

VR空間での3次元散布図行列によるナビゲーション手法の提案

— Rolling the Diceの3次元への拡張 —

理学専攻 情報科学コース 2340654 太田 理佳子 (指導教員：伊藤 貴之)

1 はじめに

インターネットの普及により、データは複雑さを増し多数の次元を持つようになった。多次元データから有意義な知見を得るために多様なデータ可視化手法が提案されている。その1つに Rolling the Dice[B: Elmqvist 08] という手法がある。散布図と散布図行列を組み合わせ、散布図行列内で散布図のナビゲーションを行い、散布図間の遷移をアニメーションで3次元回転として表現する。散布図行列で次元間の関係を明確に把握しながら異なる散布図を比較し、対話的にデータを探索できる。

Rolling the Diceは2次元散布図を可視化するが、3次元散布図は1つ多くの次元を同時に表示することで、より包括的にデータを可視化する。2次元散布図では発見できない特徴やパターンが発見されることもあり、多次元データ可視化において2次元散布図よりも効果的である場合が存在する。そこで Sanftmann[B: Sanftmann 12] らが Rolling the Diceを3次元に拡張した手法を提案しているが、2次元ディスプレイを用いることで、視点移動の制限や遮蔽によるデータ点の見落としという課題が生じている。これらの課題は仮想現実(VR)を用いることで改善される。

そこで、本報告では Rolling the Diceを2次元から3次元に拡張し、VR空間内で3次元散布図行列を用いて3次元散布図をナビゲーションすることで、多次元データを探索する手法を提案する。データ探索の対話性と効率を高めるために補助的な機能やクエリスカルプティング、次元の並び替え、散布図の強調表示といった機能を実装し、散布図間の遷移をアニメーションで表現する。本報告ではUnityで実装した例を示し、ユーザ評価を通じて本手法の有効性を評価した結果を報告する。

2 関連研究

Elmqvist[B: Elmqvist 08] らと Sanftmann[B: Sanftmann 12] らは多次元データを可視化する際に散布図行列を用いて散布図のナビゲーションを行う手法を提案した。両者とも2次元ディスプレイ上で、Elmqvistらは2次元散布図行列を、Sanftmannらは3次元散布図を用いている。本手法ではVR空間内で3次元散布図行列を用いる。VR空間内での散布図を利用し没入がや分析を行う手法の例として ImAxes[B: Cordeil 17] などが例としてあげられる。この手法では多次元データを散布図として可視化するには、散布図の軸となる次元をドラッグ操作などで逐一選択する必要がある。本手法では、散布図行列内で散布図を選択する1回の操作により、散布図

に表現される次元の組み合わせを瞬時に変更できる。Heerら[B: Heer 07]は可視化において効果的な遷移アニメーションを作成するための設計のガイドラインを提唱した。これを参考に Elmqvistらは Rolling the Diceにおける2次元散布図間の遷移を段階的な3次元アニメーションとして実装した。Sanftmannらは3次元散布図間の遷移を数学的な補間スキームと投影方法と視点調整の工夫により、3次元剛体回転のように表現した。6種類の散布図間の遷移アニメーションを評価した Rodriguesら[B: Rodrigues 24]によると、回転のアニメーションに次いで直線的なアニメーションが高い成績を示した。多数の散布図の中から可視化する意義のある散布図を効率的に見つけ出すために、散布図の価値を数値評価する基準が幾つか提案されている。代表的な例が Wilkinsonらによって実装された Scagnostics[B: Wilkinson 05]であり、Fu[B: Fu 09]はこれを3次元に拡張した。伊藤ら[B: Itoh 23]は多様な基準を同時に参照することで、閲覧する価値のある多様な散布図を選択する手法を提案している。この手法ではグラフ彩色問題を適用し、ユーザが指定する基準に沿った指定された個数の散布図を選出する。

3 提案手法

本報告の提案手法は、端的に言えばVR空間内における Rolling the Diceの3次元への拡張である。

3.1 実行環境

本手法はVR空間内でヘッドマウントディスプレイ(HMD)とVRコントローラを用いてデータを探索する。

3.2 システムの設計

本手法をUnityで構築する。

3.2.1 ナビゲーション

本手法の主な視覚的要素は3次元散布図と3次元散布図行列の2つである。散布図行列はデータセットの概要を示し、かつナビゲーションの場となる。散布図行列は立方体の奥の3つの面に2次元散布図行列を表示することで表現する。散布図行列で選択された散布図が拡大して表示される。これによって、ユーザは散布図鑑の次元の関係性を明確に把握しながら散布図を比較できる。

3.2.2 遷移アニメーション

本手法では散布図間の遷移を直線的なアニメーションで表現する。3次元散布図間の遷移を回転で表現す

る場合、4次元空間での回転を考慮する必要があり、これは一般的なユーザには理解が困難である可能性がある。一方で直線的なアニメーションは視覚的にシンプルで理解しやすく、単純な線形補間で実装できるため、本手法ではこちらを採用する。これによって、ユーザは点やクエリの移動を追跡しやすくなる。

3.2.3 対話的機能

本手法では対話的かつ効率的なデータ探索を支援するための機能を複数実装する。具体的には以下を含む。

- ドリルダウン：任意のデータ点の詳細を段階的に表示する
- テレポート：散布図内部からの観察を可能にするため、散布図内の中心地点へ瞬時に移動する
- ミニマップ：散布図行列内でどの散布図が選択されているかを簡易的に示す
- クエリスカルプティング：散布図内部で視覚的にクエリを表現し、反復的にフィルタリングを行う
- 次元の並び替え：散布図行列の列または行の次元の順番を自動または手動で並び替える
- 散布図の強調表示：3次元の Scagnostics の4つの基準に基づいて散布図を評価しユーザが指定した基準の指定した個数の散布図を散布図行列内で強調表示する

これらによって、ユーザが求める事象をデータから効率的に発見することができ、また散布図を外側から観察する場合には遮蔽されるデータを見落とす可能性が大幅に軽減される。

4 実行結果

4.1 使用したデータ

本研究では、日本の労働環境と賃金のデータセットを使用した。2023年度の1年間における職種ごとの月給や賞与の金額、労働時間などのデータを題材にした。

4.2 実行例

図1に本手法の概観を示す。

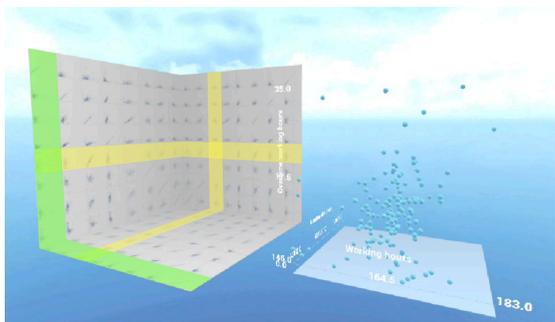


図1: 本手法の概観

5 まとめ

本報告では、3次元散布図および3次元散布図行列とVRを組み合わせることで、Rolling the Diceを2

次元から3次元に拡張し、没入型環境で多次元データを探索する対話的な手法を提案した。本手法を用いて評価実験を行い、結果を報告する予定である。今後の課題としては、まず3次元散布図間の遷移について、一般的なユーザにも理解しやすい表現で超立方体の回転を3次元空間に投影することで回転のアニメーションを継承する方法を考案したい。また散布図の強調表示について他の評価基準による選出も実装したい。さらに、より大きな次元と標本数を持つデータセットを本手法に適用し、より汎用性に富んだシステムになるように開発を進めたい。

謝辞： 本研究にあたり留学先でご指導いただいたウィーン工科大学の Eduard Gröller 教授と Renata Raidou 助教、学会等でご助言くださった東京科学大学の脇田建准教授に感謝の意を表す。

参考文献

- [B: Elmqvist 08] Elmqvist, N., et al. (2008). Rolling the dice: Multidimensional visual exploration using scatterplot matrix navigation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6), 1141-1148.
- [B: Sanftmann 12] Sanftmann, H., et al. (2012). 3D scatterplot navigation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(11), 1969-1978.
- [B: Cordeil 17] Cordeil, M., et al. (2017). Imaxes: Immersive axes as embodied affordances for interactive multivariate data visualisation. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 71-83). Association for Computing Machinery.
- [B: Heer 07] Heer, J., et al. (2007). Animated transitions in statistical data graphics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(6), 1240-1247.
- [B: Rodrigues 24] Rodrigues, N., et al. (2024). Comparative evaluation of animated scatter plot transitions. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 30(6), 2929-2941.
- [B: Wilkinson 05] Wilkinson, L., et al. (2005). Graph-theoretic scagnostics. In *IEEE Symposium on Information Visualization, 2005. INFOVIS 2005*.
- [B: Fu 09] Fu, L. (2009). Implementation of three-dimensional scagnostics [Unpublished manuscript]. University of Waterloo, Department of Computer Science.
- [B: Itoh 23] Itoh, T., et al. (2023). Multidimensional data visualization applying a variety-oriented scatterplot selection technique. *Journal of Visualization*, 26, 199-210.