

5X-04

直接操作による流体挙動の制御

早川 雄登 藤代 一成
慶應義塾大学 理工学部情報工学科

1 背景と目的

近年の映像制作では、非写実的な流体表現が必要となる場合も多く、流体らしさを維持しながら、期待通りにその挙動を制御しなければならない。よって、流体シミュレーションでは、流体の写実性とともにより制御性も重要となる。

流体制御に関する研究は数多くなされてきた。Thureyらは流体の中に制御粒子を仕込ませ、制御粒子に流体粒子を纏わせて動かす流体制御の手法を提案した [1]。また、Zhangらはモーションデータに従い制御粒子を動作させた [2]。これらの研究は、流体シミュレーションにある程度理解のあるユーザを対象としており、理解がないユーザが扱うことは難しい。

流体シミュレーション、流体制御にはさまざまなパラメータが存在する。流体シミュレーションの知識がなければ、パラメータの感度を理解して操作することは容易ではない。そこで本研究は、流体シミュレーション、流体制御に用いるパラメータ調整を特定のモーションデータに対応させた直接操作により、直感的な流体挙動の制御を試みる。

2 提案手法

図1に提案手法の処理のループを示す。赤外線センサにより取得した両手のモーションデータを用いる。特定のモーションデータをコマンドとして認識し、コマンドに応じて流体挙動を制御しながら2次元空間上で流体シミュレーションを行う。

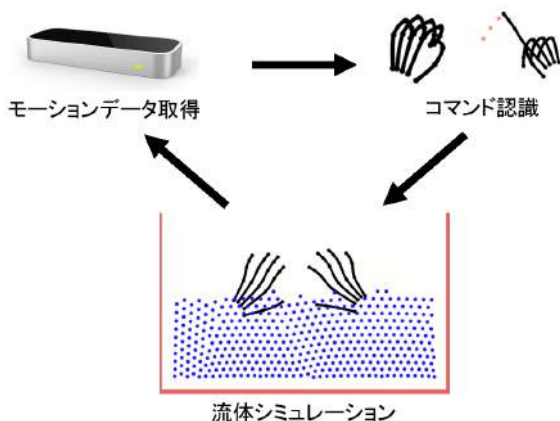


図1: 提案手法の処理のループ

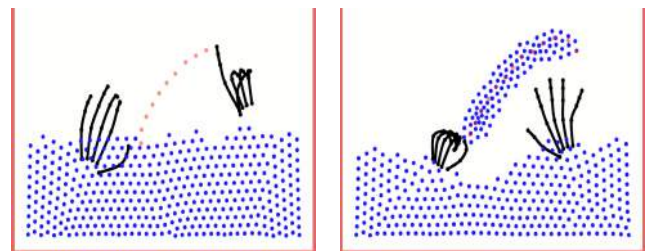
2.1 コマンド認識

キャプチャデバイスには Leap Motion 社 Leap Motion を用い、両手のモーションデータを用いる。右手と左手のモーションの組合せからコマンドを認識する。コマンドはモーションデータの3次元位置を考慮して判別する。

2.2 流体シミュレーション

流体シミュレーションには粒子ベースの SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法を用いる。

コマンドを認識している際のモーションデータは、Leeuwらの局所的流れ場におけるパラメータ [3] や、流体形状の制御に用いる制御粒子 [1] などに対応させる。これにより、流体の支配方程式に基づく流体らしさと非写実的な流体形状の両方を制御できる。図2に制御粒子による流体形状制御の動作を示す。流体の粒子を青色、制御粒子を赤色で表している。



(a) 制御粒子の生成 (b) 制御粒子に基づく流体の変形

図2: 制御粒子による流体形状の制御

また、画面に表示する手の形状に合わせて流体の粒子を設置することで、手と流体の接触が可能となる。コマンドを介した流体挙動の制御に加え、直接流体に触れることで、流体の状態を実感でき、制御の指針とすることができる。図3に手と流体の接触の様子を示す。

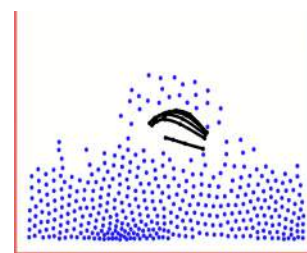






図3: 手と流体の接触

2.3 コマンドリスト

本研究で開発したシステム上で実行可能なコマンドのリストを表1に示す。右手の操作を基準とし、左手の操作は右手の操作の補助的な役割を担う。特定のモーションデータが複数必要となるコマンドの場合において、コマンド内の分岐の選択などを左手の操作で指示する。

表 1: コマンドリスト。左手と右手の組合せをコマンドとし、→は特定コマンドからの状態遷移を示す。

No	コマンド名	左手	右手	コマンド内容
1	リセット			コマンドの実行状態をすべてリセットし初期状態に遷移
2	流体形状の制御			人差し指先端軌跡上に制御粒子を描画
				制御粒子形状に流体を変形
3	流れ場の生成		2 → 	制御粒子上での流れ場の生成 右手を動かすことで速度変化
4	制御範囲の指定	 or 		右手人差し指先端軌跡で流体粒子or制御粒子の範囲を指定
				軌跡範囲内の粒子を指定
5	形状の拡大縮小		4 → 	範囲内の形状を拡大, 縮小
6	粘性の制御			人差し指と親指の間隔で粘性を設定
7	手との流体接触			手と流体の接触ON, OFF

3 実行例と評価

開発環境として CPU: Intel Core i7-5500U 2.40GHz, RAM: 8.00GB を用いた。Leap Motion によるモーションデータ取得かつ描画用 API として、Siv3D[5] を使用した。

表1のコマンドを複数用いて、あらかじめ設定した形状に変化していく流体を作成した例を図4に示す。流体形状の制御、制御範囲の指定、形状の縮小、形状の拡大の順にコマンドを使用した。Shiら[4]によって提示された流体制御の評価基準は以下の4つである：(1) 制御性、(2) 使いやすさ、(3) 流体らしさ、(4) 安定性。流体シミュレーションの知識が全くない複数のユーザに図4の通りに本システムを使用してもらった結果として、4つの基準を満たしている、という評価を得た。

4 結論と今後の課題

本稿では、直接操作を用いた直感的な流体挙動の制御を提案した。本手法により、流体シミュレーションに知識のないユーザが容易に流体を制御できるシステムを提供できた。

今後の課題として、流体表面の抽出が挙げられる。映像制作の支援が目的であるため、流体表面を表現することは写実性の観点から必要不可欠である。次にシミュレーショ

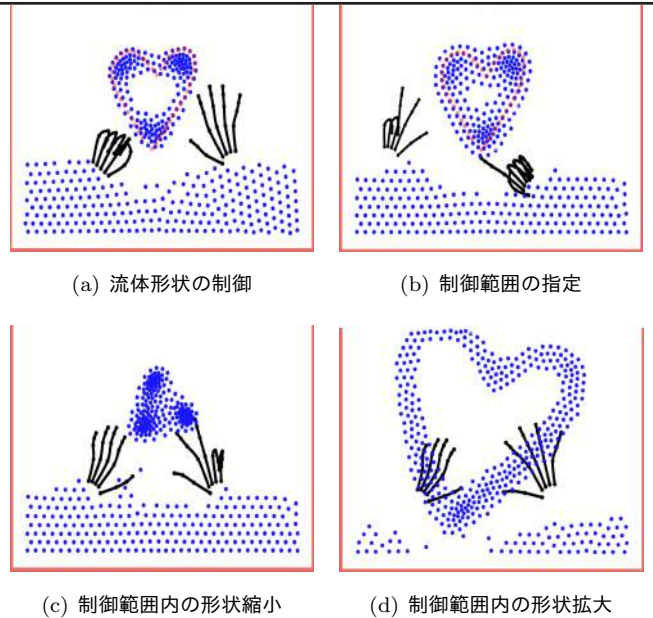


図 4: ハート型に流体形状を制御、ハート型全体を制御範囲として指定、制御範囲内の形状縮小、拡大の順にコマンドを実行。各コマンドのステップが (a), (b), (c), (d) の順に対応。

ン空間を2次元から3次元へ拡張することが挙げられる。これにより、直接操作の有用性が顕著になると考える。また、本稿では手と流体の接触しているときの感触などを手に反映していない。流体に触れている際の手動作を制限することで、流体とのインタラクションを交えながら流体挙動を制御することが可能になると考える。これにより、コマンドを介したパラメータ制御による流体の状態をより実感しやすくなり、流体挙動の制御の指針になると考える。さらに、モーションキャプチャ範囲の拡大も今後の課題として挙げられる。本稿では両手のモーションデータを使用した。身体全体のモーションデータを用いれば、流体の制御性の向上に繋がると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、平成27年度科研費基盤研究(A) 26240015の支援により実施された。

参考文献

- [1] N. Thurey, R. Keiser, M. Pauly, and U. Rude: "Detail-preserving fluid control," in *Proceedings of the 2006 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer animation*, pp. 7-12, 2006.
- [2] S. Zhang, X. Yang, Z. Wu, and H. Liu: "Position-based fluid control," in *Proceedings of the 19th Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, pp. 61-68, 2015.
- [3] W. Leeuw and J. Wijk: "A probe for local flow field visualization," in *Proceedings of the 4th Conference on Visualization '93*, pp. 39-45, 1993.
- [4] L. Shi and Y. Yu: "Taming liquids for rapidly changing targets," in *Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, pp. 229-236, 2005.
- [5] C++ライブラリ Siv3D
<http://play-siv3d.hateblo.jp/>
(最終アクセス日: 2016/01/07).