

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 20 年度	学籍番号	20417566	氏名	棚橋 拓也

論文題目 対話性を重視した仮想液体操作モデルにおけるかき混ぜ動作の実現

1 はじめに

バーチャルリアリティの研究として、剛体、弾性体の操作を行う研究がある。一方で医療や産業の分野において、液体を仮想的に扱いたいという要望がある。液体を仮想的に扱うことを考えた際、その手法として流体力学に基づく計算をし、液体の挙動を厳密に再現する手法が考えられる [1]。しかし、このような手法では計算に多くの時間がかかってしまい、対話処理に向いているとは言いがたい。本研究ではこれまでに、容易に実時間処理が可能な、仮想容器による対話操作モデルを提案している [2]。この対話操作モデルでは、液体を自由落下状態と静止状態に分け、前者を粒子、後者を体積として液体を表現している。また液面に、短時間で計算可能な二次元波動方程式を利用し波の挙動を加えることで、処理速度を保ったまま臨場感の向上を行っている。

本研究では、実時間で計算可能な波動方程式を用いた液面の表示法を改良することで、粒子・体積モデルによる仮想液体操作システムにおいてかき混ぜ動作を実現する。

2 基となる仮想液体モデル

2.1 粒子・体積モデル

液体の厳密な挙動の再現ではなく、対話操作の実現を第一の目的とした仮想液体モデルである。液体を自由落下状態と容器内の静止状態に分け、前者を粒子、後者を体積に基づき処理する。

2.2 波の表現法

静止状態の液体の液面において、処理に比較的時間のかからない二次元波動方程式を適用することで、波の表現を行う。次式に二次元波動方程式を示す。

$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = \nu^2 \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

この式を差分を用いて近似することで簡単化する。液面を直交の格子状に区切り、各格子点で計算させることで波の伝播を実現している。

3 渦流の表現

本研究では、前述のモデルを改良し渦の表現を可能とすることで、粒子・体積モデルによる仮想液体対話操作システムにおいて、かき混ぜ動作を実現する。

3.1 擬似的な渦

現実の液体をかき混ぜ、渦を発生させた際、その液面は螺旋状に波が発生すると考えられる。本研究では、液体の厳密な挙動を再現することよりも、その対話操作性に重点を置いているため、流体力学に基づく計算を行うことなく渦流の表現を実現したい。そこで、液面表示のみで渦流の表現を行う。具体的には、従来、格子状に区切られ表現された液面を同心円状に区切ることで、擬似的に螺旋状の波を表示させ、渦が発生しているように見せかける。図 1 左は直交格子状液面における波の伝播方向を示したもので、図 1 右は同心円格子状液面における波の伝播方向を示している。

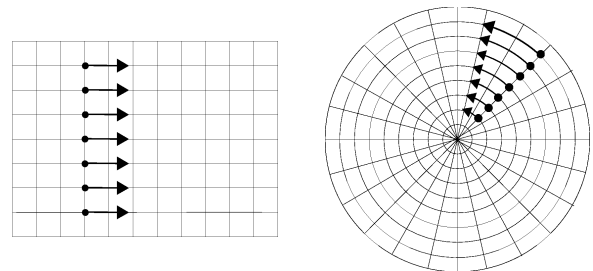


図 1: 各格子状液面での波の伝播方向

これにより、同心円格子状液面では波が円弧方向に伝播する。

3.2 液面表示法

仮想容器に入っている液体の液面は任意の多角形となりうる。前節のように液面を同心円状に区切る手法だけでは円形の液面に限定されてしまうので、液面表示における改良が必要である。

本研究では、直交格子上の任意の点 (i, j) と対応する同心円格子上の点 (r, θ) を求めることで、直交格子状液面において同心円格子と同じ計算を行う。このとき、一般的な極座標表現ではなく以下の式 (2) のように半径 r 、角度 θ を設定する。

$$\begin{aligned} r &= b * \sqrt{i^2 + j^2} \\ \theta &= c * \text{atan}(i, j) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで b, c は定数であり、本研究では $b = 1, c = \frac{X_MAX}{2\pi}$ とする。 X_MAX は直交格子状平面における x 軸の最大値を表す。

これにより直交格子上の点と同心円格子上の点の対応を取ることが容易にできるため、直交格子状平面において同心円格子と同じ計算を行える。

3.3 液面の高さ

流れの強い渦では中心付近にかけて液面がへこむ現象が起こる。これは液体内部の対流や遠心力によるものである。本研究ではこのような挙動を実現する。

渦発生時において、rankine の組み合わせ渦という考え方は、次式のように液面の高さが表される。

$$z = \begin{cases} \frac{\omega^2}{8g}(r^2 - 2a^2) & (r < a) \\ \frac{\omega^2}{8g} \frac{a^4}{r^2} & (r > a) \end{cases} \quad (3)$$

式 (3) は、半径 a 内で一様の渦度 ω を持つ渦による水面において、中心からの距離 r の地点における高さ z を表す式である。

本研究では仮想液体の対話操作を第一の目的とし処理速度に重点を置くため、液面の高さにおける計算を厳密に行わない。そこで、式 (3) における ω と a について簡略化した値を与えることで、液体をかき混ぜた際の液面の高さ変化を実現する。

3.4 渦の表現を考慮した仮想液体操作モデル

前述の渦に関するモデルを仮想液体操作モデルである粒子・体積モデルに適用する。容器や物体の操作による渦の発生に条件を設定し、条件を満たした際にその液面において渦を発生させる。

渦の発生条件は以下の二点とする。

- 移動する方向が一定
- 閾値以上の移動量

この二点は、液体をかき混ぜるといった動作を行うとき、多くの人は同じ方向へある程度の時間かき混ぜると考えられるためである。移動物体を動かし、条件を満たした際に、液面において格子状に伝播する波と円弧方向へ伝播する波を合成させる。これにより、操作者が液体をかき混ぜた際の液面の挙動を再現する。

4 実験及び結果

提案モデルを用いて、仮想液体の液面の表現を改良した仮想容器による液体操作システムを構築した。その結果を図 2 に示す。

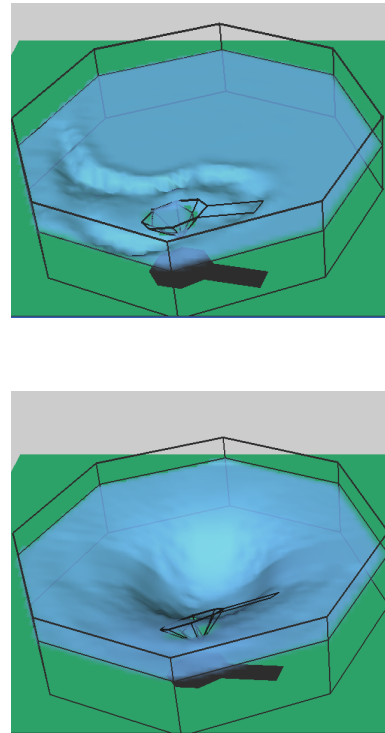


図 2: 渦の表現を考慮した操作可能な仮想液体

5 まとめ

本研究では、粒子・体積モデルを基に液面の波の伝播を改良することで、仮想容器による仮想液体対話操作システムにおいてかき混ぜ動作を実現した。今後の課題は、高速処理を可能とした本仮想液体モデルを他の VR コンテンツに組み合わせていくことなどがある。

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] Takuya Tanabashi, Kenji Funahashi, Hiroataka Itoh, Yuji Iwahori “Representation of Wave Surface on Virtual Water Manipulation”, SCIS ISIS 2008, pp.1625-1630, 2008.8.