

VR 化学実験体験システムのための タッチパネル 3D インタフェース

Touch Panel Interface in 3D Virtual Space for Chemical Laboratory Experience System

内山享佑¹⁾, 舟橋健司²⁾

Kyosuke UCHIYAMA and Kenji FUNAHASHI

1) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, uchikyon@center.nitech.ac.jp)

2) 名古屋工業大学 情報工学専攻

(〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@nitech.ac.jp)

概要: 当研究室では小学生程度を対象とした VR 化学実験体験システムを開発している。本システムは、3次元空間内でビーカーなどの容器を移動、回転することで溶液を混ぜ合わせ、その反応を視覚的に確認するものであり、3次元位置センサなどを利用している。本研究では実際に教育現場への導入が進んでいるタブレット PC 上でこのシステムを実現する。その際、液体操作に利用する容器を傾ける操作は 2次元平面であるタッチパネルを介して自然に行いたい。そこでタッチパネル上の指の動きを、容器を内包する球の緯度成分と経度成分に分解し、経線と緯線に沿って回転するインタフェースモデルを提案する。本モデルにより違和感なく期待通りの 3自由度回転操作が可能である。

キーワード: 対話操作, タッチパネル, 3D インタフェース

1. はじめに

近年、バーチャルリアリティ技術に関する研究が盛んに行なわれ医療や産業、教育などの分野で活用されている。その際に、固体や液体、気体などの挙動の厳密な再現に重点をおく研究と対話操作、すなわち実時間処理に重点をおく研究がある。本研究はこの後者に位置付けられる。

当研究室では、小学生程度を対象とした VR 化学実験体験システムを開発している [1]。これはビーカーやフラスコを実際に操作することで実験の手順や化学反応を確認することが可能なシステムである。臨場感の高い化学実験体験システムを構築するにあたり液体の挙動表現が必要となる。この際、粒子法の 1 種である SPH 法を用いることで厳密な液体の挙動の再現が可能である [2]。しかし、厳密な挙動を再現するためには膨大な計算が必要であり、また高い性能の計算機が必要となる。このため、一般家庭や教育機関で利用してもらうことを目的とした本システムには適していない。

そこで、本研究室では VR 化学実験体験システムのために粒子・体積ベース仮想液体操作モデルを提案している。本モデルでは対話操作を重視し、液体を自由落下状態と容器内状態の 2 つに分けて考える。液体が前者の状態ではお互いの干渉を考えない粒子により表現し、後者の状態では体積に基づき表現することで安価な PC でも高速な処理速度を

実現している。本モデルでは容器で液体をすくう、受け止める、こぼすなどの現実世界における化学実験の際に考えられる液体操作が実現可能である。

このシステムでは液体操作に利用する容器の操作のパラメータは 3次元モーションセンサを介して得ている。しかし移動の容易なシステムも需要があるだろう。一方、キーボードを持たないタブレット型 PC の普及が進んでおり、e-learning 端末として教育現場への導入が進んでいる [3]。そこで本研究では、VR 化学実験体験システムの普及を目指し、タブレット PC 上でシステムの構築を行う。その際、液体操作に利用する容器の操作はタブレット PC で主に用いられているタッチパネルにより実現したい。2次元平面を介した 3次元空間の物体操作、特に 3自由度回転操作を行なうため、本研究ではいくつかの実現方法を考察したうえで緯線、経線にそって地球を回すようなモデルを提案する。本モデルを用いることで違和感なく期待通りに 3自由度の回転操作を実現できる。

以下、2章では VR 化学実験体験システムのための粒子・体積ベース仮想液体操作モデルの概要、3章では 2次元平面を介した 3自由度回転を行なうモデル、4章では実験とその結果について述べる。

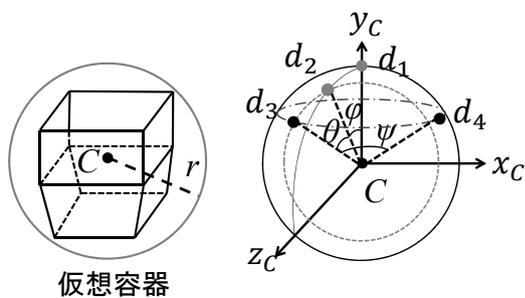


図 1: 容器の傾きと向き表現

2. 粒子・体積ベース仮想液体操作モデル

2.1 液体モデル

当研究室で提案している粒子・体積モデルでは、液体を次の 2 つの状態に分けて考える。

(1) 自由落下状態 (蛇口や容器からこぼれ落ちる液体)

(2) 容器内状態 (コップなどの容器に溜まっている液体)

状態 (1) の液体は粒子に基づいた表現を行なう。本モデルでは対話操作を重視しているため、粒子一つ一つの大きさや、分子間力や粒子同士の衝突などの粒子同士の干渉は考慮しないものとする。各粒子は重力および慣性のみに従い移動し、時刻 t における座標 $\mathbf{P}_i(t) (i = 1, 2, \dots, N; N: \text{粒子数})$ は移動量と重力による加速を考慮して次式 (1) により決定される。

$$\mathbf{P}_i(t) = 2\mathbf{P}_i(t - \Delta t) - \mathbf{P}_i(t - 2\Delta t) + g\Delta t^2 \quad (1)$$

ここで g は下向きの重力加速度ベクトルであり、 Δt は描画更新間隔、すなわち描画更新レート ($frames/sec.$) の逆数である。一方、状態 (2) の液体は体積に基づいた表現を行なう。時刻 t における容器内の液体は体積 V_i と表す。容器の姿勢とその中の液体の体積が決まれば、定常状態における液面の高さが決定できる。上記 2 つの状態間での遷移があった場合には換算比 $N[\text{粒子数}/\text{体積}]$ による換算を行なう。例えば、状態 (2) から (1) への遷移を考える。容器内に体積 V の状態 (2) の液体が存在するとし、それらを全て容器外に落下させた場合は容器内の液体体積を 0 とし、状態 (1) の液体を NV 増加させる。

2.2 仮想容器のモデル

本モデルでは 3 次元空間内の容器に対して、それを内包する球を考え、その中心を C 、半径を r とし、容器の位置をベクトル C により表現する。また内包球に C を原点とした容器座標系 (軸 x_c, y_c, z_c) を設定し、軸 y_c と球との交点 (図 1 の d_1) の位置の変化 (極座標的な表現) により容器の傾きを表現する。具体的には各軸の回転を考え、 x_c を軸として点 d_1 が点 d_2 に移動するように容器を角度 ϕ だけ回転し、更に z_c を軸として点 d_2 が点 d_3 に移動するように容器を角度 θ だけ回転する。この二つのパラメータ (ϕ, θ) により容器の傾きを表現する。また、容器の方向は y_c を軸として角度 ψ だけ回転を行うことで、点 d_4 により表現できる。次節ではこの回転をタッチパネルを介して行うことを考える。

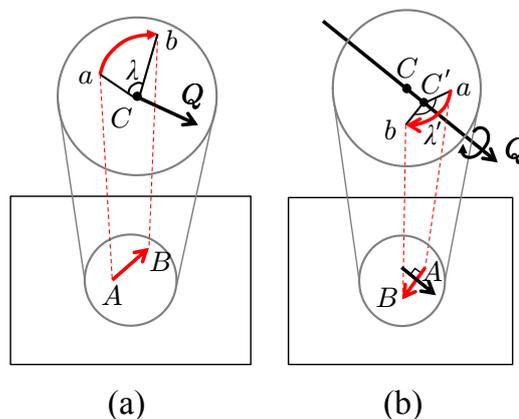


図 2: 典型的なインタフェースモデル

3. 2次元平面を介した3自由度操作

3.1 球体回転のインタフェースモデル

これまでのデスクトップ PC ベース VR 化学実験体験システムでは、2.2 節の容器のパラメータ (θ, ϕ, ψ) は 3 次元モーションセンサを介して値を得ていた。しかし、VR 化学実験体験システムの普及を目指し、タブレット PC での同システムの構築を行うにあたり 3 次元モーションセンサを利用するのは可搬性の面から困難である。そのため、本研究では 3 次元空間内の容器操作、特に 3 自由度の回転について容器を内包する球をタッチパネルなどの 2 次元平面を介して回すようなインタフェースモデルを提案する。球体の回転についてはいくつかの方法が考えられ一長一短がある。そこで本研究では球体に緯度、経度を表す地理座標系を取り入れ、タッチパネル上の指の動きを緯度成分、経度成分に分解した上で経線、緯線に沿って地球を回すようなインタフェースモデルを提案する。まず 2 つの典型的なインタフェースモデルについて述べる。

中心のみが固定された球の回転

1 つ目は中心のみが固定された球の回転である。図 2(a) に示すように、タッチパネル上で指が点 A から点 B へと移動した場合、それに対応する 3 次元球体上の点を a, b とする。点 a, b, C を含む平面の法線を回転軸 Q とし、角 λ を回転角とし球の回転を行なう。しかし、このモデルでは指を横になぞるように動かした場合、円の中央部と上部により回転が異なり、地球儀を回すような回転を思い描いた場合に違和感を覚える。

スクリーンに平行な軸での回転

2 つ目はスクリーンに平行な軸での回転である。図 2(b) に示すようにタッチパネル上の指の動きに垂直かつ球の中心を通る軸を回転軸 Q とし、角 λ' を回転角とし球の回転を行なう。これにより、前述のモデルでの違和感を解消することができる。しかし、前述のモデルでは円周上に軌跡を描くことで可能であったスクリーンに垂直な軸における回転が、このモデルではできない。

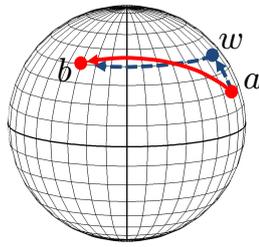


図 3: 指の動きの分解

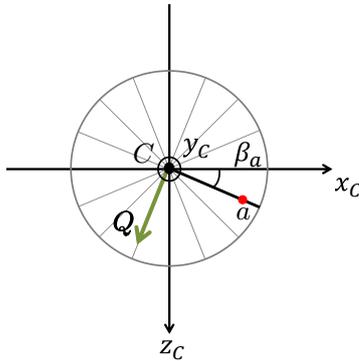


図 4: 緯度成分による回転の回転軸

3.2 地理座標系を取り入れた球体回転モデル

そこで 3.1 節で考察した 2 つのモデルの問題点を解消するために地理座標系 (緯度経度座標系) を取り入れたインタフェースモデルを提案する。球体上の点は直交座標系: (x, y, z) , 極座標系: (θ, ϕ) , 地理座標系: $(\alpha(\text{緯度}), \beta(\text{経度}))$ のように複数の表現が可能である。球体の回転については, 2 次元平面上の指の軌跡を緯度成分と経度成分へ分解し, それぞれの成分において球体の回転を考える。具体的には図 3 に示すようにタッチパネル上の指の移動前, 移動後に対応する球体上の点をそれぞれ a, b とする。この時, 指の動きを緯度成分, 経度成分に分解するために, 点 w を定義する。点 a, b の地理座標をそれぞれ $(\alpha_a, \beta_a), (\alpha_b, \beta_b)$ とすると, 点 w は (α_b, β_a) と表せる。緯度成分, すなわち緯度の変化分により地球が地軸回りに回転すると考える。この時球体は y 軸を回転軸とし, 角度 $(\beta_b - \beta_a)$ だけ回転する。また経度成分, すなわち経度の変化分により, 描かれた等経度線が見た目上動かないような回転を考える。回転軸 Q は点 a, w, C を含む平面の法線ベクトル, つまり経度線 β_a を含む平面の法線ベクトルとし (図 4), 角度 $(\alpha_b - \alpha_a)$ だけ回転する。これら 2 つの回転を組み合わせ, タッチパネル上での指の軌跡をもとに回転後の容器の傾きと方向 (θ, ϕ, ψ) を決定する。

3.3 投影された円周上付近における判定

本モデルでは円周上をなぞる指の動きを行えばタッチパネルに垂直な軸による回転が可能である。しかし, 指の太さや, タッチパネルの感度などの条件により, 正確に円周上をなぞる事は困難である。そこで本モデルでは, タッチパネル上に投影された円よりも半径が定められた分だけ長

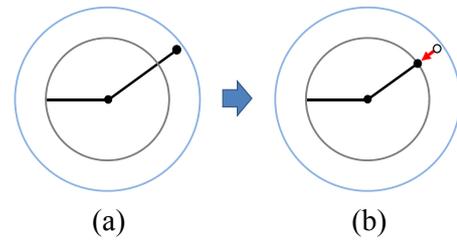


図 5: 円と補助円の間と判定された時

い補助円を設定する (図 5(a))。この円と円の間に触れた場合, 触れた点と円の中心を結んだ直線と投影された円との交点を実際に処理する点とすることで, 円周上をなぞる操作を可能とする (図 5(b))。

4. 実験とその結果

上述のモデルに基づいた実験システムをタブレット PC: ICONIA TAB A500-10S16, OS: Android Honeycomb 3.1, CPU: Tegra2, 1GHz 上に構築した。本実験システムでは操作者が 6 自由度の移動を行なえる移動容器の操作を, 通常のドラッグ操作による 2 自由度の平行移動, 2 本指のドラッグ操作によるスクリーンに垂直な平行移動, 容器をタップすることで回転移動モードに変更した上で本提案モデルによる回転操作とした。実際に実験を行っている様子を図 6 に示す。容器の回転を行う際には 2 つの円が表示され, 図 7 のように内側の円を斜めになぞることで, 容器が斜めに傾いている様子が確認できる。また, 図 8 では内側の円と外側の円の間をなぞることで, スクリーンに垂直な軸での回転を行い容器が横に傾いている様子が確認できる。

次に, 容器の直感的な回転操作について 20 代男性 9 名に 5 段階評価してもらった結果を図 9 に示す。3.1 節で問題となっていた挙動を解決することで操作者が期待する容器の回転操作が実現でき, 「直感的に操作できる」, 「期待通りの回転ができ違和感がない」などの高い評価が得られ, 9 人中 7 人から 4 点以上の評価を得ることができた。この結果より, 本提案モデルは 2 次元平面を介した 3 次元空間に対する操作として有用であることがわかる。

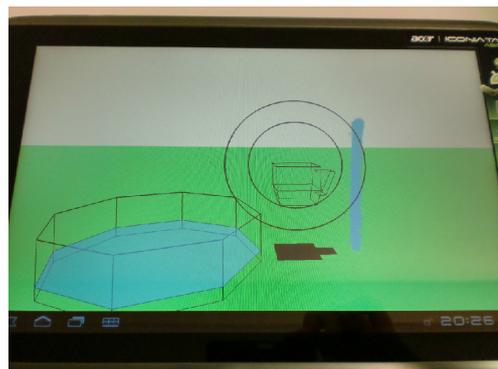


図 6: 実験の様子

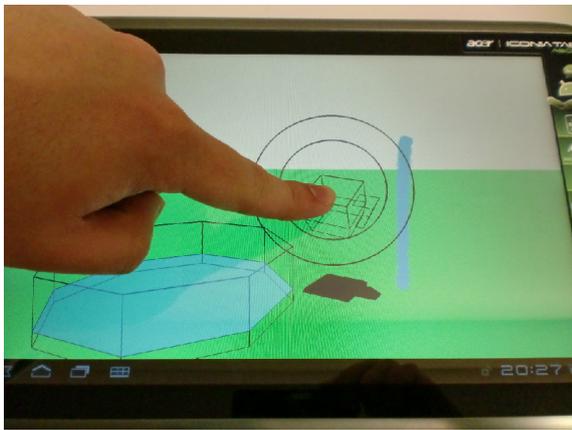


図 7: 内側の円内での容器の回転

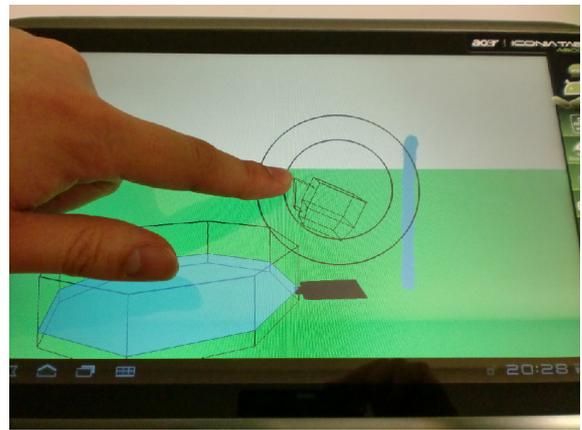


図 8: 円と円の間での容器の回転

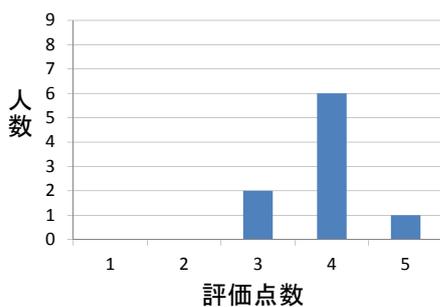
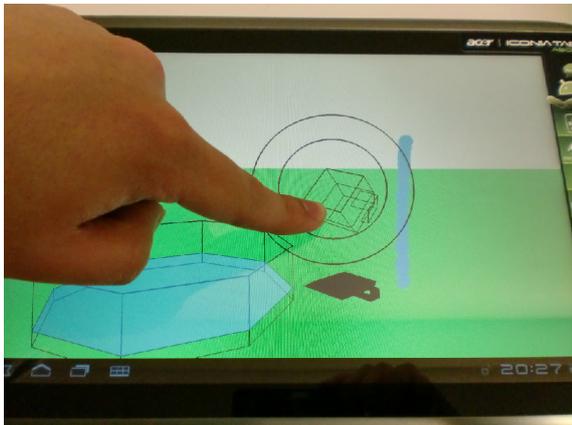
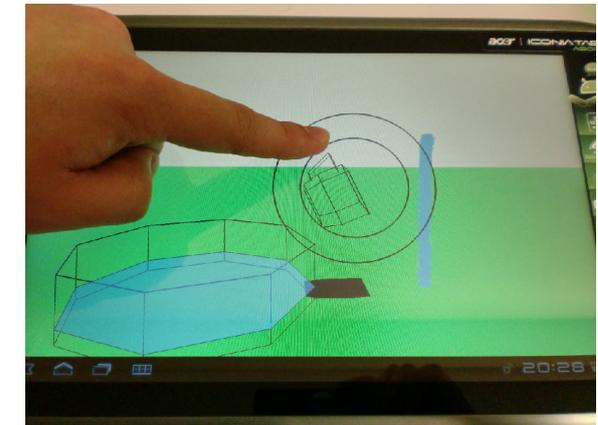


図 9: 容器の直感的な回転操作に関する評価結果

5. むすび

本論文では当研究室で開発中の VR 化学実験体験システムの普及を目指し、タブレット PC 上での同システムの構築を行い、2次元平面であるタッチパネルを介した3自由度回転のインタフェースモデルを提案した。本提案モデルにより3次元モーションセンサなどを利用しなくても、違和感なく期待通りに3次元空間内の物体の3自由度回転操作が可能となった。今後の課題としては以下が考えられる。

- 容器操作モデルのマルチタッチインタフェースへの拡張



- タブレット PC の各種センサーを用いたインタフェースの考案
- 実際の教育現場での評価実験

特に教育現場での実験において実際に小学生程度を対象とした場合どのようなインタフェースが有用であるかを調査し、より臨場感の高い VR 化学実験体験システムの開発に続けていきたい。

謝辞 研究を進めるにあたり、有益な議論を頂いた本研究室諸氏に感謝する。なお、本研究の一部は JSPS 科研費 24501186 の研究助成による。

参考文献

- [1] Y. Natsume, A. Lindroos, H. Itoh and K. Funahashi, "The Virtual Chemical Laboratory Using Particle and Volume Based Liquid Model", Proc. SCIS & ISIS 2010, pp.1354-1359, 2010.
- [2] Jun Chen, Kejian Yang, Yuan Yuan, "SPH-based visual simulation of fluid", The 4th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE 2009), pp.690-693, 2009.
- [3] 長谷川聡, 佐原理, 長谷川旭, 田川隆博, 尾崎志津子, "タブレット端末の教育利用 -名古屋文理大学における iPad 導入-", ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.12, No.4, pp.245-252, 2010.