

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820036

研究課題名(和文)非劣解集合からの定量的設計情報抽出法の開発と実問題への適用

研究課題名(英文)Development of Quantitative Information Extraction Method From Nondominated Solutions

研究代表者

立川 智章(Tatsukawa, Tomoaki)

東京理科大学・工学部・講師

研究者番号：90633959

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：性能指標に効いている設計パラメータを定量的に評価することを目指し、NSGA-IIで用いられている混雑距離を用いて得られた非劣解集合の均一性および密度を正しく捉えることができる性能評価指標を開発した。均一性を正しく評価する指標として混雑距離の標準偏差を、密度を正しく評価する指標として混雑距離の平均値を用いることを提案した。収束性、広がり、均一性、密度の特徴をそれぞれ備えた2目的人工非劣解集合を用いて既存の評価指標の評価を行い課題を明らかにするとともに、提案した手法の評価を行い、その有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：New methods to quantitatively extract information from non-dominated solutions have been developed. These methods are based on crowding distance of NSGA-II. CDM which is the average of the crowding distance has been proposed for evaluating the uniformity of distribution. CDV which is the standard deviation of the crowding distance is proposed for evaluating the density of solutions. Artificial non-dominated solution data sets are considered for evaluating proposed methods. The result shows that both CDM and CDV can extract the correct feature of non-dominated solutions.

研究分野：工学

キーワード：設計工学 設計知識 多目的最適化 非劣解集合

1. 研究開始当初の背景

実世界の様々な設計問題では、複数の相反する目的関数（性能指標）を持った多目的最適化問題となることが多い。例えば自動車の設計では、重量最小化、車体剛性最大化、燃費最大化などの最適化が求められる。多目的設計最適化からは多数の最適解（パレート最適解あるいは非劣解）が得られるが、一般にその分析は目的関数の数（次元）が4以上になると、格段に難しくなる。

設計情報抽出手法としては主成分分析をはじめ各種データマイニング手法が利用可能で、可視化表示を利用するものには例えば各パラメータの散布図を行列表記する散布図行列(SPM)、類似度を利用して2次元マップに写像する自己組織化マップ(SOM)などがある。各手法には一長一短があり、例えばSPMでは変数が増えたときに俯瞰して見ることが難しく、SOMでは定量的な情報を得ることが難しい。最適化手法は多目的(6以上)、多制約(20以上)、多変数(100以上)の設計問題にも適用可能になりつつあるが、分析に関しては様々な手法を試行錯誤しながらが多く、非劣解集合からの効率的な設計情報抽出手法についてはまだ十分な議論がなされていない。効率的な設計情報抽出手法が確立できれば、分析にかかる時間を短縮できるだけでなく、競争力のある製品開発につながる事が期待できる。

一方、得られた非劣解集合は探索空間内に均一に分布しておらず、性能指標の評価値には様々な誤差が含まれる。そのため、得られた非劣解のもつ局所的な勾配情報といった定量的な分析は難しい。また、非劣解集合がどのような特徴を持っているか評価する場合、1つの指標ですべての特徴を適切に評価することは困難である。非劣解集合に求められる特徴には収束性や多様性などが挙げられるが、多様性は厳密には目的空間での広がり、解の分布の均一性、密度といった特徴が含まれている。これまで非劣解集合の特徴を評価するために様々な性能評価指標が提案されているが、IGDやHyperVolumeのような既存の評価指標には複数の特徴の影響が含まれてしまうため、誤解を招く可能性がある。非劣解集合から設計情報を抽出するためには、まずその特徴を正確に評価することが重要である。そのためには、それぞれの特徴を各々測る評価指標を用いることが必要であるが、解の分布の均一性に関しては、これまで提案されている評価指標では正しく評価できない場合がある。

よい収束性、多様性（広がり、均一性）、密度を非劣解集合が得られれば、応答曲面近似モデルを用いて設計パラメータの各目的関数に対する感度解析などの定量的な分析が可能となる。定量指標は最適化やデータマイニングを専門としない他のエンジニアにとっても理解しやすいため、一連の多目的最適化プロセスのますますの応用が期待できる

と考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、性能指標に効いている設計パラメータを定量的に評価することを目指し、得られた非劣解集合の特徴を正しく捉えることができる性能評価指標を開発することを目的とする。テスト問題を用いて既存の評価指標の評価を行うとともに、本研究では均一性を正しく評価する指標として混雑距離の標準偏差を用いることを提案する。また、混雑距離の平均値を用いることで密度を測る指標になることも加えて提案する。収束性、広がり、均一性、密度の観点から作成したデータセットを用いた数値実験を行い、提案する評価指標が正しく均一性を測れることを示す。

3. 研究の方法

ここでは、多目的最適化アルゴリズムから得られた非劣解集合に求められる特徴として収束性、広がり、均等性、密度（もしくは個数）に注目する。まず、これらの特徴を基に目的関数毎に $2^4=16$ 通りのデータセットを作成し、そのデータセットで性能評価指標を計算し特徴を正しく捉えられているかを調べる。それぞれ収束性が良い・悪い、広がりが良い・悪い、均一性が良い・悪い、密度が高い・小さいと区別することで16通りのデータセットである。本研究では2目的におけるデータセットを用いる。

性能評価指標としては、特徴毎に以下に示す指標を用い、さらに新しい指標 CDM と CDV を提案する。

(a) 収束性

収束性を評価する指標の一つとしてGenerational Distance(GD)がある。GDは得られた非劣解集合と真のパレートフロントとの平均距離から収束性を評価することができる。値が小さいほど収束性が良いということを示し、0が最小値となる。ただし、真のパレートフロントが既知の場合にしか使うことができない。

(b) 広がり

広がりを評価する指標の一つとしてOS(Overall pareto Spread)がある。この指標は目的空間での最良点と最悪点の2点から作られる超立方体に対して得られた非劣解集合の各目的関数の最大値と最小値の2点から作られる超立方体が占める比率から広がりを評価することができる。数値は0から1までの範囲で1により近ければその解集合は広がりが大きいことを意味する。複数の非劣解集合を比較する場合は参照点を同じものにする必要がある。収束性が大きく異なる非劣解集合の広がりや違いを比較することは難しい。

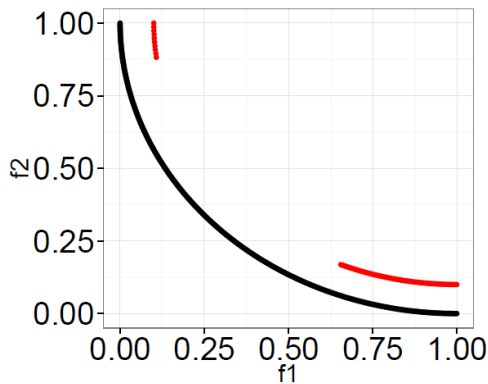


図1 不均一性の大きな非劣解集合

(c) 均一性

均一性を評価する指標の一つとして SP(Spacing)がある。この指標は得られた非劣解集合の各々の点からその他の点に対しての距離が最小となる距離を計算し、その標準偏差を測ることで均一性を測る指標である。値が小さければ小さい程均一な分布であることを意味する。この指標は、各点がある程度均等に分布している時は、どの程度の間隔で分布しているかを確認することが可能である。大きな不均一性をもつ解集合(図1)の場合、正しく評価できない。

(d) 総合的な指標

非劣解集合の特徴を総合的に評価する指標として HV(Hyper Volume)と IGD(Inverted Generational Distance)などがある。HVはある参照点Wを用いて非劣解集合の各点について hypercube を生成し、これらの和集合を計算するものである。ここで用いる参照点は目的方向とは逆に参照点を取るため、この値が大きければ大きいほどその解が総合的に良い解集合ということの意味する。この指標では総合的に解集合がどれくらい良いか判断する際に用いることは可能だが、収束性・広がり・均一性の全てを含んだ指標となってしまう、得られた解集合の特徴を掴むことが難しい。また、目的関数の数が大きくなると、計算コストが非常に大きくなるため実用が非現実的である。IGDは理論上のパレートフロントが存在する時に用いることが可能な指標であり、理論上のパレートフロントを離散化したものの各点から得られた非劣解集合の各点への最短距離の平均を調べることで収束性と広がり、均一性を同時に測るものである。このIGDの値が小さい程、解集合は総合的に良いということの意味する。

4. 研究成果

得られた非劣解集合の特徴を評価したい場合、三次元以上で正しく測ることは難しい。また、広がり異なる場合に密度を調べることが可能な指標は存在しないことがわかった。そこで、三次元以上でも均一性を正しく測ること、密度を測ることを目的とし、NSGA-II で用いられている混雑距離の概念を

基に、均一性と密度を単独で測ることが可能な評価指標を提案した。混雑距離では、得られた解集合を各目的関数毎に数値順に並び替えを行い、その下で目的関数ごとに解の両隣との距離の和を計算し、さらにその和を求める。本研究ではこの距離の平均を取ったものを密度を測る指標として CDM(Crowding Distance Mean)、均一性を測る指標として CDV(Crowding Distance Standard deviation)を提案した。CDMでは密度が大きい場合各点間の距離は小さくなり、値は小さくなることが予想される。CDVでは均一な分布となっている場合にはこの距離のばらつきは小さくなり、値が小さくなることが予想される。収束性、均一性、広がり異なるデータセットについて CDM を適用した結果、均一性の悪いデータセットにおいて値が大幅に大きくなり、正しく判断できていることがわかった(図2)。CDVについても、密度の違いが捉えられていることが分かった(図3)。一方、IGDではすべての特徴の影響が入ってしまい、誤解を招く恐れがあることがわかった。また、SPでは均一性における既知の情報と得られた結果が一致しないことがわかった。

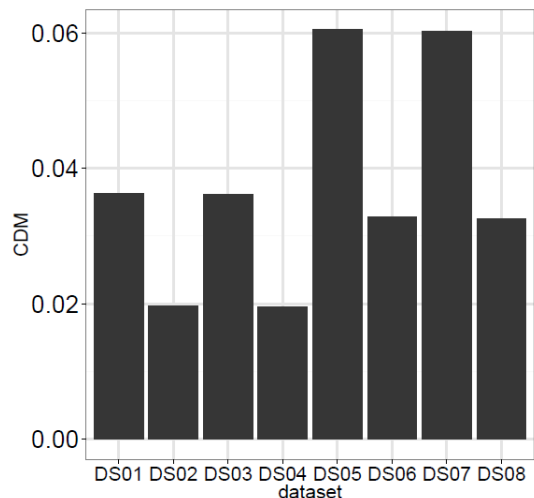


図2 CDM

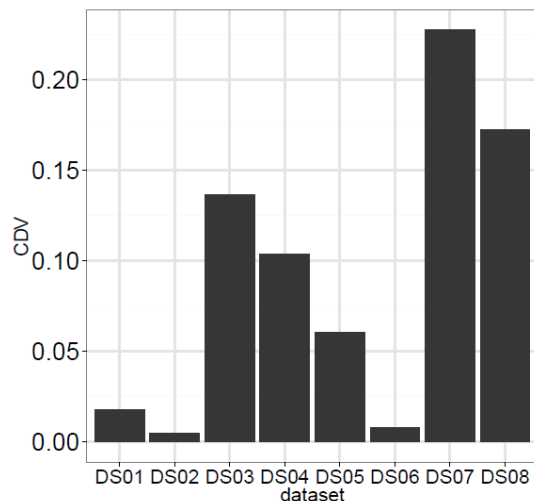


図3 CDV

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0件)

〔学会発表〕(計4件)

内野良寛, 立川智章, 藤井孝藏, 多目的最適化問題における Chebyhsev Achievement Function に基づく解の優劣評価の効果, 進化計算シンポジウム, 2015
丸山翔平, 立川智章, 渡辺毅, 大山聖, 藤井孝藏, 多目的最適化問題における混雑距離を用いた均一性評価指標の提案, 第9回進化計算学会研究会, 2015
立川智章, 大山聖, 渡辺毅, 小平剛央, 劔持寛正, 宮地英生, インタラクティブ散布図行列可視化ツール iSPM の開発, 計測自動制御学会システム情報部門学術講演会, 2015
立川智章, 渡辺毅, 大山聖, 多目的進化計算における集団サイズの超大規模化に関する一検討, 進化計算シンポジウム, 2014

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

立川 智章 (TOMOAKI TATSUKAWA)
東京理科大学 工学部情報工学科
講師
研究者番号: 90633959

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: