

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：17102
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2014～2016
課題番号：26350012
研究課題名(和文) 流体造形モデリングインタフェースの研究

研究課題名(英文) Modeling interface for animating fluid

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は美しい流体造形をコンピュータグラフィックスで描きだし、任意に制御、編集、加工ができるようなモデルの構築である。リアリティとインタラクティブ性は相反する課題であり、双方の改良とバランスが重要になる。形状制御の効率化の問題に対しては、剛体形状制御の方法であるシェイプマッチング法を適用した全体の外形制御が効率的であることを示した。また、計算の高速化、リアルタイム性が重要であることから、PDF(Position Based Fluid)の方法を採用し、計算効率の見直しを行った。各粒子の密度の制約を補完する計算モデルを設定することで、少ない反復計算でも非圧縮性を保つ方法を提案できた。

研究成果の概要(英文)：We present the computational fluid model for graphics which is a practical method for real-time controllable simulations of incompressible fluids. Since reality and interactivity are contradicting problem. We improved shape control algorithm, and we have successfully presented the Shape-Matching algorithm can be effective for fluid shape control. The interactivity needs to reduce simulation computing cost, we re-designed and improved the Position-Based-Fluid (PBF) algorithm. We develop a computational model based on this hypothesis and verify its usefulness in simulations. The method suppresses the fluid compression even in a non-iterative model.

研究分野：コンピュータグラフィックス

キーワード：computational fluid shape matching position based fluids

1. 研究開始当初の背景

流れる水、大海原、空を流れる雲、大気移動、風になびく草木など、流れという現象はコンピュータグラフィックス (CG) 界において最も美しくかつ重要な現象の1つであると認識されている。流体の挙動はコンピュータが登場した1940年代より航空機や船舶の設計、地形まわりの海流予測など、Computational Fluid Dynamics (CFD) と呼ばれて発展してきた。一方でCGにおける流体の研究は80年代に映画の特撮技術として始まった。現在、CGの流体研究は映画制作やビデオゲームに利用され、近年はシミュレーション計算の可視化技法として工学分野にも寄与している。CGでは、計算の正確さをある程度備えた上で、巨大で複雑な流体モデルをどのように効率よく扱うか、処理量を減らすかが焦点になる。たとえば計算精度を落とす、物理モデルを簡略化する、などを行っている。それでも現状では多くの限界を抱えており、多くの研究者が解決に取り組んでいる。これらは言い換えればコンピュータの計算量の制約の中でどこまで表現力を上げられるかという課題に対する取り組みである。正確さやリアリティを追究するには計算時間が犠牲となり、計算速度やインタラクティブ性を求める時には正確さが犠牲になる。したがって、本研究の目的である美しい流体をリアリスティックかつインタラクティブに生成また編集することは極めて難しい問題である。これを解決するために、流体計算方法だけでなく精度や計算対象の効率化が必要であり、また、思考イメージを直感的に反映させるようなユーザーインタフェースが必要になる。この問題は特に映像制作分野でCGの流体を扱う際に大きな問題となる。この分野ではリアリティを保った上で、かつ制作者のもつイメージに合わせた動きを求められる。時に現実にはありえないような誇張や演出性に対応する必要が生じる。流体を直接制御するとリアリティが損なわれるため、流体を支配する物理法則や空間の性質自体を間接的に編集加工することになる。

2. 研究の目的

本研究では水や風に流れる煙のような美しい流体の形状をCG(コンピュータグラフィックス)でリアリスティックかつ自由に生成し、さらにそれを任意に制御や編集加工できるようなモデルを構築する。計算方法を改良しながら流体としてのリアリティを向上させ、任意の形状変化を実現させる。特に編集加工の処理において、ユーザーの意図の反映されやすい形をめざし、入出力系、編集系、操作系、およびそれらのユーザーインタフェースの設計と評価を行う。シミュレーションとコントロールのうち、前者では計算方法の最適化、後者ではコントロール方法として、ターゲット形状を与える shape matching 法

を手がかりにし、ターゲットの与え方や水粒子移動モデルの適正化、造形的な美しさ、動きと形状のリアリティなどを実現していく。

3. 研究の方法

計算の効率化と形状的リアリティの向上が常に求められる課題である。流体形状の計算方法としては、申請時点では粒子の密度をアダプティブに変更することで大幅な計算コストの軽減をはかることに成功しつつあった。また、処理の並列化、ハードウェア化が効果的であることから、これらによってシミュレーション計算をともなったレンダリング時間の短縮をはかる。

本研究計画では特に流体の形状制御や編集操作にも重点的に力を入れる。空間の重力場や速度場に加え、剛体の制御方法である shape matching 法が有効と考え、特に力を入れて取り組む。また、インタラクティブ性の実現のためには、ほぼリアルタイムなシミュレーションとレンダリングの速度が必要である。この問題に対し、position based fluid 法を改良し、反復計算を軽減することで実現を試みる。このように本研究は形状制御とシミュレーション計算の両方が必要であると考え、ユーザーインタフェースと計算の高速化に同時にとりくむ。

(1)形状制御

弾性体制御の方法である shape matching 法を適応する。まず、Mullerらの方法に基づき Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) を用いて流体のアニメーションを生成する。各粒子の座標における物理量をカーネル関数によって計算する。これを control particle と呼ぶ粒子によって外力項に力を与えることで制御する。

各 control particle は近傍の流体要素に対して attraction force と velocity force という二種類の力を加えることによって意図する動きを実現する。attraction force は空間座標に基づき生ずる力で近傍の流体要素を control particle の動きに沿わせる効果を持つ。それぞれの力はNS方程式の外力項に追加される。shape matching 法は弾性体をシミュレーションするための手法であり幾何学的なアプローチによって高速かつ頑健な計算を行うことができる。物体が変形すると各粒子に元の形状に戻ろうとする力が働くという性質をもっている。

目標形状を与えた際に動的に control particle を発生させる。提案手法では shape matching 法によってそのふるまいを決定するため、control particle の生成時に元形状と初期形状を与える必要がある。元形状は与えられたポリゴンモデルに対して voxelization をほどこし、それぞれのセルの中央部に control particle を配置することによって得られる。また初期形状はユーザーが指定した対象領域内の流体部分に対してランダムにバ

ーティクルを配置したものを用いる。

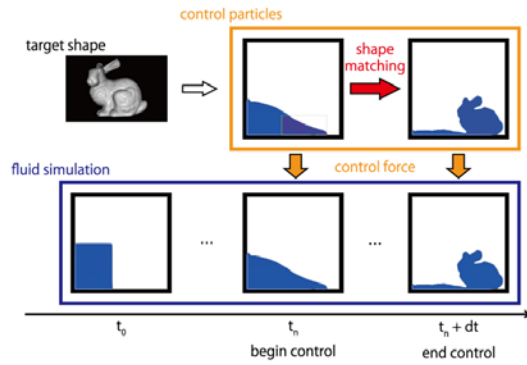


図1 control particle による形状制御の概念

(2) 計算効率の改良

リアルタイムアプリケーションにおいて流体シミュレーションを実現するための方法である Position-Based Fluids(PBF)モデルを改良することで計算のさらなる高速化とインタラクティブ性を実現する。PBFはSPHをベースとした粒子法による非圧縮性流体シミュレーションの手法であり、密度に関する制約条件を直接修正することで流体の流れを決定する。この手法は従来の手法のように積分による誤差の蓄積がないので安定した計算を行うことができ、さらにタイムステップ幅を大きくとることができるため高速な計算が可能である。しかし密度の制約条件を満たすためには反復計算が必要であり、反復回数が少ないと非圧縮性が保たれずに流体の圧縮が発生するという問題がある。このため、密度の制約を補完するための計算モデルの提案を行う。

「位置の修正量」と「修正方向」を考慮した計算モデルを設定し、その計算モデルを用いてあらかじめ位置修正を行うことで PBF における密度の制約を補完する。この計算モデルを本研究では局所密度補完モデルと呼ぶことにする。非圧縮性流体において流体内で密度の差が生じている場合、密度が均等になる方向へと粒子は移動する。そこでこの粒子間の密度差を用いて位置の修正量を決定する。

4. 研究成果

shape matching 法を使った形状制御と局所密度補完を付加した position based fluids による成果は以下の通りである。

(1) shape matching 法による形状制御

インタラクティブに目標形状を与え、control particle を移動させることで形状遷移をおこなった。図に示す通り流体の状態に依存することなくなめらかに遷移した。速度確認のために二次元で行った実験では流体の粒子数や control particle が増加しても 150~200fps 程度と十分に高速に動作していた。ただし control particle のパラメータの与え方によっては他のパラメータの発散につながりやす

いという課題も残った。また、入力画面が二次元であるため、三次元の目標形状を自由に与えることが困難であるという問題も残った。現時点では代表的なモデル形状を用意し、任意に選択している。

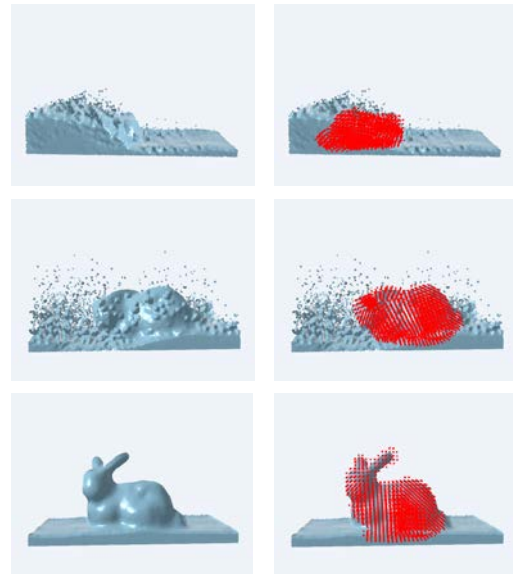


図2 目標形状への推移

(2) 局所密度補完モデルによる高速計算

提案手法の非圧縮性への効果の検証のため、ダム崩壊シミュレーション計算を従来手法と提案手法とで行い比較した。比較対象は各シミュレーションにおける①最大密度推移、②平均密度推移、③1 フレームあたりの計算時間、である。提案手法によるシミュレーションの反復回数は常に1回である。実験1では同じ条件で従来手法を用いた場合との比較、実験2では従来手法の反復回数を増やした場合との比較である。以下は実験の概略とシミュレーション条件である。

	実験1	実験2
提案手法	反復1回	反復1回
従来手法	反復1回	反復2回

粒子数	11480
流体粒子数	2000
壁粒子	9480
タイムステップ幅 [s]	0.025
K (任意定数)	10.0
初期粒子密度 [kg/m ³]	497.73
重力加速度 [m/s ²]	9.81
初期速度 [m/s]	0.00

以下は実験結果である。実験1,2ともに提案手法を用いた場合の方が従来の手法で反復計算で反復計算を行った場合よりも密度の安定化が行われていることが確認できた。これは反復計算による位置修正よりも本研

究で提案する密度補完モデルによる位置修正の方が大きく位置を修正することが可能であったためであると考えられる。また、実験1において従来手法では極端な最大密度の上昇が発生していたが提案手法では発生していない。これは密度補完モデルが密度差によって粒子の位置を修正する際に、密度の高い部分から密度の低い部分へと粒子の移動が行われたためであると考えられる。

また、提案手法と従来手法の計算時間を比較すると、同じ反復回数においては提案手法の方が計算時間は増加するが反復回数を1回増やすよりも計算時間は小さくなった。つまり、本手法を用いることで従来よりも低い計算コストにより非圧縮性の向上が可能であると考えられる。



図3 最大密度の推移

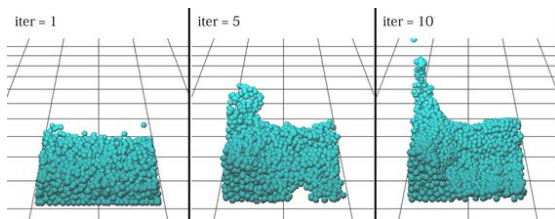


図4 反復回数がおよぼす影響

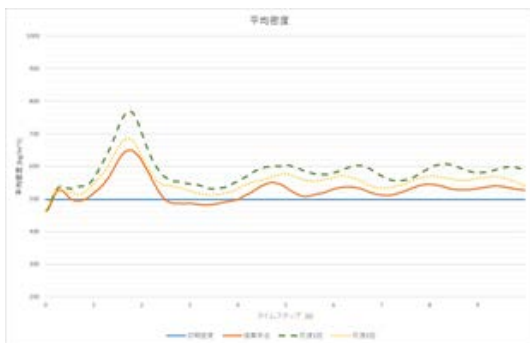


図5 平均密度の推移

以上のように形状制御と計算速度向上の成果は得られた。一方で本研究のゴールであるユーザーインターフェースの構築にはまだ課題が残っており、必ずしもユーザーのイメージが容易に反映できるものであるとはいえない。これは GUI 画面が二次元であることが大きく、この問題に対して VR デバイス

である HMD と三次元位置ポインタ、イメージベースドの方法などを使った方法を試行している。現在進行中の課題である。

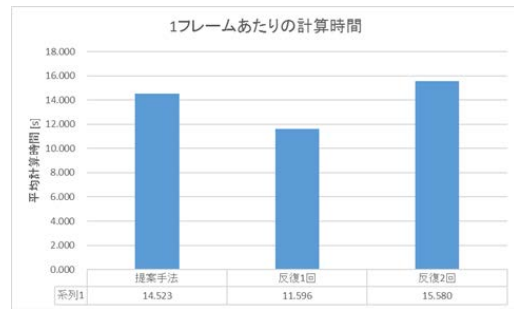


図6 フレームあたりの計算時間

なお、本研究による成果は査読を通ったコンファレンス論文などで発表を行っている。2016年12月に国際ジャーナルにも投稿中であるが、本報告執筆時点ではまだ結果は返ってきていない。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

投稿中

〔学会発表〕(計 2 件)

①目野泰平, 鶴野玲治:

位置ベースシミュレーションのための局所密度補完モデル, 映情学技報, vol. 41, no. 12, AIT2017-53, pp. 33-36, 2017,
<http://www.ite.or.jp/ken/paper/201703140AGy/>

②Taihei Meno, Reiji Tsuruno:

Local Pressure Correction Model for Position Based Fluids, ADADA2016, 4A-6, 2016,
 (査読付きフルペーパー)

〔図書〕(計 0 件)

なし

〔産業財産権〕

なし

○出願状況 (計 0 件)

なし

○取得状況 (計 0 件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

鶴野玲治(Tsuruno Reiji)
九州大学・大学院芸術工学研究院・教授
研究者番号(10197775)

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし