

Research on Homogeneous and
Heterogeneous Particle Swarm
Optimization for Global Optimization
Problems

楊, 詩琴 / YANG, Shiqin

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院情報科学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 情報科学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 情報科学研究科
編

(巻 / Volume)

12

(発行年 / Year)

2017-03-31

博士学位論文
論文内容の要旨および審査結果の要旨

論文題目	Research on Homogeneous and Heterogeneous Particle Swarm Optimization for Global Optimization Problems
氏名	楊詩琴
学位の種類	博士（理学）
学位授与年月日	2017年3月24日
学位授与の条件	法政大学学位規則第5条第1項第1号該当者（甲）
論文審査委員	主査 小池 誠彦 教授 副査 雪田 修一 教授 副査 劉 少英 教授 副査 佐藤 裕二 教授

2017年 2月 10日

学位論文審査委員会

委員長 佐藤裕二 殿

学位論文審査小委員会

主査 教授 小池 誠彦



副査 教授 佐藤裕二



副査 教授 劉 少英



副査 教授 雪田 修一



試問による学識確認の報告

法政大学学位規則第19条により、**Shiqin Yang** 氏について、その論文を中心に関連する学問領域の試問を行った結果、合格と判定した。

以上

(報告様式 I)

2017年 2月 10日

学位論文審査委員会

委員長 佐藤裕二 殿

学位論文審査小委員会

主査 教授 小池 誠彦



副査 教授 佐藤裕二



副査 教授 劉 少英



副査 教授 雪田 修一



Shiqin Yang 氏 提出学位請求論文

「Research on Homogeneous and Heterogeneous Particle Swarm Optimization for Global
Optimization Problems」

論文内容の要旨と審査結果の要旨（報告）

（報告様式Ⅱ）

1. 論文内容の要旨

多くの準最適解を含み数百の次元にも及ぶ大規模な多峰性評価関数の最適化問題では最急降下法など、従来の勾配を使う探索手法によることは困難である。さらに勾配を使うことは膨大な計算量が必要となってしまうので他の最適解探索手法が求められている。勾配を使う代わりに多くの探索粒子 (Particle) を探索空間に振り分け同時併行的に探索を行い、良い解が見つかった地点に向かって漸近的に粒子が集まって行く、進化型探索手法が注目されている。この場合、鳥や蟻などの集団行動、すなわち“群れをなして協調しながら餌を求める行動”に学び、探索モデルとして組み込んだ粒子モデル群を作成し粒子を移動させながら最適解に近づく手法としてパーティクル・スウォーム最適化 (PSO) は単純だが良い結果が得られている。しかし、従来手法では群れ全体の粒子の行動様式が 1 パターンで、1つの最適解(候補)を見つけるとそこに向かって集中するモデルとなってしまう、折角多くの粒子を探索空間に満弁無く配置しても、直ぐに準最適解に群れが“団子状態”に集中してしまう結果となり、所謂“早すぎる収束 (premature convergence)”現象が起き、局所的な準最適解にトラップされてしまうことが多い。この現象を回避する一つの手法として、鳥、魚やイルカなど群れを成して獲物を見つけ捕食する集団行動に触発されたプレデター・スウォーム・最適化 (PSO: Predator Swarm Optimization) のモデルが期待され、幾つか提案されている。この場合、近接するプレデターの間で情報交換を行う局所的な情報と、群れ全体から得られた大域的情報を旨く組合せ協調と競争を繰返しながら個々のプレデターが行動して行くことが重要となる。しかし、その按配が難しく、問題依存にパラメータを探す必要があった。著者はフィットネス・プレデター最適化 (FPO: Fitness Predator Optimizer) と呼ぶパラメータ・チューニングが不要な新たなモデルを提案している。近接するプレデターの間では協調性と同時に競争性を持たせることで群れとしての分散度を高め、さらに個別に得られた情報も含めて独自に行動させることで、局所的準最適解に囚われず、離脱することを可能としている。従来の標準的なパーティクル・スウォーム法では各粒子はこれまでの自分の速度 (慣性)、群れ全体のベスト値との差、局所的なベスト値との差から移動ベクトルを按配し次へ移動するモデルであり、その按配には揺らぎも入れるが、基本的には、群れ全体のベストに漸近していく。従来からパーティクル・スウォーム・最適化のバリエーションが多く提案されているが局所的準最適値にトラップされる問題の解決には至っていなかった。

提案手法ではグローバル・ベストの情報は使わずパーティクル同士の競争と淘汰の要素を入れることで、群れの分散度を高め、ひいては局所的準最適解に嵌らないことが期待される。FPO の技術的な特徴は次の 2 点に集約される。1 点目は、

PSO では探索の最初から最後までランダムに最小に生成した探索点がグローバルベストの影響を強く受けながら探索を続けることになる。一方 FPO ではルーレット選択を使って全探索点を勝者グループと敗者グループの 2 グループに分けて勝者グループをエリート集団として、エリートのみを使用して探索を行い生き残る。敗者グループの探索点はこの時点で破棄され、次の世代でランダムに生成した探索点で不足分を補うことになる。評価点に基づいて勝者と敗者に分ける特徴から「Fitness Predator」という命名をしたのだと推測される。探索にあまり有効と思われない探索点を破棄し、新たにランダムに生成して補うので、多様性(分散)の維持と局所解に陥った場合に脱出できる効果が期待できる。2 点目は具体的な探索の仕方について、PSO では全ての探索点が唯一のグローバルベストに引きずられながら探索を行うのに対し、FPO では上記勝者グループからランダムに選択した 2 つの探索点のペアに分け、この 2 つの探索点の間で(評価点の高い方を上記グローバルベストに見立てて) PSO と同じようにベクトルを使った探索を行う。この局所的な探索を同時に併行して実行するモデルとなり、分散度を維持しながら、局所準最適解を乗越えられるので、多峰性が激しい問題では PSO よりも有効と考えられる。4 つの学会提示のベンチマークを使い 8 通の実験例について提案手法の FPO と他の 2 つの手法 (SPSO,PPO) を比較実験の結果、平均値と、準最適地点からの離脱性についていずれも提案手法の FPO が優れていることを示している。

FPO は従来技術に比べ優位性を示したと言えるが、収束が遅いこと及び計算量が多いと言う問題が残っていた。そこで、改善策として、仮想的でダイナミックなチーム編成機能をこれまでの FPO に加える研究を行い、Dynamic Virtual Fitness Predator Optimizer (DFPO) と DFPO-r と呼ぶ 2 方式を提案している。動的に隣接する小数のパーティクルをリングで結び 1 つのチームとし、群れ全体を多くのチームで構成し、チーム内にローカルベストのリーダーを定め次の最良点へ移動し、他のチームメンバはそれに従うのが DFPO となる。1 つのパーティクルは複数のチームに属することも可能とし、その接合パーティクル経由で他のチームの情報を勘案した決定を可能とする。DFPO はチームサイズが固定なのに対し、DFPO-r は群れとしてのパーティクルの分散度が維持されるようにチームサイズを可変にしている。この改良アルゴリズムにより FPO などと比べて広域探索能力が改善された。

これまでの FPO ベースの種々の技術をベースに、他の最適化技術と組み合わせる、所謂ハイブリッド手法の研究にも着手し 2 つの異なる手法を提案している。一つはファジー・c-means クラスタリングと組み合わせる FPO-FCM。ユークリッド距離の代わりにフィットネスを使い、重心をプレデターとして FPO を適用するもの。二つ目は PSO に戻りベア・ボーン PSO を改良し Differential Evolution を併用している。何れも一定の効果が認められる。

2. 審査結果の要旨

本論文は大規模で多峰性があり多くの準最適解が存在する中で最適解を探索する大規模最適化問題に取り組み、従来技術のパーティクル・スウォーム最適化モデル (PSO) に各種の工夫と改良を加え、Fitness Predator Optimizer (FPO) と称するモデルを提案している。FPO の幾つかのバリエーションモデルもあわせて提案されており改良・工夫が行われている。学会指定のベンチマークを使い詳細に評価実験を行い、提案手法の有効性を示している。

研究はベースとなるパーティクル・スウォーム最適化のモデルを出発点として、生物の捕獲者(プレデター)集団の行動をモデル化した Fitness Predator Optimizer を考案している。また群れを複数のチームにわけて構成し独立に並列に探索可能な Dynamic Virtual Team の概念を導入し先の FPO モデルに組込むことで、群れの分散度を維持し局所最適解を乗越える技術を開発し性能向上の工夫が見られる。さらに研究はベースとなった PSO モデルに戻り、他の最適化技法として知られるファジー・c-Means と改良した PSO モデルを組合せたハイブリッド型を提案、改良ベア・ボーン PSO を提案、さらに行動モデルを動的に切り替えるダイナミック・ハイブリッドモデルを提案しそれぞれの有効性を示している。

以下に示した主要論文リストにある通り、ジャーナル 2 件、国際会議口頭発表 5 件がクレームされており、情報科学研究科の学位取得要件に適合していることが確認された。

本論文中 7 種類の各種モデルが提案され、それぞれベンチマークプログラムにより実験検証も行われ十分な研究成果があげられていると判断できる。それぞれの方向で先駆的に最適化手法を提案、実装、実験により実証され、技術の優位性は自明である。望むべくはそれらを統合した最適化手法としてまとめて見せて欲しいところだが、パーティクル・スウォーム最適化問題はいまだ研究途上にあると言え、今後の更なる研究成果に期待したい。

本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士(理学)の学位に値するという結論に達した。

本研究に関する主要論文リスト

(ジャーナル)

- [1] Shiqin YANG and Yuji Sato: "Dynamic Heterogeneous Particle Swarm Optimization"
IEICE TRANS. INF. & SYST., VOL.E100-D, NO.2 FEBRUARY 2017, pp 247—255

[2] Shiqin YANG and Yuji Sato: “A new Swarm Intelligence Algorithm based on Competitive Predators with Dynamic Team” International Journal of Artificial and Soft Computing Research, 2016

(国際会議録)

[3] Shiqin YANG and Yuji Sato: “Fitness Predator Optimizer to Avoid Premature Convergence for Multimodal Problems”, 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 258--263, Oct., 2014 San Diego, CA, USA

[4] Shiqin YANG and Yuji Sato: “Fuzzy Clustering with Fitness Predator Optimizer for Multivariate Data Problems” SEAL 2014, LNCS 8886, pp. 155–166, 2014


[5] Shiqin YANG and Yuji Sato: “Modified Bare Bones Particle Swarm Optimization with Differential Evolution for Large Scale Problem” 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), pp. 2760—2767

[6] Shiqin YANG and Yuji Sato: “Paralleled Fitness Predator Optimizer with Modified Dynamic Virtual Team for Multimodal Problems” IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp.1551—1558, 2015

[7] Shiqin YANG, Jia Guo and Yuji Sato: “Validity Index Mixed Pseudo F for a New Fuzzy Cluster Analysis Algorithm” The 20th Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB), pp.506—509, Jan., 2015, Japan

論文要旨

No. 1/2

情報科学	研究科	情報科学	専攻
		プログラム	系
		コース	領域
氏名	楊詩琴		

論文題目	大域的最適化問題のための同種および異種粒子群最適化法の研究 Research on Homogeneous and Heterogeneous Particle Swarm Optimization for Global Optimization Problems
------	---

論文の要旨

The premature convergence problem and the exploration-exploitation trade-off problem are the two major problems encountered by many swarm intelligence algorithms in both global optimization and large scale global optimization. This thesis proposes that the two main problems could be handled by several variants of Particle Swarm Optimization (PSO) developed below. Five variants of homogeneous PSO have been developed for multimodal and large scale global optimization problems, and two variants of dynamic heterogeneous PSO for complex real-world problems.

First of all, an individual competition strategy is proposed for the new variant of PSO, namely Fitness Predator Optimization (FPO), for multimodal problems. The development of individual competition plays an important role for the diversity conservation in the population, which is crucial for preventing premature convergence in multimodal optimization.

To enhance the global exploration capability of the FPO algorithm for high multimodality problems, a modified paralleled virtual team approach is developed for FPO, namely DFPO. The main function of this dynamic virtual team is to build a paralleled information-exchange system, strengthening the swarm's global searching effectiveness. Furthermore, the strategy of team size selection is defined in DFPO named as DFPO-r, which based on the fact that a dynamic virtual team with a higher degree of population diversity is able to help DFPO-r alleviate the premature convergence and strengthen the global exploration simultaneously. Experimental results demonstrate that both DFPO-r and DFPO have desirable performances for multimodal functions. In addition, DFPO-r has a more robust performance in most cases compared with DFPO.

論 文 要 旨

Using hybrid algorithms to deal with specific real-world problems is one of the most interesting trends in the last years. In this thesis, we extend the FPO algorithm for fuzzy clustering optimization problem. Thus, a combination of FPO with FCM (FPO-FCM) algorithm is proposed to avoid the premature convergence and improve the performance of FCM.

To handle the large scale global optimization problem, a variant of modified BBPSO algorithm incorporation of Differential Evolution (DE) approach, namely BBPSO-DE, is developed to improve the swarm's global search capability as the dimensionality of the search space increases.

To the best of our knowledge, the Static Heterogeneous PSO (SHPSO) has been studied by some researchers, while the Dynamic Heterogeneous PSO (DHPSO) is seldom systematically investigated based on the real problems. In this thesis, two variants of dynamic Heterogeneous PSO, namely DHPSO-d and DHPSO-p are proposed for complex real-world problems. In DHPSO-d, several differential update rules are proposed for different particles by the trigger event. When the global best position p_g is considered stagnant and the event is confirmed, then p_g is reset and all particles update their positions only by their personal experience. In DHPSO-p, two proposed types of topology models provide the particles different mechanism choosing their informers when the swarm is trapped in the local optimal solution. The empirical study of both variants shows that the dynamic self-adaptive heterogeneous structure is able to effectively address the exploration-exploitation trade-off problem and provide excellent optimal solutions for the complex real-world problem.

To conclude, the proposed biological metaphor approaches provides each of the PSO algorithms variants with different search characteristics, which makes them more suitable for different types of real-world problems.