

主査	舟橋 健司	副査	岩田 彰	研究室	舟橋 研究室
入学年度	平成 22 年度	学籍番号	22417587	氏名	夏目 祐樹
論文題目	粒子・体積ベース仮想液体操作モデルにおける液体の流れの表現				

1 はじめに

近年バーチャリアリティの技術はますます発達し、我々の生活により身近なものとなりつつある。その研究の一つとして、仮想環境における流体の対話操作に関するものがある。液体などの流体はその挙動が複雑であるため、それを厳密に再現するためには多くの計算時間を要する。液体を粒子の集合として考え、流体力学に基づいて液体挙動を計算する手法があるが、対話操作への応用を考えた場合には計算速度の面で十分ではない [1] [2]。一方当研究室では対話操作性に重点を置いた、粒子・体積ベース仮想液体操作モデルを提案している [3]。液体を自由落下状態と静止状態に分けて考え、人が無意識に期待する挙動を重点的に表現することで、高速な処理速度での仮想液体操作を実現している。本研究では、容器内面を伝うなどの流動する液体を局所的な体積変化に基づいて表現する方法を提案し、液体操作の臨場感向上を図る。

2 粒子・体積ベース液体操作モデル

2.1 凸形状容器による液体操作

液体を自由落下状態と静止状態の 2 つの状態に分けて考え、前者を粒子、後者を体積に基づいて表現する。挙動の厳密な再現はしていないが、操作者が液体を扱う際に無意識に期待する挙動に重点をおくことで、高い臨場感かつ高速な処理速度での仮想液体操作を実現している。容器の形状はまず凸形状のものを考える。モデル簡略化のため容器を伝うなどの流れは考慮せず、ある液体体積での液面の存在すべき位置を計算し、そこに液面を描画するという方法により表現する。

2.2 凹形状容器による液体操作

フラスコや瓢箪のような凹形状の容器においては、ある体積の液体の様子は一意に定まらない。そこで、凹形状容器を全てが凸領域となるよう分割して考える。各分割凸領域間での液体の移動を考えることにより、凹形状容器による液体操作を実現している。

3 液体の流れの表現

3.1 本研究における「流れ」とその種類

本研究では、フラスコの筒部分を伝い流れる液体、容器内を流れ落ちる液体など、液体の流れを表現することで粒子・体積モデルにおける仮想液体操作の臨場感向上を図る。少ない計算量での実現のため、流れる液体を前述の静止状態と自由落下状態の中間的な状態として考える。その状態を流れ状態と呼ぶこととし、流動する液体を局所的な領域における体積変化に基づいて表現する。本研究においては、人が日常で扱う容器内での液体の流動を「流れ」とする。フラスコの筒部分を伝うような容器壁面に沿った流れを伝い流れ、容器内を自由落下する流れを落下流れと呼ぶ (図 1)。



図 1: 伝い流れと落下流れ

3.2 伝い流れの表現

まず、ある時刻における体積 V_f の流れ状態液体について、容器の形状と姿勢から流れの種類、流れの始点と終点を決定する。流れの速度は重力加速度をもとに決定する。本研究における流れは、容器内での短時間の事象であるため、モデル簡略化の観点から等速運動を行うものとする。流れ開始から終了までの流れ時間 t_f を液体体積と容器斜面の傾きを用いて決定する。単位時間の流出量は $\alpha \frac{V_f}{t_f}$ より求める。 α は流れ液体流出開始時刻 t_0 より時間経過に伴い減少する値であり、次式 (1) で表せる。ただし、 p は定数である。

$$\alpha(t) = p \frac{1}{t - t_0} \quad (1)$$

上述の計算を毎時刻行うことで現時刻での流れの様子を決定し (式 2)、液面を描画することで、少ない計算量での液体の自然な流れを表現する。

$$V_f(t) = V_f(t-1) - \alpha \frac{V_f(t_0)}{t_f} \quad (2)$$

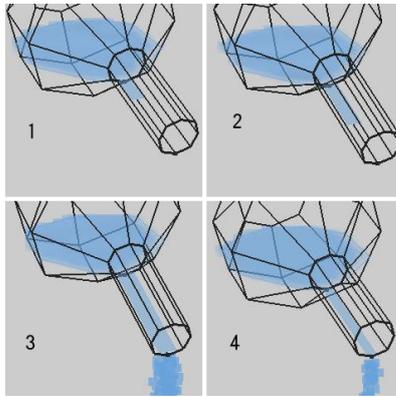


図 2: フラスコ型容器内を流れる液体の様子

また、伝い流れは容器に沿った流れとなるため、容器形状によって流れの向きが途中で変化する場合があります。そのため、始点と終点間での直線上の流れでは正確な表現ができない。そこで向きが変化する点を変向点として流れを分割し、直進の流れを繋ぎ合わせることでより容器に沿って伝う液体の流れを表現する。

3.3 落下流れの表現

落下流れ液体は $\theta = 90^\circ$ の面を伝う液体として扱い、前述の通り計算する。実際には摩擦力等の力が働くため等しくならないが、日常で扱う容器内での短時間の現象であるため、人がその差異を意識するには微小すぎると考えられるからである。流れの始点と終点の 2 点間を落下運動する液体の様子を、伝い流れ液体の場合と同様の計算方法で決定し、落下流れを表現する。

3.4 各状態にある液体間での遷移

現時刻におけるある流れの液体体積の総和は、前時刻までの液体体積、現時刻で新たに流れに遷移した液体体積、および単位時間流出量より計算する。流れ状態液体、静止状態液体間での遷移については、各液体体積の加減により表現する。流れ状態液体から自由落下状態液体への遷移は換算比 $N[\text{粒子数}/\text{体積}]$ により行う。

4 実験と結果

本モデルを用いて、仮想液体操作を行った際の液体の流れの様子を図 2 に示す。描画更新速度は平均約 85fps であった。また、20 代男性 8 名を対象とし、従来モデルと提案モデルそれぞれにおいて、フラスコ型容器による液体操作時の液体挙動の自然らしさについての主観評価実験を、最高点を 7(液体そのものだと感じる)、

液体挙動の自然らしさについての主観評価実験結果

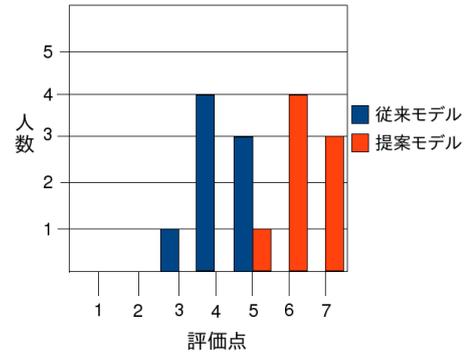


図 3: 主観評価による評価実験結果

最低点を 1(全く液体らしく感じられない) とした 7 段階評価で行った。その結果を図 3 に示す。流れの表現により、液体挙動の自然らしさが向上し、さらにより高い臨場感での液体操作が可能になったと言える。

5 まとめ

本研究では、粒子・体積ベース仮想液体操作モデルにおいて、対話操作に重点を置いた少ない計算量での液体の流れの表現モデルを提案した。実験結果より、対話操作性を維持しつつ、操作者が自然に感じられる液体の流れを表現できたと言える。今後の課題としては、流れの速度を容器外へ流出する液体の初速度へ反映すること、また、より高い臨場感で体験可能な VR コンテンツを構築していくことが挙げられる。

参考文献

- [1] Matthias Muller, Simon Schirm, Matthias Teschner “Interactive Blood Simulation for Virtual Surgery Based on Smoothed Particle Hydrodynamics”, ACM Technology and Health Care, Vol.12, No.1, pp.25-31, 2004.
- [2] Frank Losasso, Jerry O. Talton, Nipun Kwata, Ron Fedkiw, “Two-Way Coupled SPH and Particle Level Set Fluid Simulation”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, VOL.14, No.4, pp.797-804, 2008.
- [3] Yuki Natsume, Andreas Lindroos, Hirotaka Itoh, Kenji Funahashi, “The Virtual Chemical Laboratory Using Particle and Volume Based Liquid Model”, Proc. SCIS & ISIS 2010, pp.1354-1359, 2010.