

回転操作を用いた3次元ポインティング装置

4R-2

高橋 友一, 清水 正堂, 幅 洋平, 葛谷 幹夫
中部大学

1 はじめに

3次元の対象を扱うソフトの増加に伴い、3次元インタフェース用のデバイスの必要性が高まっている。並進運動・回転運動各々3自由度計6自由度をもつ3次元運動を入力するデバイスとしては、遠隔操作のマスターハンドをはじめ多くの研究がある。

コンピュータのキーボードの横において手軽に使用するデバイスとしては、

- 自然なインタフェースで3次元の運動を入力できる。
- 広い操作空間を要しない。
- 手を離しても余分な動きをしない。

などの性質を持つことが望ましい。デバイスは、運動量そのものを入力するマウス型と運動方向を入力するジョイスティック型に分類される。マウス型のデバイスとして、リンクタイプのデバイスや磁気・超音波を利用したデバイスが知られている。[1, 2, 4]

それらの多くは direct manipulation interface [3] を実現しているが、デバイスの位置・姿勢によっては回転運動を連続して入力できない事が多い。VRシステムの一つ T_vision は、ディスプレイ手前にある球を回転する事で地球上の任意の場所を表示する。[5] 球の回転を用いた入力方法は、デバイスの姿勢によらず3次元空間の回転を入力できる特徴がある。

ここでは、ジョイスティック型のデバイスで、球を回転させる事で3次元回転運動を入力する方法及び評価結果について報告する。

2 3次元運動入力方法

装置のイメージを図1に示す。回転運動は上部に取付けられた球を回転する事で入力する。並進運動は、球の支持棒も兼ねる、z方向の運動を入力するスイッチをつけた2-D ジョイスティックにより入

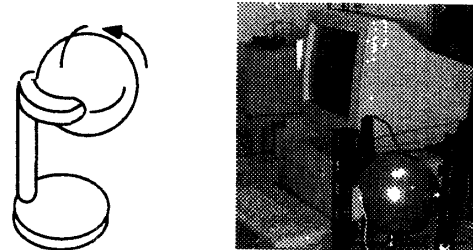


図1: 3-D入力装置イメージと試作装置

力する。6自由度を同時に入力する操作は車のギアチェンジと同等のインタフェースである。

2.1 回転球による3次元回転入力法

2次元のマウスやトラックボールは、2個のセンサを用い球の回転運動を2次元の並進運動に変換している。3次元の回転運動は、3つのパラメータで表現される。回転ベクトル、 $\vec{\omega} = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)^t$ 、による表現もその一つで、方向が回転軸を、大きさが回転量を表す。球は3点以上で支える事で安定に回転する。その支点にセンサをつけ、回転運動を計測する。

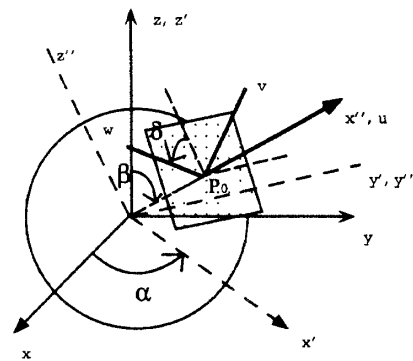


図2: 回転球と支点間の接平面

図2に回転球と球座標系で (α, β) の位置にある支点 P_0 の間の接平面を示す。球の回転 $\vec{\omega}$ は接平面で

$$\delta P_0 = (\delta x, \delta y, \delta z)^t = \vec{\omega} \times P_0 \quad (1)$$

A new 3-D Pointing Device using Ball Rotation
Tomoichi Takahashi, Masataka Shimizu, Youhei Haba,
Mikio Kuzuya
Chubu University
1200 Matumoto, Kasugai-shi, Aichi, 487
E-mail: ttaka@isc.chubu.ac.jp

の変位を生じる。接平面 uv に 2 軸をおく uvw 座標系と xyz 座標系の変換を

$$(u, v, w)^t = \mathbf{f}(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)$$

とすると、 uvw 座標系での δP_0 はヤコビ行列 J を介して下式で表現される。従って、(1) を用い

$$\begin{aligned} (\delta u, \delta v, \delta w)^t &= J(\alpha, \beta, \delta)(\delta x, \delta y, \delta z)^t \\ &= J'(\alpha, \beta, \delta, x, y, z)(\omega_x, \omega_y, \omega_z)^t \end{aligned}$$

を得る。ここで、 δ は u -軸とセンサ取り付け位置のなす角である。回転球上の独立な 3 点を選び、接平面の変位 ($\delta v_i, \delta w_i$) を計測する。センサの配置位置で決まるヤコビ行列 J から求まる J' を係数とする上式を解く事で、回転ベクトルの成分 ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$) がわかる。

3 試作装置と評価結果

3.1 試作装置

図 1 の試作装置では半径 3 インチのゴム球を 4 点で支えている。4 点の内 2 点 - $(\alpha, \beta, \delta) = (0, \pi/2, 0)$, $(\pi/2, \pi/2, 0)$ - は 2 次元マウスを用いた。マウスは接点 P_0 で直交して配置されたセンサと同等で、球の回転運動による接平面の並進運動を計測する。残りの 2 点 - $(3\pi/4, \pi/2, 0)$, $(0, \pi, 0)$ - はボールベアリングである。

3.2 評価結果

CRT に表示された物体を指示された姿勢まで回転させる実験で試作装置の評価を行なった。物体の面の法線方向の差 ($\Delta \vec{n} = \vec{n}_{rotate} - \vec{n}_{goal}$) が⁵、決められた量より小さくなるまでの操作時間を計測した。

評価実験 1: x, y, z 軸 $\vec{r}_x = (1, 0, 0)$, $\vec{r}_y = (0, 1, 0)$, $\vec{r}_z = (0, 0, 1)$ まわりに $\pm 2\pi$ 回転させる。但し、回転量は指定された回転軸 \vec{r} に投影された成分 ($\vec{\omega}, \vec{r}$) のみとする。

評価実験 2: 評価実験 1 と同じだが、物体の回転量は球の回転で計測された回転ベクトル $\vec{\omega}$ とする。従って、 x 軸まわりだけの回転運動を入力

表 1: 実験 1, 2 の操作時間 (単位: 秒, $|\delta n| < 2^\circ$)

回転方向	操作時間	被験者 1			被験者 2			
		x	y	z	x	y	z	
実験 1	正	avg.	4.6	4.9	5.4	3.3	3.0	4.0
		dev.	0.8	0.7	0.8	0.6	0.9	0.9
	負	avg.	5.8	5.0	5.4	4.9	3.4	4.5
		dev.	0.8	1.0	1.3	1.0	0.7	0.8
実験 2	正	avg.	10.7	7.7	8.8	9.3	7.1	10.3
		dev.	6.0	2.0	2.9	2.3	1.8	5.0
	負	avg.	10.9	9.1	9.4	11.9	8.9	12.1
		dev.	2.4	3.2	3.3	3.9	3.3	3.2

表 2: 実験 3 の操作時間 (単位: 秒, $|\delta n| < 0.03 \text{rad.}$)

操作時間	被験者 1	被験者 2
avg.	13.9	10.0
dev.	11.2	2.8

しようとしても、 y, z 軸まわりの回転成分が含まれた運動となる。

評価実験 3: 乱数で決定される姿勢 (但し、法線ベクトル差は $\pi/2$ 以内) に一致させる。

評価実験 1 は、2-D ドローソフトにある水平線や垂直線を引く時、Shift キーを押しながらマウスを操作する機能を模した作業である。表 1 に評価実験 1, 2 の結果を、表 2 に評価実験 3 の結果を示す。表の数値は、2 名の操作者が 16 回作業をした操作時間の平均値 (上段) と標準偏差値 (下段) である。表から、以下の事がいえる。

1. 実験 1, 2 の操作時間は回転軸の方向に依存していない。従って、操作性に方向性を持っていない。
2. 被験者間で差があるものの、回転軸方向が既知の実験 2 と回転軸方向が未知の実験 3 から、操作時間の差は少ない。

4 おわりに

キーボードの横で使用できる 3 次元ポインティング装置の実現を目標に、回転球による 3 次元の回転運動の入力装置を試作した。基本的な回転運動の入力特性の評価から、本方式は 3 次元運動の入力方法として可能性がある。今後は並進運動を含めた操作性の評価を行なう。

謝辞財団法人 堀情報科学振興財団の研究助成を受けた事を感謝します。

参考文献

- [1] J. F. Balaguer, E. Gobbetti: "3-D User Interfaces for General-Purpose 3D Animation," *COMPUTER*, Vol. 29, No.8, pp. 71-78, 1996.
- [2] 金丸, 高橋: "指先の接触動作に基づく 3 次元位置姿勢入力インタフェース" 電子情報通信学会論文誌, Vol. J77-D-II, No. 8, pp. 1648-1655, 1994.
- [3] B. Schneiderman: "Direct manipulation: A Step Beyond Programming Languages," *IEEE Computer*, Vol. 16, No.8, pp.57-93, 1983.
- [4] K. B. Shimoga: "A survey of Perception Feedback Issues in Dexterous Telemanipulation," *Proc. of IEEE Virtual Reality annual Int. Sym.*, pp. 263-279, 1993.
- [5] http://www.artcom.de/projects/t_vision/welcome.en.shtml