

様式 C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成21年5月14日現在

研究種目： 基盤研究(C)
研究期間： 2005年度～2008年度
課題番号： 17510139
研究課題名(和文) 制約付き最適化手法 α 制約法の改良と多目的最適化及び構造学習への適用に関する研究
研究課題名(英文) A Study on the Improvement of the α Constrained Optimization Method and its Application to Multiobjective Optimization and Structural Learning
研究代表者 高濱 節子 広島修道大学・商学部・教授 研究者番号：60186989

研究成果の概要：

制約なし最適化手法の制約付き最適化手法への変換法である α 制約法を改良した ε 制約法を提案し、GA, DE, PSOに適用した ε GA, ε DE, ε PSOを提案し、安定的かつ高速に高精度の最適解が探索できることを示した。また、GA, DEに退化を導入した GA^d , DE^d を提案し、簡潔かつ汎化性能の高いモデル推定ができることを示した。進化的アルゴリズムを用いた多目的最適化において、探索点が Pareto 最適解集合全体に均一に分布するように等距離選択および拡張交叉を提案し、その有効性を示した。

交付額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	700,000	0	700,000
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,200,000	390,000	3,590,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 社会システム工学・安全システム

キーワード：制約付き最適化, 進化的計算, 遺伝的アルゴリズム, Differential Evolution, Particel Swarm Optimization, 構造最適化, 退化, expensive optimization

1. 研究開始当初の背景

(1)微分可能性が保証されない制約付き非線形最適化問題に制約満足度という概念を導入し、目的関数値と制約満足度の対に対して、制約満足度の最大化を優先する α 比較を定義し、これを用いることによって、制約なし最適化手法を制約付き最適化手法に変換

する α 制約法を提案し、その有効性を示していた。

(2)制約付き非線形最適化問題に対する多点探索法として α GA, α PSOを提案し、同問題の最適化手法として評価の高い GA, GENOCOP5.0 とその性能を比較し、 α GA 及び α PSO の高速性及び探索精度の高さを示

している。GA は多目的最適化問題の数値解析法としてよく利用されており、GA を含む進化的計算(Evolutionary Computation: EC)への α 制約法の適用および多目的最適化手法への拡張を予定していた。

(3) 制約なし多目的非線形最適化問題に対する最適化アルゴリズムとして、Vector Simplex 法(VSimplex 法)を提案した。VSimplex 法は、単一目的非線形最適化手法 Simplex 法を多目的最適化手法に拡張したもので、目的関数ベクトルの半順序関係のみを利用した手法である。探索空間の分割、探索点の逐次的発生等により一様に分布した Pareto 最適解近似集合を求めることが可能となった。また、対話的操作を付加することにより最適解の精度向上も図った。制約付き多目的最適化問題の最適化手法への拡張を検討する段階であった。

(4)モデル構造の最適化(構造学習)の方法として、GA に退化現象を導入した MGGA, DGGA, GA^d という 3 つの方法を提案し、多項式モデル、ニューラルネットワーク(NN)モデル、RBF ネットワークモデルに適用し、効率的な構造学習が可能であることを示した。特に GA^d による RBF ネットワークモデルへの適用においては、モデルを一部多目的最適化問題として定式化しており、構造学習を多目的最適化問題としてとらえるアプローチで研究テーマを発展させてゆく予定であった。

2. 研究の目的

以下の4点を研究の目的とした。

- (1) α 制約法における α の制御方法の検討
- (2)提案した多目的最適化手法 VSimplex 法と進化的多目的最適化手法(EMOO)の性能比較
- (3) VSimplex 及び EMOO に α 制約法を導入した α VSimplex 法, α EMOO を提案し, α Vsimplex 法, α EMOO, 制約付き問題に対する既存の EMOO との性能比較を行う。
- (4) 構造学習への多目的最適化アプローチ

3. 研究の方法

目的(1)に対しては、等式制約問題の代表的なテスト問題を対象に、解探索の状態推移を分析し、動的に制御する方法を検討する。

目的(2)に対しては、既存の EMOO 研究の文献収集し検討した後、各手法のプログラムをコーディングし、代表的な制約なし多目的最適化のテスト問題を使用して VSimplex 法との性能比較を行う。

目的(3)に対しては、VSimplex 法及び既存の

EMOO に対して、我々が提案している α 制約法を適用し、制約付き多目的最適化手法を提案し、テスト問題を使用して、性能比較を行うとともに、改良も進めてゆく。

目的(4)に対しては、制約付き構造学習に関する既存研究を調査し、制約条件の設定方法について検討する。その後、これまでの利用してきたモデル推定問題を、制約付き多目的最適化問題として定式化し、これまで提案してきている退化現象を導入した EMOO や α 制約法の適用することによって、新たな構造学習アルゴリズムの開発を目指す。

4. 研究の成果

2005 年度:

(1) α Simplex 法の改良:先に提案した α Simplex 法に境界突然変異を組み込んだ。これにより、制約領域を離れた探索単体を効率的に制約領域近傍に戻せ、局所解から脱出可能な頑強性が α Simplex 法に付加された。

(2) α 制約法の改良:制約なし問題に対する最適化手法を制約付き問題に対する最適化手法へ変換する「 ε 制約法」を新たに提案した。 α 制約法は目的関数の最小化より制約満足度関数の最大化を優先する α 比較による変換法であり、 ε 制約法は目的関数の最小化より制約逸脱度関数の最小化を優先する ε 比較による変換法である。 α 制約法は α を 1 に設定又は収束させることで最適解を探索し、 ε 制約法は ε を 0 に設定又は収束させることで探索する。コンピュータによる数値計算では 0 の周りの精度が他より高いため、 ε 制約法は α 制約法に比して精度の高い探索が可能である。

(3) アルゴリズムの検討:これまで、非線形 Simplex 法、遺伝的アルゴリズム(GA)等を扱ってきた。特に GA は構造学習への適用の研究も行っている。しかし、近年 Particle Swarm Optimization(PSO)や Differential Evolution (DE)等の自然的アルゴリズムが注目され、その有効性も指摘されている。そこで、PSO および DE に ε 制約法を適用した ε PSO 及び ε DE を提案し、探索性能の検討を行った。その結果、両者とも ε GA に比してかなり優れていることが確認された。

(4) ε PSO と ε GA の複合: ε PSO は探索速度が速く、精度の高い探索性能を持つが、探索の安定性に問題がある。 ε GA は安定した探索性能を持つが、 ε PSO ほど高精度の解を求めることが難しい。そこで、両者を複合し、高精度の解を安定的に求める探索性能を持つ ε 制約ハイブリッドアルゴリズムを提案し

た。

2006 年度:

(1) 昨年度から進めている差分進化 (Differential Evolution:DE)による制約付き最適化に関する研究から, DE が GA や PSO よりも高速でかつ多峰性の問題に強いアルゴリズムであることが確かめられた. この研究により 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation Competition Program における Nonlinear Programming 部門の Award を獲得した. この研究では, DE に ϵ 制約法を導入するだけでなく, 探索性能の向上を図るために, 数値計算による gradient を利用している.

(2) 多点探索においては, 探索の全期間において解の十分な多様性を維持することが重要であるが, GA, PSO, DE などいずれの方法においても, 探索が進むにつれて解の多様性が失われ探索効率が悪くなることをがえる. そこで, 解の多様性を維持する方法として, あまりよくない解候補であっても与えられた確率で次のステップに残すようにアルゴリズムを変換する「確率的変換法」を提案し, PSO に対して適用した.

2007 年度:

(1) DE へ ϵ 制約法を適用した ϵ DE について, 等式制約を持つ問題における制約条件の新たな緩和法を提案し, ϵ DE の有効性を検証した.

(2) 低精度近似モデルに基づく最適化手法における関数評価回数の削減に関する研究に着手した. GA, DE, PSO 等の解集団による最適化の際に降下法を利用した最適化手法である集団的降下法では, 目的関数の評価回数が多くなるという問題点がある. そこで, 関数評価回数を削減し効率性を向上する方法として, ポテンシャル法を提案した. ポテンシャル法は, 関数値の近似に解のポテンシャルを用い, 近似値により解を比較し, 生成された新しい解が古い解より良いと推定された場合のみ新しい解を評価する比較推定法を提案し, これを用いることによって, 関数評価回数を削減を実現し, 従来の DE と比較実験を行いその有効性を示した.

(3) 多目的進化的アルゴリズム(MOEA)の 1 つである NSGA II の改良に関する研究を行った. 多目的最適化においては, Pareto 最適解集合を求めることが重要である. 進化的アルゴリズムは解集団による多点探索法であるため, 解の多様性を維持し, Pareto 最適解集合への選択圧力を与えることによって, 1 回の実行で複数の Pareto 最適解を発見できるという利点がある. しかし, MOEA により得ら

れる非劣解の数は, 集団の個体数に依存する. そのため, 真の Pareto 最適解集合全体を均等に被覆する非劣解集合を求めることが非常に重要である. 本研究では, MOEA の 1 つである NSGA II に対して, 拡張 SBX と等距離選択を導入し, 非劣解が Pareto 最適解集合全域に一様に分布するよう改良を行った.

2008 年度:

(1) 退化型 DE(DED)をニューラルネットワーク (NN) の構造学習に適用し, 株価予測へ応用した. NN を用いたテクニカル分析による株価予測において, DED を用いて NN の構造学習し, その結果得られた NN と DE によって最適化した NN を用いた株価予測の結果を比較し, DED によって簡潔なネットワーク構造が得られ, かつ DE による NN に比較して予測精度の高い NN が得られたことを示した.

(2) ϵ DE について等式制約を持つ問題における制約条件の緩和方法について, 引き続き検討を行った.

(3) 比較推定法の改良を検討した. 比較推定法では, 近似値による関数値の大小関係を推定するが, 推定する関数面の複雑さに応じて, 推定に余裕を与える必要がある. 本年度は, 推定の余裕として, 1 つの統計量と余裕調整パラメータの積を用いた. 1 つの統計量としては, 関数値 (真値) の標準偏差, 近似値の標準偏差など幾つかについて比較検討を行い, 特にこの 2 つの標準偏差については効果にあまり差がないことを示した. また, 余裕調整パラメータについては, 固定値の場合と, 探索過程の進行に伴って値を適応制御する場合について検討を行い, 探索過程の進行に伴う適応制御の必要性和有効性を示した.

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 19 件)

(1) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Akita Hara, Noriyuki Iwane: Predicting Stock Price using Neural Networks Optimized by Differential Evolution with Degeneration, 2008 International Symposium on Intelligent Informatics, 2008, p.20

(2) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Efficient Optimization by Differential Evolution using Rough Approximation Model with Adaptive Control of Error Margin, Proc. of the Joint 4th International Conference on Soft Computing and

Intelligent Systems and 9th International Symposium on advanced Intelligent Systems, 査読有, 2008, pp.1238-1243

(3)阪井節子, 高濱徹行: 低精度近似モデルを利用した DE による効率的最適化---許容誤差パラメータに関する適応制御の提案---, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2008 年秋季研究発表会アブストラクト集, 査読無, 2008, pp.246-247

(4)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Reducing Function Evaluations in Differential Evolution using Rough Approximation-Based Comparison, Proc. of 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, 2008, pp.2307-2314

(5)高濱徹行, 阪井節子, 原章: 低精度の近似モデルを用いた比較推定法による Differential Evolution における関数評価回数の削減, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol.J91-D, No.5, 2008, pp.1275-1285

(6)阪井節子, 高濱徹行: 多目的最適化手法 NSGAIII における等距離選択の効果について, 京都大学数理解析研究所講究録, 査読無, 1589, 2008, pp.53-64

(7)阪井節子, 高濱徹行: 比較推定による最適化アルゴリズムの効率性向上, 京都大学数理解析研究所講究録, 査読無, 1559, 2007, pp.22-33

(8)阪井節子, 高濱徹行: 最適化手法における関数評価回数の削減手法---ポテンシャルモデルに基づく比較推定法の提案---, 京都大学数理解析研究所講究録, 査読無, 1548, 2007, pp.61-70

(9)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Akira Hara, Noriyuki Iwane: Structural Learning of Neural Networks by Differential Evolution with Degeneration using Mappings, Proc. of 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, 2007, pp.3434-3441

(10)阪井節子, 高濱徹行: 確率的比較を用いた制約付き最適化手法「確率的変換法」の提案, 京都大学数理解析研究所講究録, 査読無, 1477, 2006, pp.1-10

(11)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Noriyuki Iwane: Solving Nonlinear Constrained Optimization Problems by the ϵ Constrained Differential Evolution, Proc. of 2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 査読有, 2006, pp.2322-2327

(12)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Constrained Optimization by the ϵ Constrained Differential Evolution with

Gradient-Based Mutation and Feasible Elites, Proc. of 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, 2006, pp.308-315

(13)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Solving Constrained Optimization Problems by the ϵ Constrained Particle Swarm Optimizer with Adaptive Velocity Limit Control, Proc. of the 2nd IEEE International Conference on Cybernetics & Intelligent Systems, 査読有, 2006, pp.683-689

(14)高濱徹行, 阪井節子: ϵ 制約遺伝的アルゴリズムによる制約付き最適化, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol.47, No.6, 2006, pp.1861-1871

(15)阪井節子, 高濱徹行: α 制約パーティクルスウォームオブティマイザ α PSO による制約付き最適化, 数理解析研究所講究録, 査読無, 1457, 2005, pp.233-240

(16)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Constrained Optimization by ϵ Constrained Particle Swarm Optimizer with ϵ -level Control, Proc. of the 4th IEEE International Workshop on Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology, 査読有, 2005, pp. 1019-1029

(17)Tetsuyuki Takahama, Setuko Sakai, Noriyuki Iwane: Constrained Optimization by the ϵ Constrained Hybrid Algorithm of Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm, Proc. of the 18th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, Lecture Notes in Computer Science, 査読有, No.3809, 2005, pp.389-400

(18)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Constrained Optimization by the α Constrained Particle Swarm Optimizer, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, Vol.9, No.3, 2005, pp.282-289

(19)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Constrained Optimization by Applying the α Constrained Method to the Nonlinear Simplex Method with Mutations, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 査読有, Vol.9, No.5, 2005, pp.437-451

〔学会発表〕(計 17 件)

(1)高濱徹行, 阪井節子: 低精度近似モデルを導入した Differential Evolution と ϵ 制約法による効率的制約付き最適化, 進化計算シンポジウム 2008, 2008 年 12 月 20 日, ホテル まほろば, 登別

(2)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Akita Hara, Noriyuki Iwane: Predicting Stock

Price using Neural Networks Optimized by Differential Evolution with Degeneration, 2008 International Symposium on Intelligent Informatics, 2008年12月12日, 東海大学, 熊本

(3)阪井節子, 高濱徹行: 退化型 DE により最適化されたニューラルネットワークによる株価予測, RIMS 研究集会「不確実性と意思決定の数理」, 2008年11月10日, 京都大学数理解析研究所, 京都

(4)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Efficient Optimization by Differential Evolution using Rough Approximation Model with Adaptive Control of Error Margin, The Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on advanced Intelligent Systems, 2008年9月20日 名古屋大学, 名古屋

(5)阪井節子, 高濱徹行: 低精度近似モデルを利用した DE による効率的最適化---許容誤差パラメータに関する適応制御の提案---, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2008 年秋季研究発表会, 2008年9月11日, 札幌コンベンションセンター, 札幌

(6)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Reducing Function Evaluations in Differential Evolution using Rough Approximation Based Comparison, 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2008年6月2日, 香港

(7)阪井節子, 高濱徹行: 多目的最適化手法 NSGA-II における等距離選択の効果について, RIMS 研究集会「不確実な状況における意思決定の理論と応用」, 2007年11月12日, 京都大学数理解析研究所, 京都

(8)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Akira Hara, and Noriyuki Iwane: Structural Learning of Neural Networks by Differential Evolution with Degeneration using Mappings, 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2007年9月28日, シンガポール

(9)阪井節子, 高濱徹行: ϵ 制約 Differential Evolution による制約付き最適化, RIMS 研究集会「数値最適化の理論と実際」, 2007年7月18日, 京都大学数理解析研究所, 京都

(10)阪井節子, 高濱徹行: 比較推定による最適化アルゴリズムの効率性向上, RIMS 研究集会「最適化問題における確率モデルの展開と応用」, 2007年1月25日, 京都大学数理解析研究所, 京都

(11)阪井節子, 高濱徹行: 最適化手法における関数評価回数の削減手法 -ポテンシャル

法の提案-, RIMS 研究集会「不確実性を含む意思決定の数理とその応用」, 2006年11月13日, 京都大学数理解析研究所, 京都

(12)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Noriyuki Iwane: Solving Nonlinear Constrained Optimization Problems by the ϵ Constrained Differential Evolution, 2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2006年10月10日, 台湾, 台北

(13)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Constrained Optimization by the ϵ Constrained Differential Evolution with Gradient-Based Mutation and Feasible Elites, 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2006年7月17日, カナダ, バンクーバー

(14)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Solving Constrained Optimization Problems by the ϵ Constrained Particle Swarm Optimizer with Adaptive Velocity Limit Control, The 2nd IEEE International Conference on Cybernetics & Intelligent Systems, 2006年6月9日, タイ, バンコク

(15)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai and Noriyuki Iwane: Constrained Optimization by the ϵ Constrained Hybrid Algorithm of Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm, The 18th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, 2005年12月7日, オーストラリア シドニー

(16)阪井節子, 高濱徹行: 確率的比較を用いた制約付き最適化手法「確率的変換法」の提案, RIMS 研究集会「不確実性の下での意思決定と数理モデル」, 2005年11月7日, 京都大学数理解析研究所, 京都

(17)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai: Constrained Optimization by ϵ Constrained Particle Swarm Optimizer with ϵ -level Control, The 4th IEEE International Workshop on Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology, 2005年5月27日, 宝来殿, 室蘭

[図書] (計4件)

(1)Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama: Kyushu University Press, Research on Information Society and Social Systems, In M.Kitahara, K.Ota and Y.Arisada (eds.) "Multiobjective Optimization by Improved NSGA-II with Extended Crossover and Uniform Distance Selection" の章を執筆担当, 2008, 22 ページ(pp.121-142)

(2)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai:
Springer-Verlag, Advances in Differential
Evolution, U. Chakraborty (ed.) "Constrained
Optimization by the ε Constrained Differential
Evolution with Dynamic ε -level Control" の章
を執筆担当, 2008, 26 ページ(pp.139-154)

(3)Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama:
Kyushu University Press, System Sciences for
Economics and Informatics, S.Hiraki &
M.Sakaguchi 編「Constrained Optimization by
Applying a Stochastic Constrained Method to
Particle Swarm Optimization」の章を執筆担当,
2007, 17 ページ(pp.71-87)

(4)Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama:
Kyushu University Press, Applied Economic
Informatics and Systems Sciences T.Tokimasa,
S.Hiraki, N.Kaio, Y.Yanagida 編 「Constrained
Optimization by α Constrained Genetic
Algorithm with Simplex Crossover」の章を執筆
担当, 2005,26 ページ(pp.173-208)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高濱 節子(TAKAHAMA SETSUKO)
広島修道大学・商学部・教授
研究者番号: 60186989

(2) 研究分担者

廣光 清次郎(HIROMITSU SEIJIROU)
広島修道大学・経済科学部・教授
研究者番号: 90043827

海生 直人(KAIO NAOTO)
広島修道大学・経済科学部・教授
研究者番号: 80148741

児玉 正憲(KODAMA MASANORI)
広島修道大学・経済科学部・研究員
研究者番号: 20028989

(3) 連携研究者