

回転操作を用いた3次元入力インタフェースの評価

1P-8

関 康洋（中部大学）

高橋 友一（中部大学）

葛谷 幹夫（中部大学）

1 はじめに

3次元空間を扱うソフトの増加により、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。

[1] これらは

- 自然なインタフェースで3次元空間の6自由度の運動を入力できる。
- 広い操作空間を要しない。
- 手を装置から離してもその静止状態を保ち、余分な動きをしない。

などの性質を持つことが望ましい。[2]

そこで、これらの性質を持った3次元入力デバイスを提案し、その評価を行なった。

2 3次元入力デバイス

今回提案するデバイスは、ジョイスティックの上にトラックボールを載せた形態で、広い操作空間を必要とせず、自然に6自由度の入力が可能な特徴を持っている。図1に装置のイメージ図と試作装置を示す。

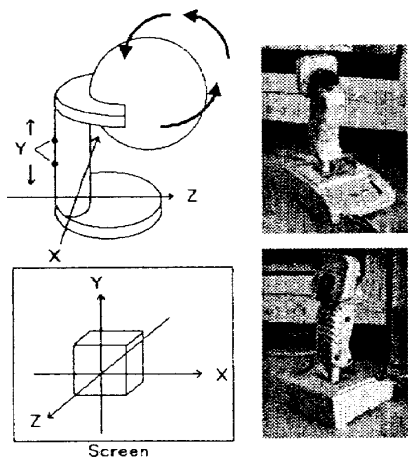


図 1: 3-D 入力装置イメージ図と試作装置

回転運動は装置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た、

Evaluation of three dimension input interface with a ball rotating operation.

Yasuhiro Seki, Tomoichi Takahashi, Mikio Kuzuya
Chubu University

1200 Matumoto, Kasugai-shi, Aichi, 487-8501

平面に対する指示に加え奥行き方向の運動指示ボタンをつけた3D ジョイスティックで入力する。

3 評価実験

評価実験は、回転操作に対する評価と3次元操作に対する評価の2種類の実験を行なった。

回転操作に対する評価は、画面に表示されたブロックを一定方向に回転させる実験1と、重ねて表示されているブロックを回転操作により一致させる実験2を7名の被験者で行なった。(表1, 表2) 実験1は1人につき10回, 実験2は1人につき5回行なった。それぞれの実験で時間を測定した。

3次元操作に対する評価は、ブロックを穴にはめ込むペグ・イン・ホール実験と、パズルを組み立てるペントミノ実験(図2)の2種類を行なった。ペグ・イン・ホール実験は、5分間で何個入れることが出来るかを4名の被験者で測定した。ペントミノ実験は、表示されるペントミノの操作をまねて操作し、5分間でいくつのブロックが所定の位置に置かれたかを2名の被験者で測定した。実験結果を表1~表4に示す。表中の μ は操作時間の平均, σ は標準偏差である。

表 1: 実験1の操作時間 (単位: 秒)

回転方向	操作時間	3D入力装置			2Dマウス			
		x	y	z	x	y	z	
平均	正	μ	1.5	0.8	1.7	1.5	1.8	1.2
		σ	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	0.2
	負	μ	1.9	0.9	1.5	1.5	1.7	1.3
		σ	0.6	0.2	0.5	0.3	0.2	0.3

表 2: 実験2の操作時間 (単位: 秒)

操作時間	3D入力装置	2Dマウス
平均	μ	17.3
	σ	7.7
		33.9
		25.9

表 3: ペグ・イン・ホール実験の結果

操作回数	3D入力装置		2Dマウス		
	回転なし	移動・回転	回転なし	移動・回転	
平均	μ	8	36	4	22
	σ	4.2	5.65	1.41	11.3

4 評価結果

実験結果から2Dマウスより3D入力装置の方が操作性が良いと思われるので、以下の仮説をたて仮説検定を行なった。

表 4: ペントミノ実験の結果

操作回数	3 D 入力装置	2 D マウス
被験者 1	5	4
被験者 2	4	2

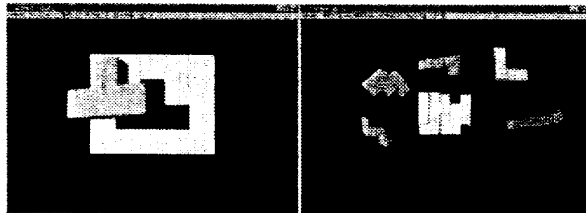


図 2: 3次元操作に対する実験

図 2: 3次元操作に対する実験

4.1 回転操作に対する検定

実験 1 に対して:

仮説 1 回転運動の操作時間は、正・負の回転方向には依存しない。

仮説 2 回転運動の操作時間は、回転軸の相違が操作時間に影響する。

実験 2 に対して:

仮説 3 同時に複数の軸に対して指示を行なう時は、3 D 入力装置の方が 2 D マウスよりも操作性、安定性に優れていると言える。

回転操作に対する検定結果を表 5,6 に示す。

表 5: 仮説 1 に対する検定結果 (自由度: 138)

回転軸	x	y	z
検定結果	-3.74	-1.25	1.82

仮説 1, 2 に対し,

(1) 帰無仮説 $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

(2) 対立仮説 $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

の検定結果 (表 5) から有意水準 5% の棄却域 $|T| > 1.98$ でみると,

- 仮説 1 の回転方向については、x 軸を除いて帰無仮説 H_0 は棄却されないため x 軸以外は回転方向に依存しない。

- 仮説 2 に関しては、帰無仮説 H_0 が棄却され、対立仮説 H_1 が採用されるため回転軸の相違が操作時間に影響する。

仮説 3 に対し,

(1) 帰無仮説 $H_0: \mu_{2D} - \mu_{3D} = 0$

(2) 対立仮説 $H_1: \mu_{2D} - \mu_{3D} > 0$

の検定結果 (表 7) から有意水準 5% の棄却域 $|T| > 1.71$ でみると、この仮説は 7 件中 1 件しか棄却されないため、3 D 入力装置の方が 3 次元回転における操作性、安定性が良いといえる。

4.2 3次元操作に対する検定

3次元操作に対する実験結果から、以下のような仮説をたてた。

表 6: 仮説 2 に対する検定結果 (自由度: 138)

比較回転軸		x-y	y-z	z-x
検定	正	8.75	-10.00	2.22
結果	負	9.09	-6.00	-3.08

表 7: 仮説 3 に対する検定結果 (自由度: 68)

被験者	1	2	3	
検定結果	-1.95	-5.00	-2.24	
4	5	6	7	
	-1.98	-3.83	-2.59	-1.56

仮説 4 3次元の移動・回転運動操作において、3 D 入力装置によるインタフェースのほうが 2 D マウスより操作性と安定性に優れている。

表 8: ペグ・イン・ホール実験における仮説検定の結果 (自由度: 22)

操 作	回転なし	移動・回転
検 定 結 果	15.07	46.28

仮説 4 に対し,

(1) 帰無仮説 $H_0: \mu_{2D} - \mu_{ball} = 0$

(2) 対立仮説 $H_1: \mu_{2D} - \mu_{ball} > 0$

の検定結果 (表 8) から有意水準 5% の棄却域 $|T| > 1.72$ でみると、全ての実験に於て帰無仮説 H_0 が棄却される。

よって、2D マウスによる操作時間が 3 D 入力装置による操作時間より長く、3 D 入力装置によるインタフェースが良いといえる。尚、ペントミノ実験を 2 名の被験者で行なった結果を表 4 に示す。これは、この検定結果に沿っている。

5 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。試作装置を用いて基本的な回転操作と、3次元に対する操作の実験を行ない、評価データを元に統計的仮説検定を行なった。この結果から、提案するインタフェースの可能性を確認した。

参考文献

- [1] <http://www.cs.jhu.edu/~feldberg/vr/vrbg.html>
- [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.