

説明変数と目的関数の連携可視化によるパレート解の対話的探索

理学専攻 情報科学コース 久保田真季 (指導教員：伊藤貴之)

1 概要

計算機の処理速度の向上により、ある問題に対して多くの解を一度に求めることが可能となった。ゆえに問題に対して得られるデータは膨大となり、データ要素それぞれに対して特徴を発見することは容易ではない。問題に対して得られた解の良し悪しを決め、知見を得るプロセスは非常に重要である。本研究では解分布の傾向理解と最良解の探索を支援する可視化手法を適用し、その有用性を示す。

2 多目的最適化の可視化

多くの問題に含まれる目的関数は一つではない。多数ある目的関数に対し、すべての目的を果たしながら最適化を行う問題を多目的最適化問題という。多目的最適化問題の目的関数は互いにトレードオフの関係となっていることが一般的であり、問題は複雑化する。言い換えれば多くの場合において、一つの目的関数を最適化する説明変数は、他の目的関数を最適化するとは限らないことを意味する。

多目的最適化は既に、航空機、自動車、電車などの工業設計をはじめとして、非常に幅広い分野で利用されている。しかしその問題の複雑さゆえに、最適化のプロセスには熟練を要することが多い。

多目的最適化において目的関数のトレードオフを考慮して解を求める方法には、目的関数の重みつき結合による単目的化、遺伝的アルゴリズムの適用、などがある。単目的化の方法であれば目的関数間にあるトレードオフの関係性は設計者によって決められたパラメータによって決定されてしまうが、設計者の意向が強く反映された解のみが集まる。一方、多目的のまま遺伝的アルゴリズムを用いることで、多くの解を集めることができる。

3 提案手法

3.1 説明変数と目的関数の同時可視化

近年では多目的最適化問題を支援するための可視化手法がいくつか提案されている。Eddy ら [1] は、Cloud Visualization という散布図の一種を用いてパレート解を可視化している。Obayashi ら [2] は、自己組織化マップ (SOM) を用いてパレート解をクラスタリングおよび可視化している。これらの可視化結果は目的関数の分布を表示しているだけであり、それをもたらし説明変数を直接表現しているものではない。また、多目的最適化の可視化の中でもパレート解を可視化するのではなく、パレートフロンティアを可視化する手法 [3] も提案されている。しかし、この手法も目的関数空間を描いたものであり、それをもたらし説明変数を直接表現しているものではない。説明変数と目的関数の関係性を直接的に表現するために本論文で

は、多目的最適化問題における説明変数と目的関数の両方の数値分布を同時表示する可視化の一手法を提案する。本手法では可視化の画面を左右に二分し左側に説明変数、右側に目的関数を表示することで、両者の関係性を明確に表すことを可能にした。図 1 に本手法の概観を示す。

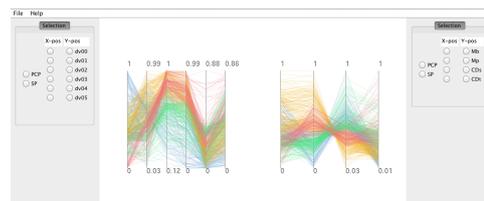


図 1: 可視化画面

3.2 興味要素の強調可視化

多目的最適化における説明変数および目的関数はいずれも多次元の変数であると考え、多次元データの情報可視化手法を適用することでその数値分布の理解を支援できると考えられる。多次元データ可視化手法は一長一短の関係にあり、利用者の習熟度や目標設定によって望ましい手法の選択も変わってくる。そこで本手法では複数の多次元データ可視化手法を統合的に扱えるのが望ましいと考えた。現時点の我々の実装では、Parallel Coordinate Plot と 2 次元の散布図 (Scatter Plot) を可視化手法として搭載している。そして画面両側のボタン選択によって、利用者が必要に応じてそれらの可視化手法を選択できる。

さらにその画面上の左右いずれかにおいて、ユーザが特定の変数の数値範囲をマウス操作で指定することで、説明変数および目的関数の両者において該当する個体だけをハイライトする連携機能を設けた。2 種類の可視化画面を連携操作するような機能は、可視化の分野では学術的には Coordinate View あるいは Linked View といって既に知られているが、多目的最適化問題にこの仕組みを適用した手法はほとんど見られない。本論文では、この仕組みが多目的最適化問題の数値分布の理解支援につながる例を示す。また、目的関数に対して K-means 法を用いてクラスタリングを適用する。ユーザはクラスタ数を選ぶことができ、さらに各クラスタに色を割り当てることで、ユーザがマウス操作によって知ることができないクラスタ間の違いや特徴といった新たな知見を得ることができる。

3.3 ノイズ変数の除去

一般的に多目的最適化問題の説明変数、目的関数はともに多次元変数であることから、その次元数の増大が可視化を困難にすることがある。特に本手法で用いた Parallel

Coordinate Plot は、次元数の増加に伴って非常に横長な画面空間を必要とする。また、Parallel Coordinate Plot では隣接した次元以外の相関性は直接的に視認できないため、次元数の増加に伴って可視化結果からの多目的最適化問題の理解が難しくなる。そこで、本手法では、川久保ら [4] が提案したノイズ変数除去手法を適用することで、可視化する意義のある説明変数だけを自動抽出し、これを可視化の対象とした。

4 適用例

4.1 背景

本章では、4つの目的関数をもつ超音速旅客機 (SST) 主翼設計のデータに対して適用した可視化結果を示す。旅客機開発の分野において輸送効率の向上は国際化社会の重要な課題である。輸送量をより多くするための手段として、路線数、便数の増加、機体の大型化や輸送時間の短縮などが考えられるが、その中でも技術面では抵抗の小さい新機体の開発が注目されている。大型の SST には、超音速飛行による圧力上昇が地上に到達することでソニックブームという騒音現象を伴う。そのため超音速飛行は海上飛行に制限され、陸上では遷音速で飛ぶ必要があり、結果として超音速と遷音速の2種類の巡航速度を評価する必要がある。本論文では SST 主翼における超音速巡航の抵抗係数、遷音速巡航の抵抗係数、超音速巡航時の翼根にかかる曲げモーメント、翼先端部にかかる捻りモーメント、の4つの目的関数を最小化する多目的最適化問題を可視化の対象とした。

4.2 結果

この最適化では、翼の形状に関する72の設計変数を用いて、一世代64個体として多目的遺伝的アルゴリズムを適用し、近似パレート面が変化しなくなるまで75世代の進化計算を実行した。この72次元の説明変数を全て一画面に可視化することは困難であるため、3.3節で述べたようにノイズ変数の除去を適用した。その結果、 dv_0 , dv_1 (内翼, 外翼のスパン長), dv_2 , dv_3 (後退角), dv_4 , dv_5 (翼根の翼弦長)と、翼の平面形(図2)を表す変数がより4つの目的関数と関係が強いと考えられた。

図3, 4に可視化結果を示す。図3は超音速, 遷音速巡航の抵抗係数が小さい範囲を対話的に選択した結果である。これをみると、超音速, 遷音速巡航の抵抗係数と曲げ, 捻りモーメントについて、トレードオフの関係があることが明確にわかる。図4はクラスタリングを使用して超音速, 遷音速巡航の抵抗係数が小さい値を多く含むクラスタを表示した結果である。これをみると、図3の超音速, 遷音速巡航の抵抗係数の最小化のみを重要視した結果に対し、4目的関数が同時に低い値をとるクラスタが存在することがわかる。この結果から、ユーザの選択のみ

ではなく色別可視化を伴うクラスタリングの導入が新たな知見を得ることに有効であることが示唆される。

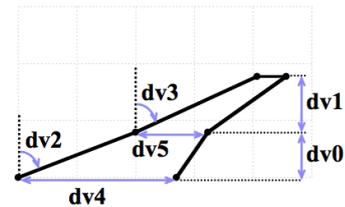


図 2: 翼の形状モデル

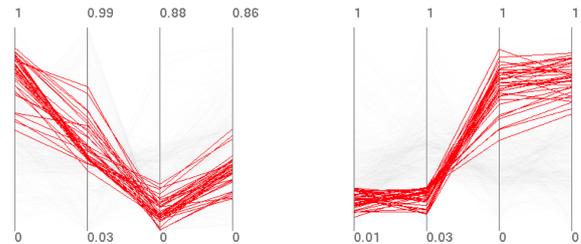


図 3: ユーザによる選択

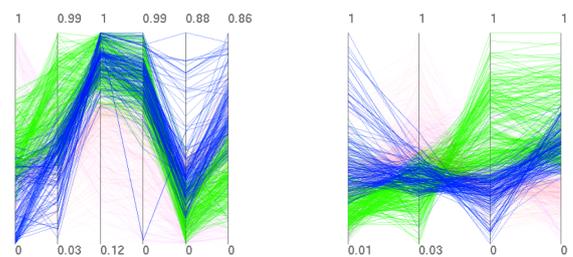


図 4: クラスタリング使用

5 まとめ

本論文では、多目的最適化問題の理解支援, 探索における連携可視化手法を提案した。

謝辞

航空機の翼の形状のデータを提供して下さった東北大学の大林茂教授, 竹島由里子講師には細部にわたるご指導を頂きました。ここに感謝いたします。

参考文献

- [1] J. Eddy, K. Lewis, " Visualization of Multidimensional Design and Optimization Using Cloud Visualization ", ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC02/DAC-2006.
- [2] S. Obayashi and D. Sasaki, " Visualization and Data Mining of Pareto Solutions Using Self-Organizing Map ", Lecture Notes in Computer Science 2632: Evolutionary Multi-Criterion Optimization - EMO 2003, Berlin (2003) pp. 796-809.
- [3] G. Agrawal, K. Lewis, K. Chugh., C.-H. Huang, S. Parashar, C. L. Bloebaum, " Intuitive Visualization of Pareto Frontier for Multi-Objective Optimization in N-Dimensional Performance Space", Tenth AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, Albany(2004)AIAA-2004-4434. Visualization of Multidimensional Design and Optimization Using Cloud Visualization ", ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC02/DAC-2006.
- [4] 川久保秀子, 吉田裕亮, "カーネル法とランダム行列理論によるノイズ変数の除去", 電子情報通信学会, IBISML2012-102, pp.69-76.