

航空機設計最適化のための多次元データ可視化

渡邊 彩華 (指導教員：伊藤 貴之)

1 はじめに

航空機の機体設計において多目的最適化問題は広く利用されている。多目的最適化における設計変数と目的関数は多次元変数の一種であることから、多次元データ可視化手法を用いることでその分布や相関の理解を支援できる。本研究は航空機設計最適化のための多次元データ可視化手法 Hidden [1] の拡張を提案する。本研究での提案内容は最適化のための進化計算に特化した拡張と汎用的な拡張の2点で構成される。1点目は進化計算過程の可視化である。具体的には、遺伝的アルゴリズムの各世代を構成する多次元変数群を抽出し可視化する。2点目は散布図の併用による汎用的な可視化である。具体的には、散布図の併用によって新たな知見が得られると期待される2変数の組み合わせを自動選出して、それらを散布図で表示する。

2 関連研究

多次元データ可視化手法 Hidden の可視化画面例を図1に示す。この手法では画面右側の次元散布図上での対話操作により半自動的に抽出された低次元空間群を、画面左側で複数のPCP (Parallel Coordinate Plots) を用いて表示する。

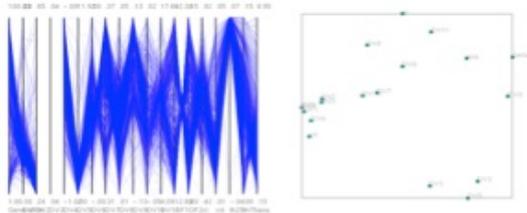


図 1: Hidden

3 多次元データ可視化手法 Hidden の拡張

本章では航空機設計最適化のための多次元データ可視化手法 Hidden の拡張について提案する。3.1 節では航空機設計最適化のための進化計算に特化した拡張を提案する。3.2 節では航空機設計最適化に限定しない汎用的な拡張を提案する。

3.1 遺伝的アルゴリズムの各世代の色別表示

遺伝的アルゴリズムの進化過程を観察するため、各世代を構成する多次元変数群を抽出し可視化する。本論文では、以下の2つの表現を試みている。1つ目の表現では図2(左)に示すように、最新世代から順に異なる色相を割り振ることで、進化計算による各世代を構成する変数群を観察しやすくする。2つ目の表現では図2(右)に示すように、第1世代から最新世代までの進化過程を赤～黄色のグラデーションで表示する。この表現を用いることで、進化過程をよりスムーズに理解できる。

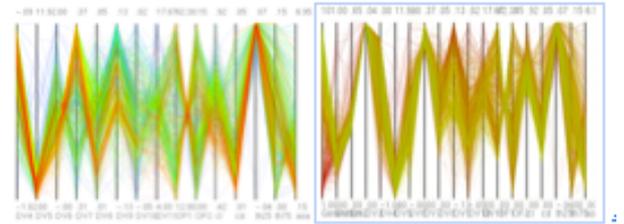


図 2: (左) 新世代から順に異なる色相を割り当てる (右) 赤～黄のグラデーションを割り当てる

3.2 散布図の併用による次元選択

提案手法では散布図で可視化する価値のある2変数を自動推薦し、それらを散布図で表示する。従来の Hidden が画面の左半分に複数のPCPを表示したのに対して、提案手法では図3に示すように、PCPと散布図を併用することで可視化する価値のある次元をより効果的に表現する。ここで本研究における「可視化する価値の高い2変数」とは、特徴的な数値分布を有しながら、PCPで視認することが難しく、散布図で可視化することでその特徴が視認しやすくなるような2変数の組み合わせを指す。散布図の評価にはWilkinsonらが提唱した Graph-Theoretic Scagnostics [2] を適用し、散布図に関する9種類の特徴を定量評価する。この評価結果から、11種類の特徴を持つ散布図をつくる2変数を推薦する。本研究の実装では、Monotonic と Skinny の2種類の評価基準を試みている。

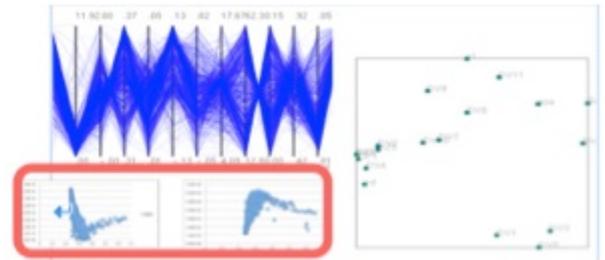


図 3: 散布図を併用した可視化画面

3.2.1 Monotonic

Monotonic とは、単調性 (単調増加性または単調減少性) を示す評価基準である。単調性の高い数値分布はPCPでも視認しやすいため散布図を用いる必然性は低い。よって本研究では、Monotonic 値が高い2変数は積極的に選ぶ必要はないと判断する。

本手法では、Monotonic の評価にあたりスピアマン順位相関係数を採用した。スピアマン順位相関係数は、変数を値で並び替えた際の順位についてピアソン相関係数を計算したものである。計算式は以下のとおりである。ここで n は標本数、 d_i は順位の差であり、同順位が存在する場合には平均順位を用いることとする。

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

3.2.2 Skinny

Skinny とは散布図上の点群を包括する領域の細長さを表す。点群が細長く分布している 2 変数は可視化する意義がある可能性が高い。よって本研究では, Skinny 値が高い 2 変数を積極的に選ぶ。

Skinny の検出にあたり, 我々の実装では Wilkinson らの実装と同様に, Delaunay 三角分割法を適用している。三角メッシュを生成し, 多角形で構成される領域の周りの長さとの面積の比を Skinny と定義する。

$$\text{Skinny} = 1 - \sqrt{4 \pi \text{area}(A) / \text{perimeter}(A)} \quad (2)$$

1 に近い値を示せば領域が細いことを意味しており, 散布図を用いて可視化する価値があると考えられる。

4 実行例

我々は本手法を Java Development Kit (JDK) 1.7.0 で実装した。本研究では航空機の一例として, 後縁翼厚を考慮した火星探査航空機主翼最適設計 [3] から得られた設計最適化結果について本手法を適用した例を示す。この設計最適化結果は 2 つの目的関数と 11 の設計変数から構成されており, 遺伝的アルゴリズムを適用することで 10 個体 100 世代の進化計算を実施している。

4.1 遺伝的アルゴリズムの各世代の色分け表示

色分け表示によって得られた知見の例を以下に示す。図 4 は, Hidden の画面左側に表示される PCP のうち 2 軸を拡大表示したものである。説明変数 10・説明変数 11 とともに, 探索区間の中でも特定の区間に特定の色彩が見られる。これは進化計算の過程とともに主に探索される区間が移動していることがわかる。このことから, 遺伝的アルゴリズムにおける突然変異が効果的に働いていたことが示唆される。

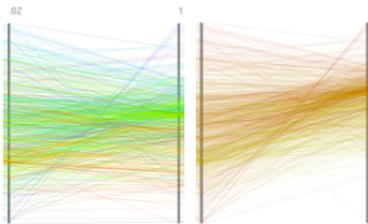


図 4: 説明変数 10(左軸) と説明変数 11(右軸)

4.2 散布図による低次元空間の可視化

Monotonic 値と Skinny 値を図 5,6 に示す。

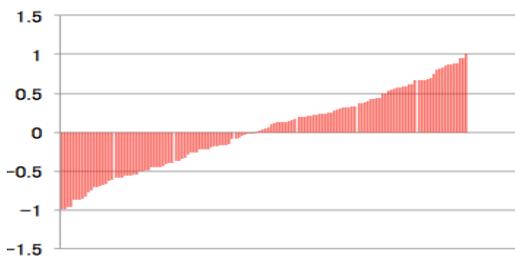


図 5: Monotonic 値の分布

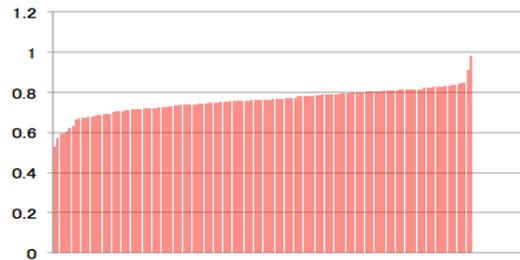


図 6: Skinny 値の分布

Monotonic 値については数値が大きくばらけており, 絶対値が一定以上である 2 変数は選ばないようにする, という基準としてある程度使えそうである。Skinny 値は 0.7~0.8 の区間に値が集中していることがわかる。このことから, 今回適用した火星探査航空機翼型の設計最適化結果では, いかなる組み合わせの 2 変数間においても領域がある程度細長く, 散布図で可視化する価値があると判断できる。以上のことから今回の設計最適化結果に関しては, Monotonic 値と Skinny 値の 2 値だけから少数の散布図を自動推奨することは簡単ではない。Monotonic 値と Skinny 値以外の評価基準も実装することが必要であることが示唆される。

5 まとめ

本研究では, 航空機設計最適化を目的とした多次元データ可視化手法 Hidden の拡張を提案した。具体的には, 遺伝的アルゴリズムの進化過程の表示, 可視化する価値の高い散布図の自動推薦表示, の 2 点について提案した。今後の課題として, まず Monotonic と Skinny 以外の評価基準の実装があげられる。Skinny の実装については, 本手法では Delaunay 三角分割アルゴリズムを適用したが, Skinny の値が一定の範囲内に収まってしまっていることから他の算出方法を検討したい。

謝辞

本研究を進めるにあたりデータの提供をいただきました。首都大学東京 金崎雅博先生, 宇津木基弘氏に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 伊藤, 多次元データ可視化手法 Hidden によるコンテンツ印象分析のフレームワーク, 可視化情報シンポジウム, D106, 2015.
- [2] A. Wilkinson, R. Anushka, L. Grossman, Graph Theoretic Scagnostics, IEEE Symposium on Information Visualization, pp. 21-28, 2005.
- [3] M. Utsugi, M. Kanazaki, T. Sato, K. Matsushima, Multi-Objective Design of Airfoil for Martin Airplane considering Trailing Edge Thickness, 30th International Symposium on Space Technology and Science, Kobe, Japan, July, 2015.