

1. はじめに

ロボットの遠隔操作において、作業能率を向上させるためには、作業環境の状況を的確に操作者に伝達することが必要である。視覚情報を操作者に与える監視用カメラの方向制御には、通常ジョイスティックによる速度制御が用いられているが、それ以外の入力装置を用いたカメラの操作法に関しても研究が行われている¹⁾。

著者らは十分に広い視野と高い臨場感をもった視覚情報を操作者に与えるための方法として、操作者の頭部運動を実時間計測し、それに連動して制御されたTVカメラから得られた画像を操作者に常時提示するシステムの開発を進めている²⁾³⁾。

本報告ではこの方式を含めた幾つかの入力装置によるカメラの方向制御の方法を主に追従特性の観点から比較・評価する。

2. 実験の方法

実験に用いた入力装置は、2自由度頭部可動ディスプレイ(HD)(Fig.1)、マウス(MS)、ジョイスティック(JS)の3種である。HDの場合、

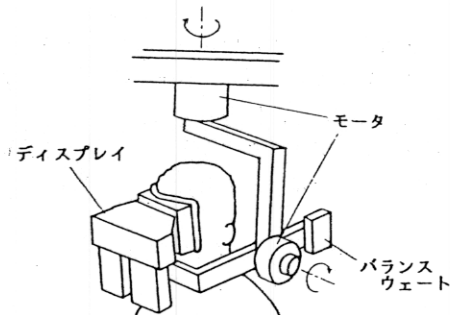


Fig. 1 2自由度頭部ディスプレイ

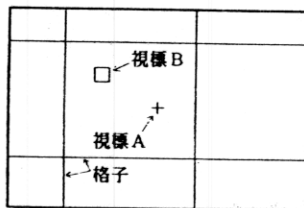


Fig. 2 提示される画像

操作者が頭部のディスプレイを上下左右に動かすと、カメラはそれと等しい角度だけ回転する。MSにおいては平面上の変位をカメラ回転角の位置指令とする。JSにおいてはスティック角度を位置指令または速度指令とする。MS、JSの場合、操作者はCRTモニタ(14インチ)を見ながら操作を行う。

実験においてはカメラ画像の代わりにそれと等価のグラフィックスをコンピュータで構成し提示する(Fig.2)。視標Aは画面中央に固定され、カメラ方向を表わす。縦横の格子は背景に相当し、カメラの回転に比例した速度で逆向きに動く。その結果、HDの場合にはディスプレイを動かしても格子は静止しているように見える。視標Bは追跡対象で、格子に対する相対変位を目標値として与える。被験者は視標A、Bが一致するように操作を行う。格子については提示した場合と提示しない場合の両方について実験を行う。

3. 実験結果

まず視標Bの軌道として、

円周:直径260mm(CRT上)または視角22°(HD上)

1周約5.6s

正方形:1辺260mm(CRT上)または視角22°(HD上)

1周約8.3s

を与え視標Aで追跡する。50sec追跡を行い、最後の約33sec(サンプリング間隔32.5ms×1024個)をデータとする。追従誤差をrmse値(root mean

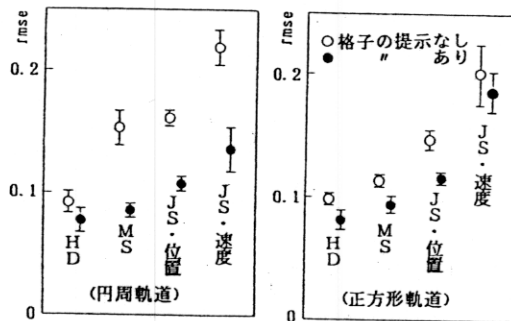


Fig. 3 追従誤差の比較

square error)で評価する。Fig. 3に結果を示す。

次に視標Bのx, y座標のそれぞれについて、

$$x \text{ (or } y) = \sum_{k=0}^n a_k p^{-k} \sin(\omega_0 p^k t + \phi_k)$$

(p=1.25, n=12, $\omega_0=0.03\text{Hz}$, ϕ_k は乱数)

で表わされる波形を与え、疑似ランダム運動とする。x座標の追跡結果に着目し、入力信号と出力信号のフーリエスペクトルの比から周波数応答を求める。Fig. 4に結果を示す。また位相遅れが π となる位相交点の周波数を応答の限界を表す周波数と考え、Fig. 5に示す。この場合のrmse値も求め、Fig. 6に示す。

4. 考察

円周及び正方形軌道の追跡においては、格子の提示の有無に関係なく、HD, MS, JS (位置制御), JS (速度制御)の順に正確な追跡が可能である。これは応答周波数と比べて十分低速な運動の追跡には、操作ストロークの大きな入力装置ほど微小調整が容易で有利なためである。

逆に、0.24~3.5Hzの比較的高い周波数を含むランダム運動追跡のrmse値は、低い方からJS (位置制御), MS, HD, JS (速度制御)の順になる。位置制御の3つの入力装置では、軽量で操作ストロークが小さいほど有利である。位相交点の周波数についても同じ順になっている。

JS (速度制御)はいかなる場合についてもrmse値が最大であり、位相交点の周波数も最も低い。

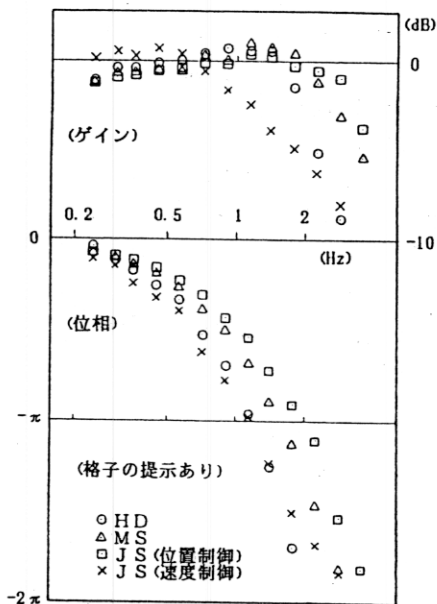


Fig. 4 周波数応答

$\pi/2$ の位相遅れを伴う積分要素がもともと制御系に入っている上、現状の把握が難しいためである。殊に背景の格子が提示されていない場合は追跡対象自体の運動とカメラ回転による運動の区別がほとんど不可能で、追跡対象が画面から外れて追跡不能になる場合が多かった。予備実験ではMS, HDについても速度制御を試みたが、同じ理由で実用不可能と判断し、実験項目から除外している。

背景の格子を提示した場合のrmse値は提示しない場合よりも常に低い。一方格子の提示による位相交点の周波数の変化は小さい。またrmse値の低下は低い周波数成分のみ(0.18Hz)からなる円周の追跡において最も顕著であり、背景の提示によるカメラ方向等の現状の把握は低い周波数領域における操作に特に役立つと思われる。

格子の提示による効果が顕著な円周の追跡について比較すると、HDを用いた場合は他の入力装置を用いた場合よりもrmse値の低下率が小さい。HDでは背景の提示がなくとも前庭・三半規管の平衡覚を利用して現状の把握が可能ながその原因と考えられる。

5. まとめ

遠隔操作用カメラの方向制御の方法を追従特性の点から比較・評価した。

<参考文献>

- 1) 穂坂・石井: "遠隔操作用カメラアームの操作法とその評価", 第4回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 93/94 (1986)
- 2) 荒井他: "DDモータを用いた力補助型可動CRTディスプレイ装置の開発", 日本ロボット学会誌, Vol. 5, No. 1, pp. 23/26 (1987)
- 3) 荒井・館: "テレグジスタンスの研究 第8報", 第26回SICE学術講演会予稿集, pp. 337/338 (1987)

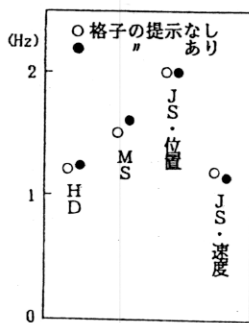


Fig. 5 位相交点の周波数

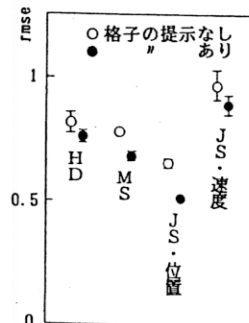


Fig. 6 追従誤差の比較
(ランダム運動)