

## 2D ポインティングデバイスによる 3D ダイレクトマニピュレーション 3D Direct-Manipulation by 2D Pointing Device

野中 秀俊 †  
Hidetoshi Nonaka

### 1. はじめに

近年、医療における 3 次元画像診断、3 次元形状モデリング及びデザイン、データ解析における情報可視化等において、3 次元コンピュータグラフィックス (3DCG) による 3 次元仮想物体 (3D オブジェクト) を、グラフィカルユーザインタフェース (GUI) 上で操作する機会が増えている。

マウスをはじめとした 2D ポインティングデバイスは、通常 2 自由度 (2DOF) 以下の操作に使用されている。多くのアプリケーションで採用されている 3D オブジェクトの回転のための方式は、3DOF のうちの 2DOF がマウスの移動に割り当てられ、用途に応じて、マウスの  $x$  軸方向の移動を  $y$  軸回りの正回転に、 $y$  軸方向の移動を  $x$  軸回りの負回転に対応させているか、またはマウスの  $x$  軸方向移動を水平面上の回転や方位角に、 $y$  軸方向移動を仰角や伏角に対応させている。

これに対し、3D 操作を実現するために、ホイールなどの付加的な入力を使用する方式や、モードを切り換えながら操作する方式、表示ウィンドウと異なるウィンドウの操作による方式などが提案されている[1-9]。また 3D・6DOF に特化した入力デバイスも特殊用途に使用されている[10-11]。

先行技術のうちハードウェアによるものでは、従来のマウスの物理的操作以外の特殊な操作を行うことが要求される。一般に使いこなせるようになるまでに、練習や慣れが必要である。また 2D ポインティングデバイスとして現状で普及しているマウス以外のデバイス、例えばペンタブレット、トラックポイント、トラックボール、タッチパッド、タッチパネル、タッチスクリーン等との、操作形態における互換性が無い。

先行技術のうちソフトウェアによるものでは、ユーザは 3D 操作のためのツールウィンドウを使用して別画面の GUI 部品を操作したり、回転のモードを切り換えるという操作をする必要があり、画面上に表示されている 3D オブジェクトを直接操作する (ダイレクトマニピュレーション) という使用感が得られない。

これに対し、本報告では従来型の 2D ポインティングデバイスによって、3D オブジェクトを直接操作の使用感で移動・回転させることを可能とする方式を提案する。

### 2. 3D オブジェクトの 3DOF 回転

Shneidermann[12]らは、2D ポインティングデバイスによるタスクを以下の 7 個のタイプに分類している：選択 (Select)、位置 (Position)、方向 (Orient)、パス (path)、定量 (quantify)、ジェスチャー (Gesture)、テキスト (text)。

従来から採用されてきた、マウスによる 3D オブジェクトの回転は、上の 7 個のタイプのうち、「定量」に分類され

ると考えられる。それは、画面上のマウスカーソルの位置に関係なく、2DOF の回転パラメータがマウスカーソルの  $x, y$  の移動によって入力されるからである (なお、この文献には「定量」の項目について、通常は 1 次元であると記述されている)。これに対して、3D オブジェクトとマウスカーソルの相対的な位置関係を考慮し、「どの 3D オブジェクトの、どの箇所を、どれだけドラッグしたか」をモニタリングすれば、少なくとも 4 個のパラメータを得ることができる。

Card[13]らは、テキスト選択の文脈の中で、ヒューマンコンピュータインタフェースは、視覚的探索による知覚機能と、ターゲットをポイントするための運動機能を含み、知覚、運動および認知機能によって構成されていると述べている。このテキスト選択における知見を、3D オブジェクトの操作に置き換えると、次のようなことが言える。ユーザに対して、適切な 3D の情報を提示し、それに対してユーザが奥行感や立体感を正しく知覚できていれば、ユーザが特定の 3D オブジェクトの特定の箇所を意識的にポイントすることによって、ユーザが意図した 3 次元座標が取得できる。さらに、回転の中心の座標が、3D オブジェクトの重心や、3D オブジェクトが表現している現実世界における物体に対する経験的知識から、ユーザによって認知されていることを仮定すれば、ドラッグによって得られる回転軸や回転角を取得することができる。

回転軸、及び回転行列の算出法を以下に示す。なおここでは簡単のため、2D 平面における原点、3D 空間における原点、及び 3D オブジェクトの回転中心が一致しているものとし、右を  $x$  軸、上を  $y$  軸、手前を  $z$  軸とする。

3D オブジェクト上でドラッグ開始時に左ボタンを押下したときのマウスカーソルの座標を  $\mathbf{p} = (p_x, p_y, 0)^t$ 、透視変換の視点位置の座標を  $\mathbf{h} = (0, 0, h)^t$ 、 $\mathbf{p}$  を含むポリゴンの法線ベクトルを  $\mathbf{n} = (n_x, n_y, n_z)^t$ 、そのポリゴン内の任意の点を  $\mathbf{c} = (c_x, c_y, c_z)^t$  とすると、回転中心と  $\mathbf{p}$  との 3D 空間における距離  $\rho$  は式(1)で与えられる。

$$\rho = \frac{1}{n^t(\mathbf{p} - \mathbf{h})} \sqrt{(n^t(\mathbf{c} - \mathbf{h}))^2 \mathbf{p}^t \mathbf{p} + (n^t(\mathbf{c} - \mathbf{p}))^2 h^t h} \quad (1)$$

図 1 において、回転中心を  $O$  とし、マウスによって点  $P$  から点  $Q$  までドラッグしたときの回転軸のベクトル  $\mathbf{r}$  を以下のように求める。

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= \overrightarrow{OP}, \quad \mathbf{q} = \overrightarrow{OQ}, \quad \mathbf{u} = \mathbf{q} - \mathbf{p}, \\ \mathbf{p} &= (p_x \quad p_y \quad 0)^t, \quad \mathbf{q} = (q_x \quad q_y \quad 0)^t, \quad \mathbf{u} = (u_x \quad u_y \quad 0)^t, \\ \text{とし、回転軸を } \mathbf{r} &= (r_x \quad r_y \quad r_z)^t \text{ とすると,} \end{aligned}$$

† 北海道大学 Hokkaido University

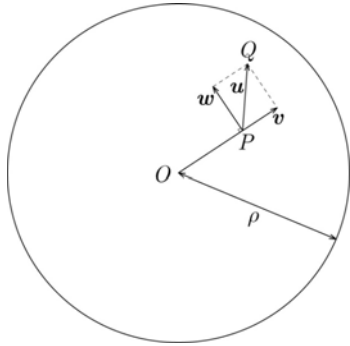


図1. 3Dオブジェクト上でのドラッグの説明.

$$\begin{aligned} \text{if } \mathbf{p}^t \mathbf{p} = 0 : & \quad r_x = -u_y, \quad r_y = u_x, \quad r_z = 0 \\ \text{if } \mathbf{p}^t \mathbf{p} > 0 : & \quad \mathbf{v} = \mathbf{p} \mathbf{p}^t \mathbf{u} / \mathbf{p}^t \mathbf{p}, \quad \mathbf{w} = \mathbf{u} - \mathbf{v} \\ & \quad \mathbf{v} = (v_x \quad v_y \quad 0)^t, \quad \mathbf{w} = (w_x \quad w_y \quad 0)^t \\ \text{if } 0 < \mathbf{p}^t \mathbf{p} < \rho^2 : & \quad r_x = -v_y - \sqrt{1 - \mathbf{p}^t \mathbf{p} / \rho^2} w_y, \\ & \quad r_y = v_x + \sqrt{1 - \mathbf{p}^t \mathbf{p} / \rho^2} w_x, \quad r_z = \frac{1}{\rho} \mathbf{p} \times \mathbf{w} \\ \text{if } \rho^2 \leq \mathbf{p}^t \mathbf{p} : & \quad r_x = -v_y, \quad r_y = v_x, \quad r_z = \frac{1}{\sqrt{\mathbf{p}^t \mathbf{p}}} \mathbf{p} \times \mathbf{w} \end{aligned}$$

となる. 以上で得られた回転軸  $\mathbf{r}$  を用いて,  $\tilde{\mathbf{r}} = \mathbf{r} / \sqrt{\mathbf{r}^t \mathbf{r}}$ ,

$$[\tilde{\mathbf{r}} \times] \equiv \begin{pmatrix} 0 & -\tilde{r}_z & \tilde{r}_y \\ \tilde{r}_z & 0 & -\tilde{r}_x \\ -\tilde{r}_y & \tilde{r}_x & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{I} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{とおくと,}$$

回転行列  $\mathbf{R}$  は式(2)で与えられる.

$$\mathbf{R} = \frac{1}{\sqrt{\mathbf{u}^t \mathbf{u} + \rho^2}} \left( \frac{\mathbf{u}^t \mathbf{u} \tilde{\mathbf{r}} \tilde{\mathbf{r}}^t}{\sqrt{\mathbf{u}^t \mathbf{u} + \rho^2} + \rho} + \sqrt{\mathbf{u}^t \mathbf{u}} [\tilde{\mathbf{r}} \times] + \rho \mathbf{I} \right) \quad (2)$$

### 3. 3Dオブジェクトの3DOF移動

3D空間内の任意の曲線を, 区分的に捩率 (torsion) が0であるような曲線群で近似することを想定する. これは, 2次元部分平面上の曲線を連結することと等価で, 2次元の曲線を直線 (すなわち1次元の曲線) で近似することの自然な次元の拡張となっている.

マウスによる操作を, 部分平面を指定するフェーズとその部分平面上を移動するフェーズに分け, それを交互に行うことによって, 3次元空間内の任意の軌道を近似的に入力することができる. 詳細については省略する.

### 4. 提案手法の適用例

提案手法により 3D オブジェクトの 6DOF の操作が可能となった. また 3D オブジェクトが  $n$  個ある場合は,  $6n$ DOF の操作とみなすこともできると考えられる. 提案手法では回転, 平面指定, 平面移動の3つのフェーズを利用している. マウスの場合左ボタンだけの使用を仮定しているので, マウス以外の2次元ポインティングデバイスでも同様に使用できる. 発表当日には適用例として, 図2, 3に示すような立体パズルが, マウス (+左ボタン) やペンタブレット (ボタン不使用) 等で操作できることを示す.

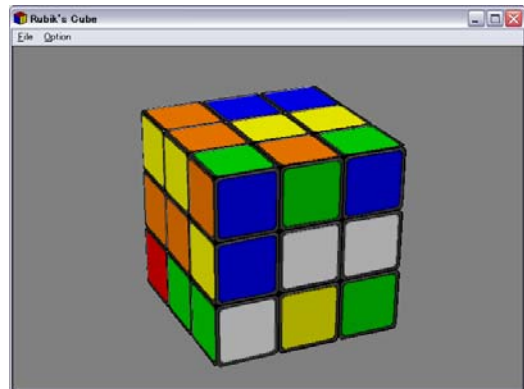


図2. 回転立体パズルの例

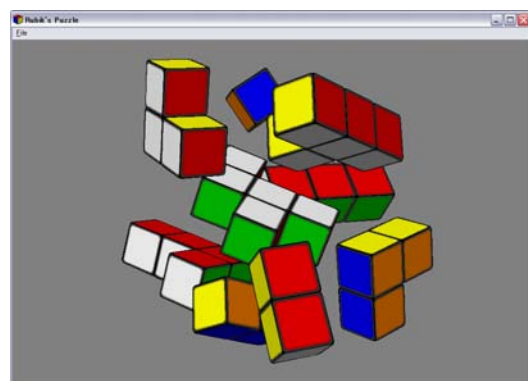


図3. 立体組み立てパズルの例.

### 参考文献

- [1] 三次元マウスの装置, 特開 2008-282400.
- [2] 複数の指で操作するセンサーを備えた三次元空間を操作するためのポインティングデバイス, 特開 2007-293853.
- [3] 三次元マウスのZ軸座標入力機構, 特開平 09-288541.
- [4] 3次元ポインティングデバイス装置と移動検出法, 特開平 09-288541.
- [5] 三次元マウス, 特開平 08-179883.
- [6] 3次元座標値の入力が可能なマウス型入力装置, 特開平 05-282098.
- [7] 特開平 8-249490.
- [8] 特開平 5-204589.
- [9] Cyber Sport: Orbita Mouse®, <http://www.orbitamouse.com/>
- [10] 3D connexion: SpaceNavigator® etc., <http://www.3dconnexion.jp/>
- [11] Sundin, M., Fjeld, M.: Softly Elastic 6 DOF Input, International Journal of Human-Computer Interaction, Vol. 25, No. 7, pp. 647-691, 2009.
- [12] Shneiderman, B., Plaisant, C.: Designing the User Interface, Strategies for Effective Human-Computer Interaction, 5th Edition, Addison-Wesley, 2010.
- [13] Card, K. S., Moran, T. P., Newell, A.: The Psychology of Human-Computer Interaction, LEA, 1983.