

令和 7 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2024

課題番号：20K12534

研究課題名（和文）流体計算によらないインタラクティブな流れ模様の生成技法

研究課題名（英文）Interactive Design of Fluid-Like Patterns without Fluid Simulation

研究代表者

鶴野 玲治（Tsuruno, Reiji）

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：10197775

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：「流体計算を用いない」「インタラクティブ」のために、三つの観点から新たなCG流体生成方法の開発を行った。流体中の渦の位置、サイズ、傾きなどの幾何学的特徴を局所的な二次形式近似により抽出する手法を開発した。従来の逐次シミュレーションを行わず、ストローク線や障害物スケッチといった初期条件から、機械学習（GAN）を用いて瞬時に流体模様を生成する手法を提案した。汎用GUIツールに搭載された編集機能（塗りつぶし、ブラシ、選択・変形、消しゴムなど）と流体操作機能を対応させるインタラクティブな編集手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

幾何学的特徴を局所的な二次形式近似により抽出する手法では従来の物理量ではなく視覚的・直感的な情報を用いた操作が可能となり、GUI上での流体操作の基盤を整えた。機械学習（GAN）を用いて瞬時に流体模様を生成する手法では低負荷かつリアルタイムでの流体生成が可能となり、一般的なPC環境でも快適な流体編集を実現できた。汎用編集機能と流体操作機能を対応させる方法により、一般的な曲線ストロークの操作のまま流体を自在に編集・デザインすることが可能になった。これらの成果は視覚的・直感的・低負荷という三つの条件を満たす新たなインターフェースと基盤技術を提示するものである。

研究成果の概要（英文）：To achieve “no fluid calculations” and “interactivity,” we developed a new CG fluid generation method from three perspectives. First, we developed a method to extract geometric features such as the position, size, and tilt of vortices in a fluid using a local quadratic approximation. Second, we proposed a method to instantly generate fluid patterns from initial conditions such as stroke lines and obstacle sketches using machine learning (GAN) without performing conventional sequential simulations. We constructed an interactive editing method that integrates fluid manipulation functions with editing features (such as fill, brush, selection/transformation, and eraser) available in a general-purpose GUI tool.

研究分野：CG、情報科学

キーワード：コンピュータグラフィックス 流体計算 機械学習 ナビエストークス方程式

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンピュータグラフィックス映像生成のために最適化された安定性の高い既存の流体シミュレーション手法は、美しくリアルな視覚結果をもたらすが、それらは特定の物理的条件を満たすように作られており、厳密かつ複雑な計算によって生成に時間がかかり、インタラクティブな操作系の実現は極めて難しい。生成速度を上げるために計算精度を簡略化するとリアリティが損なわれる。したがってこの二者を両立させるためには計算方法自体を見直す必要がある。研究開始時点では、流体シミュレーションを NS 方程式ではなく幾何学的計算によって近似するという考え方に基いて方法を試行し、ある程度のリアリティとインタラクティブ性が可能と見込んでいた。その後、研究を進めるに従い、「流れ」の性質を持つ別の物質のシミュレーションや、機械学習などに発展することになった。

2. 研究の目的

本研究の目的は美しくかつリアルタイムに制御や編集可能な二次元流体模様の生成である。複雑で厳密な流体計算を必ずしも必要とせず、高速かつシンプルなアルゴリズムによって計算を簡略化しながら動的にリアリスティックなパターンを描き出す方法をさぐる。高速処理によってインタラクティブティビティとリアリティの両立を目指す。正確性を追求するには厳密なシミュレーション計算が必要であるが、数値的正確性だけでなくリアリティと表現性と演出性と操作性の総合的なバランスが重要となる。本研究では、提示されるパターンを 2D の流れをベースに考え、3D を意識させるような不自然で美しい流体パターンの生成方法を探るものである。

3. 研究の方法

非圧縮性流れ (incompressible flow) の場合 Navier-Stokes 方程式の各項 (移流項、圧力項、粘性項、外力項) の与え方やパラメトリックな操作による流れ模様の変化、および操作系のユーザーインタフェース (UI) をさぐる。時間微分幅が大きい場合や乱流が発生する場合など、計算が困難な例外処理にも発展させる。本研究代表者らはすでに周波数成分に応じた計算単位のアダプティブ化や、Position Based Fluid (PBF) の考え方に基いた三次元流れの計算に成功している。描出対象が二次元断面あるいは二次元平面であることから、空間流れと断面流れの両方の計算方法による結果を比較しながら、これらを簡易的に操作制御する UI を提案する。この UI は流体のインタラクティブなコントロールが反映される必要があるため、まず、プレビューが流体に見えること、リアルタイムに複雑な計算が必要であること、ユーザーの意図が即座に反映できること、意図を取得する方法が一長一短で完全なものがないことなど、これ自体の実現にも課題が多い。レンダリングに関しては level set 法や Euler 法とともに、vector fluid のようなアダプティブな境界追跡法も採用する。ボクセル空間での流れ計算が行われるような場合には任意断面を出力対象とした方法も考えている。以上のような要素を含む研究の実現のため、以下のように計算モデル系、操作系、表現系の三つの課題に分けて、並行して進めていく。

まず計算モデル系では、初年度は 3D 計算と 2D 計算の効果的な併用方法の探索、目的別調整、問題点抽出などを行い、投影面解像度に対応した計算密度設定の適用、より複雑大規模なモデリングとレンダリング計算への適用へ進めていく。

次に操作系 (ユーザーインタフェース系) では、マウス入力に限らず、たとえば視線入力やジェスチャ入力などに対応した解像度マップの生成を行う。これらの UI の試作、インタラクショナル方法の試行を経て、流れ模様コントロールインタフェースの構築などに発展させる。

表現系 (レンダリング系) では、境界面や断面での動きが見えなければ流体の動きに見えない。そのため、境界面・境界線を高速かつ高効率に描くためのアダプティブな分割による境界線表現方法、マルチレイヤーの境界表現、任意断面でのリアルタイム描出などを試行していく。

4. 研究成果

本研究では「流体計算を用いない」「インタラクティブ」のために、三つの観点から新たな CG 流体生成方法の開発を行った。第一に、流体中の渦の位置、サイズ、傾きなどの幾何学的特徴を局所的な二次形式近似により抽出する手法を開発した。これにより、従来の物理量ではなく視覚的・直感的な情報を用いた操作が可能となり、GUI 上での流体操作の基盤を整えた。第二に、従来の逐次シミュレーションを行わず、ストローク線や障害物スケッチといった初期条件から、機械学習 (GAN) を用いて瞬時に流体模様を生成する手法を提案した。これにより、低負荷かつリアルタイムでの流体生成が可能となり、一般的な PC 環境でも快適な流体編集を実現した。第三

に、汎用 GUI ツールに搭載された編集機能（塗りつぶし、ブラシ、選択・変形、消しゴムなど）と流体操作機能に対応させるインタラクティブな編集手法を構築した。これにより、ユーザーは一般的な曲線ストロークの操作のまま流体を自在に編集・デザインすることが可能になった。これらの成果は視覚的・直感的・低負荷という三つの条件を満たす新たなインターフェースと基盤技術を提示するもので、今後は映像制作、インタラクティブアート、教育コンテンツなど幅広い応用分野での展開に寄与すると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 丸山哲、鶴野玲治	4. 巻 50, 3
2. 論文標題 局所二次形式近似による2次元CG流体渦場の幾何学特徴の抽出	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 画像電子学会誌	6. 最初と最後の頁 411, 418
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Taisei Omine, Yuki Morimoto, Reiji Tsuruno
2. 発表標題 Automatic Generation of a 3D Braid Hair Model from a Single Image
3. 学会等名 SIGGRAPH2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丸山哲、鶴野玲治
2. 発表標題 局所二次形式近似による2次元CG流体渦場の幾何学特徴の抽出
3. 学会等名 第28回Visual Computing (VC2020)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------