

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 3 月 31 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500210

研究課題名(和文) 複雑な制約や構造を有する最適化問題に対する多点探索型手法の適用法に関する研究

研究課題名(英文) Applications of Searching Methods with Multi-Points to Constrained Optimization Problems with Complex Structure

研究代表者

相吉 英太郎 (EITARO AIYOSHI)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：90137985

研究成果の概要(和文): 多点探索型最適化手法の代表例である Particle Swarm Optimization (PSO)法と Differential Evolution (DE)法や、カオス最適化手法の多点化手法を取り上げ、これらを複雑な制約や構造を有する様々な最適化問題へ適用可能にする変換手法などを開発した。たとえば、(1)非線形制約条件付き問題に対する PSO に親和性のあるペナルティ法、(2)順列変数最適化問題に PSO や DE を適用するための変換手法、(3)等式制約条件付き 0-1 組合せ最適化問題に PSO を適用するための変換解法、(4) 半正定値行列最適化問題に対する PSO の適用法、(5)多目的最適化問題の非劣解の被覆性に優れた DE 法、(6)ゲーム問題の複数の Nash 均衡解の中の最良解を PSO で求めるための変換手法、などである。また、PSO や DE の性能の解析や改良も試みて、安定性解析に基づく PSO 法の最良パラメータ設定法、PSO に DE を冠したハイブリッド化手法、パラメータの自己調整機能付き DE 法などを提案した。

研究成果の概要(英文): In this project, Particle Swarm Optimization (PSO) and Differential Evolution (DE), which are known as typical ones of multi-point type optimization methods as well as a multi-point type of chaos optimization method, are picked up, and transformation methods applicable to various optimization problems with complex constraints and/or structure are considered as followings: (1)Penalty method with affinity to PSO for equality constrained problems, (2)Transformation methods of problems with permutation variables to use PSO or DE, (3) Transformation methods of equally constrained problems with 0-1 variables, (4)Application method of PSO for optimization problems with semi-definite variable, (5)DE with better closing property to non-inferior solution set for multi-objective optimization problem, (6) Transformation methods to choose a best solution among the Nash equilibrium solutions by using PSO. On the other hand, in order to try to analyze and improve concerning with PSO and DE, the best parameter setting method of PSO based on stability analysis, the hybridizing method of PSO with supervised DE, and DE with parameter self-tuning mechanism are presented.

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	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：感性情報学・ソフトコンピューティング

科研費の分科：情報学・細目：感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：Differential Evolution Particle Swarm Optimization システム最適化 ソフトコンピューティング ヒューリスティックス 多点探索法 計算アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

目的関数を制約条件の下で最小化ないしは最大化するいわゆる最適化手法には、従来それら関数の微分可能性を仮定した下で勾配情報を用いる古典的手法が主流であったが、近年の計算機性能の増大に相俟って、複数の探索点間の情報交換によって、関数の勾配情報を用いずに、複数の探索点を同時並列的に更新して、いわゆる多峰性関数の大域的最適解を比較的効率良く探索する「メタヒューリスティック手法(多点探索型最適化法)」が登場し、その実装の簡便さから様々な実用問題に適用されている。しかし、より複雑な制約条件や離散構造を有する最適化問題、多目的最適化問題、ゲーム問題など、複雑な構造を有する問題への適用と、それらのためアルゴリズムの開発研究は、立ち遅れているのが実情であり、多点探索型最適化法の性能向上とともに、これらの複雑な構造を有する問題への道を開くことが求められている。

2. 研究の目的

「多点探索型最適化手法」の複雑なダイナミクスが織り成す多様化と集中化によって、解くべき最適化問題に対する頑健性や柔軟性など、様々な有用な特性をアルゴリズムに持たせることができる反面、(1)複雑な制約条件を有する問題に対しては、大域的探索性能も十分に発揮できない課題、(2)複雑な構造を有する問題には、その特性を有効に働かせることができない問題点がある。また、(3)複数の解が離散的に散在する問題や解が集合を形成する問題には、解の同時並列的探索や解集合の被覆探索といった、これまでとは異質の計算手法の開発が期待される。そこで本研究課題では、(1)~(3)のいずれかの範疇に属する、非線形性の強い等式制約条件付き最適化問題、制約が分離した最適化問題、双対問題・min-max 問題、階層型最適化問題、ゲーム問題の Nash 均衡解を求める問題、散在する複数の大域的最適解を並列的に求める問題、多目的最適化問題の非劣解集合を被覆する問題、などに対して、申請者が開発改良した「多点探索型メタヒューリスティック手法(多点探索型最適化法)」の適用法を具体的に提案することを目的とする。

3. 研究の方法

メタヒューリスティック手法の優位な点は、勾配を用いずに関数値のみを用いて大域的最適解の探索が可能であることであり、このよう

な性質こそ、研究目的にあるような複雑な制約条件や構造を有する最適化問題の解法に拡張する価値がある。そこで、こうしたメタ・ヒューリスティック手法の優位な性能をさらに強化すべく探索性能の改良に尽力すると同時に、

- (1) 複雑な制約条件を有する最適化問題に対する多点探索型最適化手法の開発
- (2) 複雑な構造を有する最適化問題に対する多点探索型最適化手法の開発

に分けて研究を進めた。(1)は、非線形性の強い等式条件付き最適化問題、制約条件が分離した最適化問題に対して、多点探索型手法に適したペナルティ法や、進化計算の概念を取り入れたハイブリッド型手法の開発を試みた。とくに、このアプローチは、離散変数最適化問題にも拡張した。(2)では、関数値のみを用いて大域的最適解の探索が可能であるというメタ・ヒューリスティック(多点探索型最適化)手法の性質を活用することで、双対問題・min-max 問題、階層型最適化問題、Nash 均衡解を求める問題の解法を開発する。

4. 研究成果

当研究期間に得られた成果は以下のとおりである。

- (1) メタ・ヒューリスティック手法の性能改善に関する成果

PSO の性能改善に関する成果：雑誌論文、学会発表

DE の性能改善に関する成果：雑誌論文⑩

多点型カオス最適化に関する成果：雑誌論文、学会発表

ハイブリッド化による性能改善に関する成果：雑誌論文、学会発表

新しいタイプの多点探索型最適化手法の提案に関する成果：学会発表

多点探索型最適化手法の実問題に対する性能評価に関する成果：雑誌論文、学会発表

- (2) 複雑な制約条件を有する最適化問題に対する多点探索型最適化手法の開発に関する成果：学会発表

- (3) 複雑な構造を有する最適化問題に対する多点探索型最適化手法の開発に関する成果：

・階層型問題ないしは進化計算への適用：雑誌論文、学会発表

・min-max 問題への適用：学会発表

・Nash 均衡解を求める問題への適用：学会

発表

- ・多目的問題への適用：雑誌論文
- ・半正定値最適化問題へ適用：学会発表⑩

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 11 件)

上山大地, 田村健一, 安田恵一郎
局所的降下方向ベクトルを用いた Differential Evolution の多目的最適化問題への拡張

電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol. 132, pp.1156-1361 (2012) 【査読有】
DOI:10.1541/ieejieiss.132.1156

小川直明, 相吉英太郎
制約条件付き 0-1 組合せ最適化問題に対する PSO を用いた進化型解法
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol. 132, pp.1136-1143 (2012) 【査読有】
DOI:10.1541/ieejieiss.132.1136

村中健一, 相吉英太郎
PSO と DE によるハイブリッド手法の計算特性
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol. 132, pp.1128-1135 (2012) 【査読有】
DOI:10.1541/ieejieiss.132.1128

岡本卓, 相吉英太郎
満足化トドめ法と SOM を用いた放射性廃棄物地層処分における緩衝材最適設計
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol. 132, pp.1116-1127 (2012) 【査読有】
DOI:10.1541/ieejieiss.132.1116

土屋淳一, 小菅崇裕, 安田恵一郎
統合的最適化に基づくサーフェイスのステータムバ磁極の最適設計
電気学会 産業応用部門誌, Vol. 131, pp.1362-1363 (2011) 【査読有】
DOI:10.1541/ieejieiss.131.1362

森井宣人, 相吉英太郎
PSO を用いた進化型アントコロニー法
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol. 131, pp.1038-1042 (2011) 【査読有】
DOI:10.1541/ieejieiss.131.1038

小熊祐司, 相吉英太郎
乱数係数をもつ Particle Swarm Optimization の力学系に対する統計的安定性
Vol.131, pp.1020-1030 (2011) 【査読有】
DOI:10.1541/ieejieiss.131.1020

石井良尚, 岡本卓, 相吉英太郎
大域的持続探索のための非同期世代交代型 Particle Swarm Optimization
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol. 131, pp.626-634 (2011) 【査読有】

岡本卓, 相吉英太郎, 浜田憲一郎

多点型離散化時変慣性系モデルを用いた大域的最適化

計測自動制御学会論文集, Vol. 46, pp.642-650 (2010) 【査読有】

上山大地, 田村健一, 安田恵一郎
滑降シンプレックス法を取り入れた Differential Evolution 電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol. 130, pp.1271-1272 (2010) 【査読有】

S. Hiraoka, T. Okamoto and E. Aiyoshi
Improvement of Particle Swarm Optimization Based on the Repetitive Search Guideline Electrical Engineering in Japan, Vol.173, pp.42-54 (2010) 【査読有】

[学会発表](計 19 件)

岡本卓, 相吉英太郎
最適化問題の「ゲーム化」とそれに基づく多点型最適化手法の解釈
計測自動制御学会第 48 回システム工学部会研究会 東京 (2013-3-6) 【査読無】

小熊祐司, 相吉英太郎
Differential Evolution 力学系の初期値解表現に基づく探索点分布解析
電気学会 システム研究会 大阪 (2012-12-2) 【査読無】

小林孝人, 相吉英太郎
Lagrange 関数を用いた制約条件付き最適化問題の大域的最適化手法
計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2012 名古屋 (2012-11-22) 【査読無】

村中健一, 相吉英太郎
Nature-Inspired Metaheuristic 手法の解析と評価
計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2012 名古屋 (2012-11-21) 【査読無】

関口智矢, 相吉英太郎
エリート結合型多点準ニュートン法
平成 24 年電気学会電子・情報・システム部門大会 弘前 (2012-9-5) 【査読無】

友永真太郎, 相吉英太郎
0-1 組合せ最適化問題に対する連続緩和によるヒューリスティック解法
平成 24 年電気学会電子・情報・システム部門大会 弘前 (2012-9-5) 【査読無】

金政実, 相吉英太郎
遺伝プログラミングによる PSO に対するアルゴリズム調整器の提案とその調整則の学習

平成 24 年電気学会電子・情報・システム部門大会 弘前 (2012-9-7) 【査読無】

相吉英太郎
産業応用のための最適化ベンチマーク問題への期待

平成 24 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会(招待講演) 弘前 (2012-9-6) 【査読無】

軽部満国, 田村健一, 安田恵一郎
パラメータの自己調整機能を有する Differential Evolution の提案

電気学会 産業計測制御研究会 横浜 (2012-3-6) 【査読無】

宮島弘之, 相吉英太郎
PSO を用いた半正定値行列最適化問題の解法

電気学会 システム研究会 山口 (2011-12-3) 【査読無】

小川直明, 相吉英太郎
等式制約条件付き 0-1 組合せ最適化問題に対する PSO を用いた進化型解法

平成 23 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 富山 (2011-9-7) 【査読無】

村中健一, 相吉英太郎
PSO と DE によるハイブリッド手法の計算特性

平成 23 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 富山 (2011-9-8) 【査読無】

K. Masuda and E. Aiyoshi
A Novel Method for Solving Min-max Problems by Using a Modified Particle Swarm Optimization
IEEE Int. Conf. on System, Man, and Cybernetics (SMC 2011) (2011-10-11) アカレヅ (アメリカ) 【査読有】

石井良尚, 相吉英太郎
等式制約条件付き最適化問題に対する PSO に親和的なベナルティ法の提案

計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 京都 (2010-11-25) 【査読無】

金政実, 相吉英太郎
遺伝的プログラミングを用いた問題特化型 Differential Evolution の自動設計
計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 京都 (2010-11-25) 【査読無】

講演会 京都 (2010-11-25) 【査読無】

古澤敦郎, 相吉英太郎
連続変数最適化問題に対する Differential Evolution 法による進化的大域解探索

計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 京都 (2010-11-25) 【査読無】

森井宣人, 小熊祐司, 相吉英太郎
PSO を用いた順列最適化問題の進化型解法と TSP への応用

計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 京都 (2010-11-25) 【査読無】

金澤貴彦, 安田恵一郎
組合せ最適化問題の解空間における上位構造に基づくメタヒューリスティックスの検討

平成 22 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 熊本 (2010-9-3) 【査読無】

桐生智志, 相吉英太郎
最良 Nash 均衡解を求める PSO を用いた計算法

平成 22 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 熊本 (2010-9-3) 【査読無】

6. 研究組織

(1) 研究代表者

相吉 英太郎 (AIYOSHI EITARO)
慶應義塾大学・理工学部・教授
研究者番号: 90137985

(2) 研究分担者

安田 恵一郎 (YASUDA KEIICHIRO)
首都大学東京・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 30220148

(3) 連携研究者

なし