

ユーザーフレンドリーな流体生成、操作及び編集技術に関する研究

丸山, 哲

<https://hdl.handle.net/2324/7157355>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (芸術工学) , 課程博士
バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)



氏 名 : 丸山 哲

論 文 名 : ユーザーフレンドリーな流体生成、操作及び編集技術に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、流体シミュレーションにとって代わる、ユーザーにとって扱いやすい流体生成、操作及び編集のシステムを提供する。これにより、ユーザーが流体を用いたデザインをしやすくなり、従来よりもユーザーが流体を自由にコントロールできることにつながる。

流体は自然界では水、煙、炎などで現れ、私たちの日常生活においてもなじみ深いものの一つである。コンピュータグラフィクス(CG)では、仮想空間上に流体の挙動を再現することは興味深い大きな課題の一つである。一般的に、CG 流体は流体シミュレーションによって得られ、その結果は物理的に正確でリアルなものとなる。多くの CG 流体に関する研究は、本来工学分野などで用いられる流体シミュレーションにかかる計算を、CG 向けに視覚的な美しさを保ちながら最適化することに焦点を置いている。しかし、流体シミュレーションで得られる情報は主に速度や渦度及び圧力といった物理的情報であり、

このままでは幾何学的な情報(個々の渦のサイズ、傾き、縦横比といった形状情報など)を得ることができない。このことは、ユーザーが流体を生成する際に直感的で思い通りの結果を得ることが難しくなることにつながる。また、ユーザーと CG 流体生成システムの接点はシミュレーションの実行ボタンでしかなく、ユーザーが関わるのは実行後に完成した流体をチェックするのみであり、ユーザーが流体をコントロールしながら生成することができない。さらに、流体シミュレーションはその仕組み上、現在時刻の状態を求めるために初期時刻から現在時刻までの流体の状態の情報を逐次計算で求める必要があり、かつその計算が複雑で多量であることが多い。そのため、リアルタイムで CG 流体を生成するためにはそのシミュレーション計算をリアルタイムで行うための高性能な演算装置が必要となり、流体を用いたデザインの敷居を高くすることにつながる。これらの問題は、CG 流体を物理的情報から幾何学的情報に置き換えて取り扱ったり、流体シミュレーションにとって代わる CG 流体の生成、編集手法を提案したりすることによって解決すると考えられる。

本論文は、2 次元 CG 流体を物理的特徴の代わりに幾何学的特徴で捉える手法を提案する。そのために、CG 流体の渦度マップを局所的に二次形式で近似することを試みる。近似手法として、テーラー展開を用いた手法と、最小二乗法を用いた手法の 2 通りを提案し、テーラー展開の手法は渦度マップの幾何学構造を局所的に詳細に調べるのに便利で、最小二乗法の手法は大域的な幾何学構造を調べるのに使用できる。これにより、CG 流体の渦度マップを二次形式の行列係数の行列式の符号を用いて二次形式的特徴(楕円、放物線、双曲線)によってセグメンテーションすることができ、それぞれのセグメンテーションされた領域ごとに幾何学的特徴(例えば、楕円として識別された領域では、楕円の中心位置、長軸短軸比、サイズ、角度など)を割り当てることができる。また、本研究が独自に定義する、エネルギー散逸及びエンストロフィーを用いて表されるスカラー場(物理的情報)と、最小二乗法の手法でセグメンテーションした結果(幾何学的情報)に強い相関があることを示し、楕円型なら回転の影響が、双曲線型ならひずみの影響が大きいことを示す。さらに、本研究が

提案する手法を応用し、渦度マップの渦の中心位置を検出したり、既存研究の渦補強手法を幾何学的に妥当になるように修正したりする手法を提案する。

上記の研究とは別に、本論文は、シミュレーションなしで、しかもシミュレーションと同等の品質を保ちながら、墨絵風あるいはマーブル模様風の 2 次元流体模様を、ユーザーが入力したストローク線をもとに生成する手法を提案する。本研究はストローク線画像から流体模様画像への変換に条件付き GAN、特に 3 つの画像対画像変換ネットワークの組み合わせを採用し、それらのネットワークがインタラクティブな流体の生成及び編集に向いている高速で堅牢な変換を実現することを示す。また、本研究は **Distance Transform** 画像及び画像変換ネットワークを利用した生成流体模様画像のニューラルスタイル変換を行い、スタイル画像の視覚的特徴が反映されたシルエットを持つ流体模様画像を生成したり、流体模様の乱流スケールを疑似的に調整したりできることを実証する。

本論文で提唱する理論や結果は、ユーザーフレンドリーな流体の生成・操作・編集技術を開発する手助けをする。物理的な特徴(流速、圧力、渦度など)を持つ CG 流体を幾何学的特徴(個々の渦の位置、サイズ、縦横比、傾きなど)に置き換えることで、ユーザー(デザイナーやクリエイター)が直感的に簡単に流体を編集することが可能になる。また、シミュレーションなしで素早く流体を直接生成する仕組みを利用することで、ユーザーがストレスなく流体を操ることができる。このように、本論文の結果は流体を用いたデザインの障壁を取り除くと考えられる。