

機械技術研究所 ○荒井裕彦, 館 暉

Study on Tele-existence (VIII) - Development of 2 d.o.f. visual display system -
Mechanical Engineering Laboratory Hirohiko Arai, Susumu Tachi

Abstract. A visual display system for remote operation is presented. The binocular camera follows 2 d.o.f. movement of the display. This system compensates inertia of the display by internal feedback and helps the operator manipulate the display by his head movement.

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。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、我々は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方式を提案してきた¹⁾。これは操作者が見たい方向を向くとカメラも同一方向を向いて、カメラの位置に人がいた時見える情景に相当する画像が操作者に提示されるというシステムである。

このシステムの構成要素として、操作者の頭部運動を計測すると同時に操作者の顔の前に常にディスプレイを支持しておく装置が必要となる。操作者の頭部の動きによってディスプレイ（及びカメラ）の方向を制御しながら、見かけ上のディスプレイ質量を軽減するためDDモータを用いて慣性を補償するシステムを、水平回転の1自由度については既に開発し報告を行った²⁾。今回の報告

では、上記システムをディスプレイ・カメラ共に水平・前後回転の2自由度に拡張した提示システムの構成と制御について述べる。

2. ディスプレイ及びカメラ

ディスプレイ (Fig.1) は、軽量の2.7inカラー液晶TVを2台内蔵し、両眼立体視が可能である。レンズ等を含め全重量は2.0kgである。ディスプレイの動きは水平及び前後回転の2自由度で、操作者が頭を前後左右に振ってもディスプレイが常に顔の前に位置するように、アームの先にディスプレイが取り付けられている。重力補償にはバランスウェイトを用い、慣性力及びコリオリ・遠心力の補償にDDモータを用いている。

2台のCCDカメラ (Fig.2) はディスプレイと連動して、常に操作者と同じ方向を向くように制御される。

3. 慣性力補償

本装置では、DDモータと回転センサからのフ

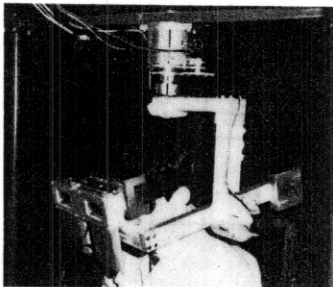


Fig.1 Power assisted display

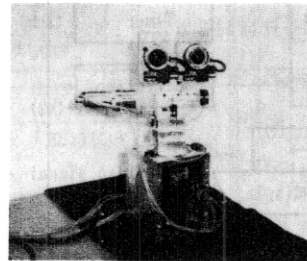


Fig.2 Binocular camera

ードバック信号との組合せでディスプレイの慣性力を補償する方法³⁾を採用している。DDモータを用いた場合、アームと回転センサとの間に減速器によるガタ・摩擦等の要素が入らないため、アームの角速度等を正確に測定できる。またトルクはモータ電流によって制御できるから、角速度・角加速度のフィードバックによって慣性力等を補償することが可能である。

アーム各軸の運動方程式は次のように表わされる。

$$T_{m_i} + T_{o_i} = \sum_{j=1}^2 J_{i,j}(\theta) \ddot{\theta}_j + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 D_{i,jk}(\theta) \dot{\theta}_j \dot{\theta}_k \quad (1)$$

ただし T_{m_i} は第 i 軸のモータトルク、 T_{o_i} は操作力トルク、 $J_{i,j}(\theta)$ は有効慣性モーメント、 $D_{i,jk}(\theta)$ は干渉トルク係数である。(重力・摩擦力は無視)

$$T_{m_i} = \alpha \left(\sum_{j=1}^2 J_{i,j}(\theta) \ddot{\theta}_j + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 D_{i,jk}(\theta) \dot{\theta}_j \dot{\theta}_k \right) \quad (2)$$

$(0 < \alpha < 1)$

となるようにモータトルクを発生すれば、あたかも負荷質量が $1-\alpha$ 倍になったような効果が生ずる。

4. 制御

Fig. 3に制御システム全体の構成を示す。

ディスプレイの回転センサとしては2000P/Rのロータリエンコーダを4連倍して用いた。(2)式の制御を行う場合、角速度・角加速度の値が必要となるが、それをパルス数の差分によって求めると、低速回転域では桁落ちが生じて精度が非常に低くなる。そこで本装置ではパルス間隔を基準クロック

2 μ sのタイマで測定し、その逆数をもって角速度とした。また高周波域のノイズ・共振を除去するために、2次LPPをデジタルフィルタで構成した。プログラミングにはC言語を用い、(2)式とフィルタの演算を含めてサンプリング周期は3.6msである。以上の制御により負荷質量の70%以上を補償することができた。

カメラの制御はポテンショメータ・タコジェネレータによる通常のアナログ位置サーボを用いた。フィードフォワード項による慣性・摩擦力補償により高い追従特性を得ている。

5. まとめ

遠隔操作作用の視覚提示システムについて報告した。本装置ではディスプレイの方向を制御する際に、DDモータによって慣性を補償し、操作者の負担を軽減している。今後の展開として、力センサ・加速度センサ等の併用による高感度化も検討している。

<参考文献>

- 1) 館ほか: "テレグジスタンスの研究 第1報", 第21回SICE学術講演会予稿集, pp. 167/168 (1982)
- 2) 荒井ほか: "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: "直接駆動マニピュレータの人力操作における操作力検出と能動的力補助", 日本ロボット学会誌, Vol. 4, No. 3, pp. 209/219 (1986)

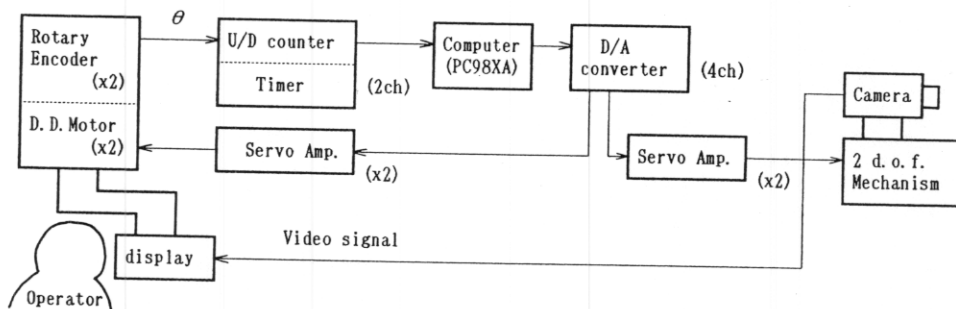


Fig. 3 Control system of camera and display