

3D マウスを用いたマニピュレータ操作インターフェースの初期評価

市川幸佑[†] 岡哲資[‡] 松嶋佳祐[†]日本大学大学院生産工学研究科数理情報工学専攻[†]日本大学生産工学部数理情報工学科[‡]

1. はじめに

マニピュレータとは、物体を操作するための人工の腕と手を組み合わせたものである。6自由度のアームと1自由度のグリップを組み合わせた7自由度マニピュレータを利用すれば、3次元実空間内で物体を間接的に操作できる。例えば、Exact Dynamics社のiARMやKinova Technology社のJACO²などの車椅子利用者向けの生活支援用マニピュレータがある。これらは、キーボードやジョイスティックを用いて、体を大きく動かさずに片手で操作できる。

7自由度以上のマニピュレータを既存のキーボードやジョイスティックで操作することは、特に初心者には難しく、操作の習得に時間を要する。キーボードによる操作は、ボタンの配置を覚えた上で、いくつかのモードを切り替えながら行わなければならない。ジョイスティックのレバーは2自由度の入力しかないので、キーボードよりも多くのモードを必要とし、作業の効率が悪い。ひねり入力が可能な3軸のレバーを用いれば、一つのモードで3自由度の入力が行える。しかし、グリップの上下移動と開閉動作の操作が直感的でなく、移動、回転、開閉に別のモードが必要である。

ボタンとレバーの他に、画面のポインティングを用いるGUIによる操作方法も複数提案されている^{1,2)}。GUIによる操作は、一般に直感的であり、多くの訓練を必要としない。しかし、ポインティングとドラッグのみでは、グリップの回転と開閉の直感的な入力が行えない。さらに、画面と操作対象の双方をみるために注視点の頻繁な変更が必要である。

著者らは、注視点の移動を必要としない効率的な7自由度マニピュレータの操作インターフェースの実現を目指している。これまでに、音声とマルチタッチ入力を用いたインターフェース³⁾を開発し、初心者でも容易に利用できることを確認している。しかし、音声入力とタッチジェスチャは、ボタンなどに比べて時間がかかるという弱点もある。そこで、本研究では6自由度の入力が可能なレバーを備えた3Dマウスを用いた操作インターフェースを開発した。本インターフェースは、グリップの平行移動と回転の入力をレバー

の平行移動と回転で行い、モードを切り替えず、レバーとボタンのみでグリップの移動、回転、開閉が行える。本稿では、開発したインターフェース、その初期評価の方法と結果、発見された問題と改善案を示す。

2. 3Dマウスを用いたインターフェース

2.1 3Dマウスの構造

本研究では、入力用の3Dマウスに、3DconnexionのSpaceNavigatorを用いた。この3Dマウスには、6軸のレバー1本と左右に一つずつのボタンがある。レバーの3次元の平行移動および3軸まわりの回転によって、6自由度の入力が同時に行える。レバーは、半径約2mmの球体の内部で移動可能である。また、各軸のまわりに最大±5度程度回転する。

2.2 インターフェースのデザイン

レバーを水平に平行移動すると、マニピュレータのグリップが同じ方向に平行移動する。レバーの原点からの距離が d_1 以上になると、低速(v_1)の水平移動が始まり、 d_2 以上になると、速度が高速(v_2)に切り替わる。 d_1 を下回ると、マニピュレータは停止する。移動方向はレバーの水平位置で決まるため、ユーザはグリップの移動方向を自由に変更できる。水平移動中、他の入力は受け付けない。

レバーを上または下に平行移動すると、グリップが同じ方向に平行移動する。レバーの高さが h_1 以上になると、上方向へ低速(v_3)で移動が始まり、 h_2 以上になると、速度が高速(v_4)に切り替わる。同様に h_3 以下、 h_4 以下で下方向への低速、高速移動が行える。レバーを原点付近に戻すと、マニピュレータは停止する。上下移動中、他の入力は受け付けない。

レバーを前後左右に傾け続けると、グリップの先端が前、後、左、右、下のいずれかを向く。グリップの先端を前後左右に向けるには、レバーを同じ方向に傾ける。また、下に向けるには、レバーをグリップの現在の向きの逆方向に傾ける。グリップが回転している途中でレバーを傾けるのをやめると、グリップは元の向きに戻る。向き変更の入力条件は、レバーのピッチ軸またはロール軸の回転角度の絶対値が θ_1 を超えることである。向き変更中、他の入力は受け付けない。

レバーをひねると、グリップが先端の向きを変えずに回転する。レバーのヨー軸の回転角度の絶対値が θ_2 を超えると、グリップは低速(ω_1)で回転し、 θ_3 を超えると、速度が高速(ω_2)に切り替わる。また、 θ_2

Initial evaluation of a manipulator control interface using a 3D mouse

[†]Kousuke Ichikawa, Keisuke Matsushima, Mathematical Information Engineering, Graduate School of Industrial Technology, Nihon University

[‡]Tetsushi Oka

Mathematical Information Engineering, College of Industrial

未満になると、マニピュレータは停止する。回転中、他の入力を受け付けない。

グリップの開閉には、左右のボタンを用いる。左ボタンを押すと、グリップが開き、右ボタンを押すと、グリップが閉じる。ボタンを離すと、マニピュレータは停止する。開閉動作中、他の入力は受け付けない。

2.3 初期評価におけるパラメータ

初期評価では上述のパラメータを、 $d1=0.3\text{mm}$, $d2=1.7\text{mm}$, $h1=0.3\text{mm}$, $h2=1.7\text{mm}$, $h3=1.0\text{mm}$, $h4=1.9\text{mm}$, $\theta 1=4\text{deg}$, $\theta 2=3\text{deg}$, $\theta 3=4\text{deg}$, $v1=30\text{mm/s}$, $v2=120\text{mm/s}$, $v3=30\text{mm/s}$, $v4=100\text{mm/s}$, $\omega 1=30\text{deg/s}$, $\omega 2=45\text{deg/s}$ とした。

3 初期評価の方法

初心者 5 人によるインターフェースの初期評価を実施した。各参加者は、まず、操作方法を学習した。次に、机の上に置かれた鉛筆を拾い上げ、回転させ、ペン立て ($70\times 70\times 100\text{mm}$) に入れる課題を 5 回実行した。最後に、アンケートに記入し、インタビューを受けた。アンケートでは、操作の容易さ、覚えやすさを 7 段階で評価した。また、肉体的、精神的疲労感について 5 段階で評価した。1 が最小 (全く感じなかった)、5 が最大 (おおいに感じた) の評価である。

4 結果

課題の実行中、停止しないで次の動作を行う、開閉入力において逆のボタンを押す、向き変更の途中で手を離してしまうユーザエラーが見られた。また、参加者がレバーを傾けたときにグリップが水平移動することが複数回観察された。また、低速移動が望ましい状況で高速移動が使用されることが多く、鉛筆とペン立ての近くを往復することや、机にグリップをぶついたりすることがあった。課題の 5 回目でも、移動の最小入力回数の 6 回で鉛筆をペン立てに入れた参加者は 1 人だけだった。Table 1 に 5 回目の達成時間と操作回数を示す。参考までに 熟練者の時間と回数も併記する。

アンケートの結果を Table 2 に示す。インタビューでは、「移動の動き出しにラグを感じる」、「水平移動と向き変更が似ていて覚えにくい」、「ボタンを押してもグリップが開閉しないことがある」、「向き変更が水平移動になってしまう」、「速度の使い分けが難しい」、「向き変更のためのレバーの回転方向を逆に覚えてしまった」という主旨のコメントがあった。

Table 1 課題(5回目)の達成時間と操作回数

参加者	1	2	3	4	5	熟練者
達成時間[s]	51	50	37	48	42	約 30
移動の回数	16	12	6	9	10	6
向き変更の回数	2	2	2	2	3	2
回転の回数	3	1	1	1	1	1
開閉の回数	3	3	4	5	6	3

Table 2 アンケート結果

参加者	1	2	3	4	5
全体的な容易さ	4	5	6	6	7
移動の容易さ	3	5	7	7	6
向き変更の容易さ	5	4	5	7	7
回転の容易さ	6	6	7	7	7
開閉の容易さ	4	7	7	7	7
速度変更の容易さ	6	5	6	7	6
全体的な覚えやすさ	3	6	6	7	7
移動の覚えやすさ	3	6	7	7	7
向き変更の覚えやすさ	5	6	5	7	7
回転の覚えやすさ	6	7	7	7	7
開閉の覚えやすさ	6	7	7	7	7
速度変更の覚えやすさ	6	6	7	7	7
精神的ストレス	3	1	1	1	1
精神的疲労	2	1	1	2	1
肉体的疲労	1	1	1	1	1

5 問題点と改善案

初心者の課題の遂行にあたり、特にグリップの平行移動の入力回数の多さが目立つ。これは、低速と高速の使い分けおよび高速移動時の停止が初心者には難しいためであると考えられる。この問題に対するインターフェースの改善案として、以下を挙げる。

- ・パラメータ $d2$, $h2$, $h4$ の値を大きくする
- ・高速から低速に切り替わる時点で速度を 0 にする
- ・低速、高速、停止の切り替わりを音で伝達する

初期評価時のパラメータには、向き変更の入力によってグリップが水平移動するという問題がある。これは、 $d1$ を大きくすることで解決できると考える。 $d1$ は、初心者の向き変更入力時のレバーの水平移動量よりも大きくしなければならぬ。

初心者によるユーザエラーの対策としては、前述の音の提示と左右ボタンの同時押しの使用を挙げる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 26330234 の補助を受けて実施した。

参考文献

- 1) Tijsma, A. H., Liefhebber, F. and Herder, L. J.: A framework of interface improvements for designing new user interfaces for the MANUS robot arm, *Proc. ICORR 2005*, pp. 235-240, IEEE (2005).
- 2) Tsui, M. K., et al.: "I want that" : Human-in-the-loop control of a wheelchair-mounted robotic arm, *Applied Bionics and Biomechanics*, Vol. 8, No. 1, pp. 127-147 (2011).
- 3) Oka, T. and Matsushima, K.: Multimodal manipulator control interface using speech and multi-touch gesture recognition, *Proc. HRI2015 Extended Abstracts*, pp. 21-22, ACM (2015).