

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6月9日現在

機関番号：32644

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700243

研究課題名（和文） 非対称正規分布を適用した粒子群最適化法による大域的探索

研究課題名（英文）

A global optimization by particle swarms with asymmetrical normal distribution

研究代表者

染谷 博司（SOMEYA HIROSHI）

東海大学・情報理工学部・講師

研究者番号：00333518

研究成果の概要（和文）：近年，粒子群最適化法（Particle Swarm Optimization: PSO）の有効性が注目されている。PSOは，関数最適化問題において実用上の満足解を素早く発見することができるという優れた特性があるが，一方，大域的最適解の発見にはたびたび失敗することが知られており，素早い収束特性と大域的探索能力の両立が望まれている。本申請課題では，PSOの探索軌道生成の確率密度関数に非対称正規分布を適用し大域的探索能力を高めたCautious Particle Swarm (CPS)を提案し，有効性およびその理由を調査し知見を深めた。

研究成果の概要（英文）：In recent years, the particle swarm optimization (PSO) has received much attention as a global optimization method. PSO succeeds in rapidly finding practically suboptimal solutions. However, it often fails to find the globally optimal solutions. It is therefore desirable to develop improved PSOs that rapidly find the globally optimal solutions with a high probability. As such an improved PSO, cautious particle swarm (CPS) has been proposed. The CPS employs an asymmetrical normal distribution to represent the probability density function for generating trajectories of the particles. In this research project, the effectiveness of the CPS and its contributing factors were examined.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：確率的最適化

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：遺伝アルゴリズム、群知能

1. 研究開始当初の背景

近年，粒子群最適化法（Particle Swarm Optimization: PSO）の有効性が注目されている。PSOは，関数最適化問題において実用

上の満足解を素早く発見することができるという優れた特性があるが，一方，大域的最適解の発見にはたびたび失敗することが知られており，素早い収束特性と大域的探索能力の両立が望まれている。

PSO は通常数十程度のパーティクルによる集団探索を行う。各パーティクルは2つの指標に基づいて探索軌道を生成し自己の評価値の改善を試みる。指標のひとつは pbest (personal best) と呼ばれる自己の探索履歴中でもっとも評価値の高かった時の位置ベクトルである。もうひとつは現時点における最良パーティクル gbest (global best) の位置ベクトルである。探索軌道の gbest に向かう更新式では、一様分布 $U[0, 1)$ を確率密度関数とする乱数値を用いることが一般的である。そのため、標準的な PSO では、すべてのパーティクルが一斉に gbest 方向に向かう。これにより集団内の多様性が急速に失われ、大域的最適解の発見に失敗している可能性がある。

2. 研究の目的

PSO と同様に集団型の確率的探索を特徴とする遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) では、大域的探索能力の向上に集団内の多様性維持が大きく貢献することが知られている。したがって、図 1(b) のように多様な探索軌道を描く PSO を構成し多様性維持効果を高めれば、大域的探索能力に優れた PSO が実現できると考えられる。

本申請課題では、PSO の探索軌道生成の確率密度関数に非対称正規分布を適用することでこれを実現し、大域的探索能力を高めた Cautious Particle Swarm (CPS) を提案し、有効性およびその理由を調査し知見を深める。

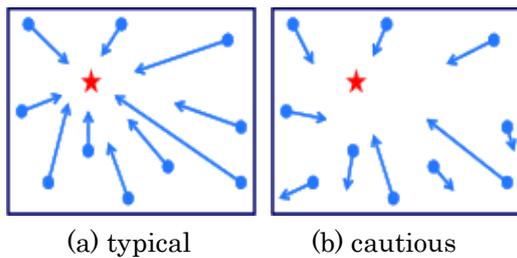


図 1: 比較する PSO の挙動の概念図。左図は標準的な PSO, 右図は本申請課題の調査対象である CPS。各点および付随する矢印はそれぞれ、各パーティクルおよびその速度ベクトルを表す。直感的な理解のため、pbest や慣性項の効果は含めていない。

3. 研究の方法

各パーティクルが gbest 方向に向かう程

度を“従順さ”と呼び、これをパラメータ r_g にて定量的に表す。パーティクルの軌道を決める乱数の確率密度関数として用いる非対称正規分布のパラメータは、最頻値となる頂点に対する左右の面積比が $1-r_g : r_g$ となるように設定する。このパラメータの値の大きさにより、収束速度や探索範囲の広がり調整される。そのため、この非対称正規分布の性質の解析を中心に調査を実施した。図 2 に、標準的な PSO で用いられる一様分布との比較を示す。

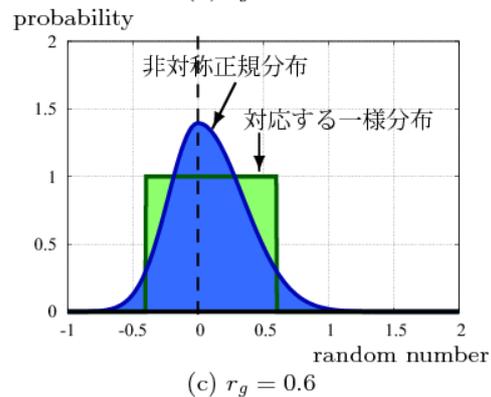
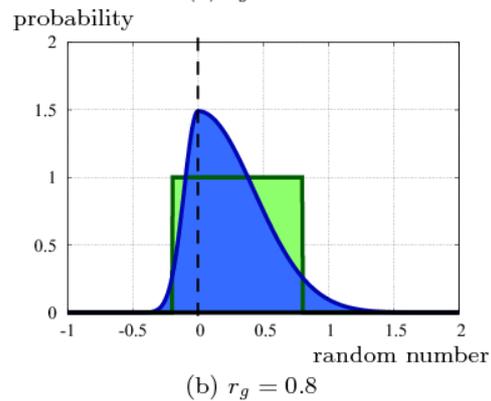
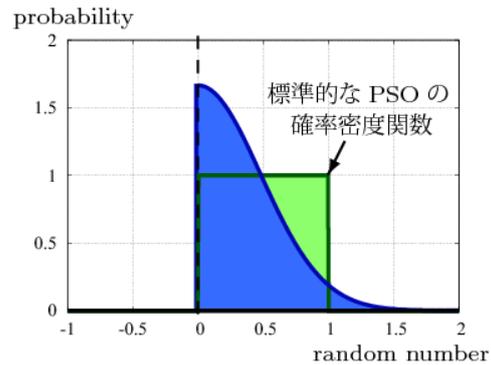


図 2: パーティクルは原点に、gbest は $+\infty$ 方向に位置する、とした時の確率密度関数の例、非対称正規分布および対応する一様分布 $U[r_g-1, r_g)$ を示す。両者は“正負の比率”および“分散の大きさ”を同じ値に揃えている。

4. 研究成果

申請時までの調査において、今後の課題として次のことが挙げられていた。

- (ア) 各パーティクル毎に個性をもたせた CPS の振る舞いの調査
- (イ) 探索局面に応じた適応的なパラメータ調整の方法の検討
- (ウ) pbest 方向の速度ベクトルの確率密度関数への非対称正規分布の導入
- (エ) 決定変数の座標軸方向への依存性を排した Vector 型 PSO への非対称正規分布の適用
- (オ) 非対称正規分布が、これに対応する一様分布に比べ優れることの理由の調査
- (カ) 近傍構造を導入することで多様性維持効果を高めた PSO [LiangJJ 05] との探索性能や挙動の比較
- (キ) 実数値 GA や CMA-ES といった他の確率的最適化手法との探索性能や挙動の比較

当初の計画に対し、課題(キ)を念頭に調査対象を実数値型進化計算全体に広げつつ、特に課題(イ)についての理論解析を重視した調査を行い、成果を公表するに至った。

具体的には、Steady-state 型あるいは島モデル型の実数値型進化計算に関して、解候補のサンプリング分布の平均ベクトルと分散・共分散行列について統計科学的な理論解析を行い、後者の分布の広がりについて、粒子群（あるいは個体集団）の集団サイズが有限であることを考慮した望ましいパラメータ設定の条件を示し整理した（図 3）。これにより、課題(エ)の Vector 型 PSO および課題(カ)の近傍構造を導入した PSO の挙動理解への道筋を得た。また、課題(オ)の調査として、高次の統計量である三次統計量に関する理論解析にも着手し萌芽的な成果を得ており考察を深めた。課題(ア)(ウ)については、関連する成果の公表には至っていないが、引き続き調査を継続している。

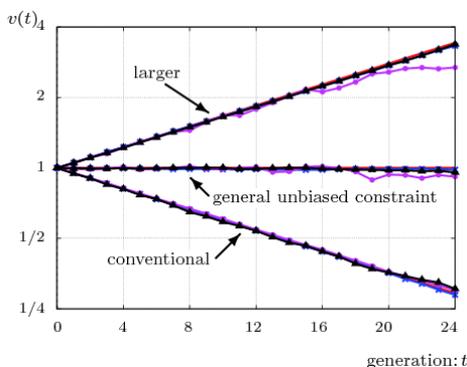


図 3: 分布の広がり調整例. 理論解析の結果は PSO や実数値 GA など広範に適用可能.

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 5 件)

- ① 染谷 博司: 進化型計算の挙動制御のためのダイナミクス解析. システム/制御/情報 (システム制御情報学会 学会誌), 査読なし (解説), Vol. 57, No. 2, pp. 67-72 (2013)
- ② 棟朝 雅晴, 染谷 博司: 総論: 進化型計算を適用するにあたって. 電気学会誌, 査読なし (解説), Vol. 132, No. 4, pp. 204-207 (2012)
- ③ Hiroshi Someya: Theoretical basis of parameter tuning for finding optima near the boundaries of search spaces in real-coded genetic algorithms. Soft Computing, 査読有り, Vol. 16, No. 1, pp. 23-45 (2012)
DOI: 10.1007/s00500-011-0732-1
- ④ 染谷 博司, 半田 久志, 小坏 成一: 確率的最適化の設計技術と適用技術. 電気学会 電子・情報・システム部門論文誌, 査読無し (解説), Vol. 132, No. 1, pp. 2-5 (2012)
DOI: 10.1541/ieejieiss.132.2
- ⑤ Hiroshi Someya: Theoretical Analysis of Phenotypic Diversity in Real-valued Evolutionary Algorithms with More-than-one-element Replacement. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 査読有り, Vol. 15, No. 2, pp. 248-266 (2011)
DOI: 10.1109/TEVC.2010.2083668

[学会発表] (計 10 件)

- ① 染谷 博司, 小坏 成一: 総論: 確率的最適化アルゴリズムの設計技術における進展. 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2012 年 9 月 5~7 日, 弘前市
- ② 比護 貴之, 染谷 博司: 進化計算の交叉・選択オペレータに対する確率論的分析手法と設計技術. 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2012 年 9 月 5~7 日, 弘前市
- ③ 染谷 博司: 確率的最適化アルゴリズムにおける定量的設計の重要性について.

電気学会 システム研究会, 2011 年 12 月 3 日, 山口市

- ④ 染谷 博司: 実数値型遺伝的アルゴリズムのパラメータ設定における可制御性の考察. 第1回進化計算学会研究会/第7回進化計算フロンティア研究会 合同研究会, 2011年9月10日, 東京
- ⑤ 染谷 博司: 遺伝的アルゴリズムの最適化原理とその設計技術. (株)数理システム 公開講演会, 2011年6月13日, 東京
- ⑥ 染谷 博司: 実数値型遺伝的アルゴリズムにおける三次統計量の理論解析. 第25回人工知能学会全国大会 2011年6月2日, 岩手県盛岡市 (人工知能学会2011年度全国大会優秀賞)
- ⑦ 染谷 博司: 確率的最適化アルゴリズムの設計における課題と展望. 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2010年9月3日, 熊本市
- ⑧ 染谷 博司, 坂本 健作, 山村 雅幸: 遺伝的アルゴリズムの分子実装による新規タンパク質の創製. 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2010年9月3日, 熊本市
- ⑨ 染谷 博司: Developing Evolutionary Algorithms from a Statistical Point of View. 国際会議 SMCia/08 Post Conference, 2010年7月30日, 北海道室蘭市
- ⑩ 染谷 博司: 確率的最適化アルゴリズムの設計論研究における課題と展望. 電気学会 確率的最適化アルゴリズムの設計技術調査専門委員会, 2010年4月27日, 東京

[図書] (計1件)

- ① 染谷 博司, 他: 情報知能システムとその産業応用調査専門委員会 (編), 電気学会 Particle Swarm Optimization と情報知能産業システム, 2011, 65 ページ

[産業財産権]

○出願状況 (計3件)

- ① 名称: 境界内計画評価装置及び方法
発明者: 村瀬 道夫, 翁 志強, 三瓶 祐

一郎, 土谷 隆, 伊藤 聡, 上野 玄太,
染谷 博司

権利者: (株) 小野測器

種類: 特許

番号: 特願 2011-203264

出願年月日: 2011年9月16日

国内外の別: 国内

- ② 名称: 限界点探索装置及び方法
発明者: 村瀬 道夫, 翁 志強, 三瓶 祐一郎, 土谷 隆, 伊藤 聡, 上野 玄太,
染谷 博司
権利者: (株) 小野測器
種類: 特許
番号: 特願 2011-203270
出願年月日: 2011年9月16日
国内外の別: 国内
- ③ 名称: 計測点算出装置及び方法
発明者: 伊藤 聡, 土谷 隆, 石黒 真木夫, 上野 玄太, 染谷 博司, 村瀬 道夫
権利者: 情報・システム研究機構, (株) 小野測器
種類: 特許
番号: 特願 2010-145615
出願年月日: 2010年6月25日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

染谷 博司 (SOMEYA HIROSHI)

東海大学・情報理工学部・講師

研究者番号: 00333518