A202

視線情報を利用した3次元流れ場における関心領域の取得と 流線の自動配置

渡邊 大介[○], 小野 謙二(理化学研究所), 茅 暁陽(山梨大学)

Identification of ROI in 3D Flow Field Using Eye Tracking Data and Automatic Streamline Placement

Daisuke WATANABE, Kenji ONO and Xiaoyang MAO

ABSTRACT

Identification of Region Of Interest (ROI) is of great importance for effective visualization of a three dimensional flow field. A primary issue on users' manual specification of ROI is that their knowledge and labor are required. In this paper, a newly developed method that generates streamlines with appropriate density automatically, which is employing identified ROI from eye tracking data. The ROI in 3D space is obtained by projecting the eye fixation to the flow field. Using the measured eye data when the users observe physical quantity relevant to flow such as pressure, the proposed system allows the users to concentrate on their observation without regard to the identification of ROI.

Keywords: Flow visualization, Eye tracking, Region Of Interest, Streamline placement

1. はじめに

3次元流れ場の可視化では、可視化領域の選択が効果的な表現を得るために重要である。3次元空間の表示では、ビューに対する奥行き方向の複雑さがあるため、必要な領域だけを選択しなければ効果的な可視化結果は得られない。たとえば、2次元流れ場では、流線の均等配置法¹⁾が流れ場全体の把握に効果的であるが、3次元流れ場の場合、空間的な均等配置は流線が互いに遮蔽し合いその有用性を失ってしまう(Fig. 1)。しばしば、流れ場の分析から見出された重要領域を考慮して可視化が行われるが²⁾、これらは流れ場のみに依存しており、流れ場を観察するユーザの関心領域と必ずしも一致しない。関心領域はユーザや目的によって異なり、それらを特定して可視化に反映することがより効果的な表現につながる。

しかし、ユーザ自身に可視化領域を能動的に指定させることは、対象となる流れ場に関する知識や手間を必要とし、ユーザにとって煩雑な作業となってしまう。ユーザの負担の軽減と関心領域の反映を目的として、我々は視線情報の利用を提案した³⁾。ユーザの視線の先は関心領域を示し、可視化領域の候補となる。本稿では視線データから3次元空間の関心領域を取得し、流れを可視化する方法を述べる。可視化手法としてここでは流線を用い、関心領域に適切な密度で流線を配置する。ユーザが流れ場の関連物理量を観察する際の視線情報を利用することにより、ユーザは可視化領域を意識的に指定することなく、関心領域の流れの振る舞いを観察できる。

2. システム

2.1 システム概要

システム使用時のユーザの動作は次のようになる。ユーザは視線追跡装置を装着し、等値面で可視化された圧力などの関連物理量を観察する。ユーザは、通常の観察と同様に、等値面の値やビューを自由に変更することができる。流線の配置を望む際には、ユーザはシステムに指示を出すことで流線が生成される。ユーザは観察と配置を納得するまで繰り返し、関心領域の流れの振る舞いに加え、流れと物理量の相関を見ることができる。また、観察の終了後には、測定されたすべての視線データを用いて可視化処理を行うことで、無意識の関心領域など新たな発見が期待できる。さらに、ユーザは真に必要な領域を取捨選択し、ユーザの関心が反映された最終的な可視化結果を得ることもできる。

システム側の動作は次のとおりである。システムは、流れ場を観察するユーザの視線座標を常に取得し、3次元流れ場のデータ空間へ変換後、保存する。ユーザからの流線配置の指示をきっかけに、システムは視線データから関心領域を特定する。その後、関心領域に基づいて流線の密度マップを決定し、流線を生成する。生成はリアルタイムに行われ、対話的な可視化環境をユーザに提供する。

2.2 視線データの分析

視線測定にはNAC社製のEMR-NL8Bを使用する。視線追跡装置によって取得される視線データは、スクリ

ーン平面上における 2 次元座標である。視線データを 3 次元空間での関心領域の特定に使用するためには、スクリーン空間から流れ場のデータ空間へ投影する必要がある。Lu らは、ボリュームデータの可視化において、視線から 3 次元空間の関心領域を特定するために、回転するボリュームをユーザに観察させることで、複数の視線から空間的な関心領域を計算した⁴⁾。彼らの方法はボリュームの回転を強制し、すべての回転行列を保存する必要がある。本稿ではより簡潔な方法として、グラフィックスシステムのデプスバッファを利用する。デプスバッファにはスクリーンに描かれているオブジェクトの奥行き値が保持されており、視線位置における値を参照することで、描画されているデータ空間の 3 次元座標値を取得することができる。ユーザの観察対象として、等値面のようなジオメトリオブジェクトを用いることで、視線は等値面上の点に変換される。

視線追跡装置から取得された生データはまず、停留とサッケードに分離される。サッケードとは視線の跳躍運動であり、人間は主に停留の間に視界からの情報を得ている。停留と判断された視線は、デプス値により流れ場のデータ空間に投影され保存される。視線データは 3 次元空間でクラスタリングされ、ユーザの関心領域を示す。視線データの投影の際、等値面上に落ちなかった視線は破棄される。つまり、この手法は、ユーザの視線の先には何らかのオブジェクトが存在することを仮定している。

2.3 流線の配置制御

特定された関心領域に基づき流線を配置する。関心領域の流れを効果的に可視化するために、関心領域付近は密に、それ以外の領域には少数の流線を配置する。任意の密度での配置は、流線の間隔を制御することで実現できる。流線の間隔は関心領域に基づき密度マップとして格子点上に定義し、流線を生成する際に参照する。密度マップは、関心領域の重心からの距離を d として以下の式で作成される。

$$I(d) = \frac{I_{\min} - I_{\max}}{1 + (d/a)^b} + I_{\max}$$

ここで、 $I_{\min}$ 、 $I_{\max}$ はそれぞれ流線間の最小、最大距離、 a 、 b は間隔の変化を調節するパラメータである。

流線の生成時には、各流線は密度マップに定義された間隔を保つように制御される。ここでは球領域を用いた間隔制御を行う。流線の配置は逐次的に行われ、既存の流線上には新たな流線の進入を禁止する球領域が定義される。球領域の半径は密度マップから取得する。

3. 実行結果

ユーザの観察後、関心に基づいて作成された可視化結果の例を Fig. 2 に示す。観察には圧力値の等値面を使用した。このデータの場合、ユーザの興味は角柱後方の低圧部に集中した。圧力値が低い部分で、流れが複雑に渦巻いている様子が可視化されている。Fig. 1 の空間的な

均等配置と比較すると効果的に可視化領域が選択されていることがわかる。関心領域に対し、ユーザの興味の薄かった領域は、数本の流線が大まかな流れを表している。流線は主に関心領域に配置されるため、流線同士の遮蔽は軽減され、関心領域の流れを明らかにしている。

4. まとめ

本稿では、視線情報を利用し、3 次元空間の関心領域を流線法で可視化する方法を提案した。ユーザに自由な観察を提供しつつ、3 次元空間における関心領域を特定することができる。

本研究が目指すシステムは、関心領域の流れの特性から、最適な可視化手法やパラメータを自動的に決定し、ユーザに提案するユーザ支援型の可視化システムである。可視化設計をエージェントに代行させ、知識ベースを参照することで、ユーザを観察に集中させることが狙いである。そのためには、視線のより詳細な分析が必要であり、停留と認知プロセスの関係を明らかにすることが重要である。

参考文献

- 1) Turk, G. and Banks, D.: Image-guided streamline placement, Proceedings of SIGGRAPH (1996), pp. 453-460.
- 2) Ye, X., Kao, D. and Pang, A.: Strategy for Seeding 3D Streamlines, Proceedings of IEEE Visualization (2005), pp. 471-478.
- 3) 渡辺大介, 茅暁陽, 小野謙二, 藤代一成: 視線情報に基づく流れ場のストリームライン配置, Visual Computing/グラフィックスと CAD 合同シンポジウム (2005), pp. 149-154.
- 4) Lu, A., Maciejewski, R and Ebert, D.: Volume Composition Using Eye Tracking Data, Eurographics/IEEE VGTC Symposium on Visualization (2006), pp. 115-122.

Fig. 1 Uniformly Spaced Streamlines

Fig. 2 Optimized Streamline Placement and Closeup View of ROI