次元である問題に対して、進化的計算を適用する場合に、いくつかの設計変数に対して、仮の制約条件を設けることによって低次元

化した問題を設定し、その問題に対して探索を行い、進化の途中段階から元の高次元の問題へ移行する2段階の探索法を提案し、CMA-ES に対して適用して、ベンチマーク問題における有用性を確認した。これらの結果は、国内研究会等で報告しているほか、IEEE 主催の国際会議で発表している。

(2) PSO による多目的人員配置計画問題の解法を提案した。ここでは、粒子 (Particle) の近傍関係を定義するトポロジーを用い、近傍粒子の情報を用いて、PSO のガイド粒子を選択することにより、既存の多目的 PSO に比べ、パレート解集合を一様に近似できることを示し、多目的人員配置計画問題における有用性を示した。

(3) 進化計算に代表される多点探索による多目的最適化問題の解法においては、解の収束性能と同時に、得られるパレート解の候補の集合の、拡がりと同様性が重要である。進化型計算のうち、PSO の多目的最適化への適用では、これまで、この2つの目的を達成するための、アーカイブ (代表点集合の記憶) の更新と、探索粒子の移方向を決定するガイドの選択法が重点的に研究されてきた。

多目的最適化問題に PSO を適用する際の、PSO における粒子 (particle) 間で、探索履歴に関する情報共有の範囲を設定する粒子のトポロジー (ネットワーク構造) を検討し、粒子のネットワークとして次数の異なるランダムグラフとレギュラーグラフを導入し、また、個々の粒子が保持する良好な解候補のアーカイブ (記憶) の更新方式も提案し、多目的最適化問題のベンチマーク問題を用いて数値実験を行い、性能を検証した。すべての粒子が情報を共有できる全粒子が結合する状態と比べ、得られるパレート解候補の集合の多様性の観点でランダムグラフが優れていることを示した。これらの結果は、国内研究会等で報告しているほか、計測自動制御学会主催の国際会議で報告した。

(4) PSO における多目的最適化において、粒子の動作モデルにおけるガイドを適切に選択する必要がある。本課題の研究の過程から、ガイド選択に対して、複雑な操作によらず、多目的最適化問題を構成する目的関数のうちの一つの目的関数のもとでガイドを選択することにより、より拡がりのあるパレート解集合の要素を与えることができることを示し、数値実験によりその性能を検証した。この結果は、IEEE 主催の国際会議で報告し、詳しく性能を調査した結果を進化計算学会の論文誌に

発表した。

(5) PSOの探索過程において、特に最適化問題の説明変数の数が多い場合に、探索の停滞状態が発生するという問題があり、実問題への応用の際に停滞が生じていることを検知する必要があった。この問題について、理論的に検討する準備を開始し、粒子の移動をあたえる動作式の力学的性質について検討し、説明変数空間で粒子の移動範囲が縮退を、移動行列のランクで検証できる可能性を示した。

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 1 件)

- ① 内種岳詞、畠中利治、単一の目的関数に基づくガイド選択による多目的 PSO、進化計算学会論文誌、査読有、Vol.3、No.3、pp.155-162、2012

[学会発表] (計 19 件)

- ① 内種岳詞、福富太郎、畠中利治、確率的魚群モデルに基づく関数最適化法の提案、第 4 回 進化計算学会研究会、2013.3.19、防衛大学校
- ② 安田大悟、畠中利治、内種岳詞、PSO における stagnation の検出と回復に関する研究、進化計算シンポジウム 2012、2012.12.16、軽井沢
- ③ Takeshi Uchitane and Toshiharu Hatanaka, Experimental study for multi-objective PSO with single objective guide selection, 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence, 査読有、2012.6.13、オーストラリア、ブリスベン
- ④ Takeshi Uchitane, Masashi Yamamoto and Toshiharu Hatanaka, Multi-objective Particle Swarm Optimization with Regular Graph Structure, The 44th ISCI International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 2012.11.1, 国士舘大学
- ⑤ 安田大悟、畠中利治、内種岳詞、粒子群最適化の高次元関数最適化への適用に関する考察、第 2 回コンピュータショナル・インテリジェンス (CI) 研究会、2012.9.28、岡山大学

- ⑥ 山本将司、内種岳詞、畠中利治、ランドムグラフ型のトポロジーを有する多目的 PSO に関する一考察、第 22 回インテリジェント・システム・シンポジウム、2012.8.30、てだこホール、浦添市

- ⑦ Masashi Yamamoto, Takeshi Uchitane and Toshiharu Hatanaka, An experimental study for multi-objective optimization by particle swarm with graph based archive, 2012 SICE Annual Conference, 査読有、2012.8.21、秋田大学

- ⑧ 山本将司、内種岳詞、畠中利治、多目的 PSO における粒子のネットワークに関する考察、第 2 回進化計算学会研究会／第 8 回進化計算フロンティア研究会合同研究会、2012.3.10、大阪大学

- ⑨ Takeshi Uchitane and Toshiharu Hatanaka, Applying Evolution Strategies to Biped Locomotion Learning in RoboCup 3D Soccer Simulation, 2011 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有、2011.6.6、アメリカ合衆国、ニューオーリンズ

- ⑩ 安田大悟、内種岳詞、畠中利治、改良型 PSO によるスタッフスケジューリング問題の解法、ファジィシステムシンポジウム 2011、2011.9.13、福井大学

- ⑪ Takeshi Uchitane, Toshiharu Hatanaka and Katsuji Uosaki, Evolution strategies for biped locomotion learning using nonlinear oscillators, SICE 2010 Annual Conference, 査読有、2010.8.20、台北市

6. 研究組織

(1)研究代表者

畠中 利治 (HATANAKA TOSHIHARU)
大阪大学・情報科学研究科・助教
研究者番号：10252884