

複数視覚を用いた遠隔操作システムの研究

光井輝彰 大野尚則 丹羽義典
岐阜県工業技術センター 電子情報技術部
岐阜県羽島郡笠松町北及 47

Tel:058-388-3151 Fax:058-388-3155 E-mail:mitsui@gifu-irtc.go.jp

1. はじめに

近年、遠隔操作について多くの研究¹⁻³⁾が行われているが、複雑な操作や精度が要求されるような作業を遠隔地から行うには、装置が大規模になりがちであり容易ではない。本研究では、複数の視覚を用いた遠隔操作手法を提案し、試作システム(図1)による実験から簡易なシステムでも正確な遠隔操作が行えることを示す。なお、ここでの視覚とは作業現場に設置した上下左右に動作可能なカメラからのステレオ映像を示す。

2. 遠隔操作手法の検討

2.1 多視覚による遠隔操作の問題点

組立作業等の精度を要求される作業を遠隔地から行うためには、作業点近傍の分解能の高い映像が必要であり、同時に作業環境全体の認識も必要である。カメラからの映像を市販されている一般的な HMD や 3D テレビジョンで表示する場合、分解能の高い映像を表示するためにはカメラの視野範囲は必然的に狭くなる。視野範囲を広げるためにカメラ方向を上下左右に可動式にしても、ほとんどの場合作業現場全体を見渡すことは不可能である。さらに、いくら分解能の高い映像を使用しても、障害物やロボット自身の陰などの死角が必ず存在することから、作業は制限されざるを得ない。これらの問題に対し、分解能は高いが視野範囲は狭い複数の視覚から、作業環境を様々な方向・位置から観察することにより、作業環境の全体を認識する手法は、操作を行う上で非常に有効であると考えられる。さらにこの手法では、操作に最も有効な位置からロボットを操作する事も出来る。

しかしこのような複数視覚を用いた場合、カメラの方向や視点の位置によって、ロボットの動作方向に混乱が生ずる可能性がある。そのため、視覚を切り換えても常に同じ感覚でロボットの操作を行うための操作

方法が必要である。また、視覚を切り換えたときに作業点を見失う可能性もあるため、視覚切り替え時のカメラ操作についても検討する必要がある。

2.2 視覚座標系を用いた操作

ロボットの操作は作業点付近の映像だけで操作が行えるように、ロボット先端部の動作方向を与えることで行う。この場合に視覚切り替え時の操作者の混乱を無くすために、視覚座標系を用いたロボット操作方法を検討する。

図2(a)は、一般的な操作方法であるが、視点位置が変化する場合、ロボットの操作方向とモニターに表示される映像での見かけのロボット動作方向が異なるため、操作者は常に操作方向に関して注意する必要がある。

一方、図2(b)は視覚座標系を用いた操作で、カメラの位置、方向とロボット先端部の位置から算出される変換行列を用いて、入力された方向情報の座標変換を行い、操作座標系を視覚座標系に一致させた操作方法である。この方法ではロボットの操作方向と映像における見かけのロボット動作方向は同一のものとなり、操作者は視覚情報のみにより、ロボットを操作することができ、直感的な操作が可能となる。

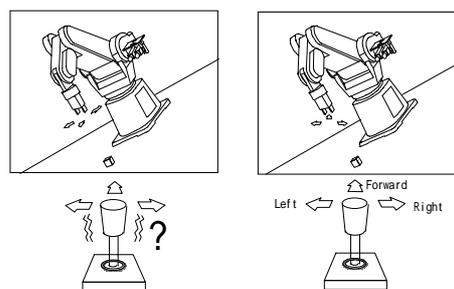


図2 操作方向とロボット動作方向の関係



図1 システム全景

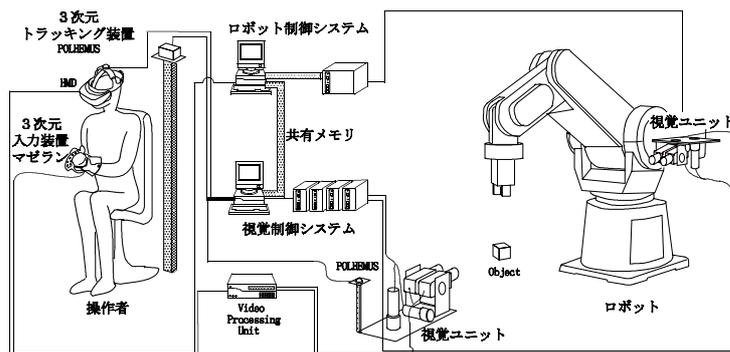


図3 システム構成

2.3 カメラ操作方法

カメラの動作は操作意識をなくすために、操作者の頭の基準位置（ホーム位置）からの変位量に連動させて行う。視覚切り替え時に作業点を見失うという問題に対しては視覚切り替え時に作業点を提示する作業点検出機能で対応する。これは、視覚切り替え時に映像の中心に作業点が映るようにカメラを回転させ、このカメラ位置を中心に、頭のホーム位置からの変位量分カメラを連動させる機能である。これにより視覚切り替え時に作業点の位置を見失うことも無く、スムーズに作業を継続する事が出来る。また、作業を継続中に無理な姿勢を取ることもなく、常にホーム位置を基準として操作が継続できる。

3. システム仕様

図3に試作システムの構成図を示す。本システムは、ロボット制御システムと視覚制御システムの2つのサブシステムにより構成され、2つのサブシステムの間は共有メモリで接続し、ロボット先端位置やカメラの角度など必要な情報の共有を行う。

ロボット制御システムでは、3次元入力装置によるロボット先端アーム部分の直交座標系でのインクリメンタリーな位置制御と、アームの回転、傾き、開閉制御を行う。入力装置は、X、Y、Z、ROLL、PITCH、YAW の6自由度の入力とボタン操作が可能である。

視覚制御システムでは、HMD上に取り付けられた3次元トラッキング装置により、操作者の頭の動きにあわせて、視覚ユニット上のステレオカメラを上下左右に2軸動作させる。視覚ユニットの選択はロボット操作を行う3次元入力装置のボタンにより行う。

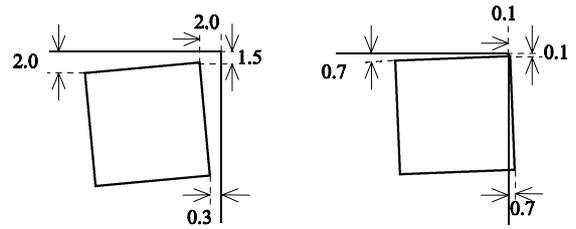
なお試作システムでは複数視覚として2台の視覚ユニットを用い、1台はロボットの横に設置し、もう1台は作業に適当な場所に設置している。

4. 実験

最初に単視覚と複数視覚による作業性の検証実験として、ブロックを別のブロックの上に整列させ積み上げる Pick & Place 作業を行った。ブロックを死角となる位置（作業時にロボット等の影になる位置）に置いた場合は、自明ではあるが、単視覚を用いた作業では不可能であったが、2視覚の場合には作業を行うことができ、視覚の数が多いほど死角が減少し、作業可能な領域が広がる事が確認できた。

次に、単視覚と複数視覚を用いて、作業精度について比較実験を行った。同一の Pick&Place 作業を5回行い、その時の目的位置とのずれ量を測定した。これらの値の平方自乗平均を図4に示す。図より複数視覚を利用した方が作業精度が高いことがわかる。

次に、視覚座標系を用いたロボット操作の有効性についての評価実験として、作業環境の水平面に傾斜をつけ、かつ作業環境の周囲を無地の板で囲んだ環境で Pick & Place 動作を行った。視覚座標系を用いない時は、ロボットの動作方向と操作方向を確認しながらのロボット操作を強いられた。それに対して、視覚座



* 単位：mm

(a) 視覚 1 台 (b) 視覚 2 台

図4 作業精度比較実験結果

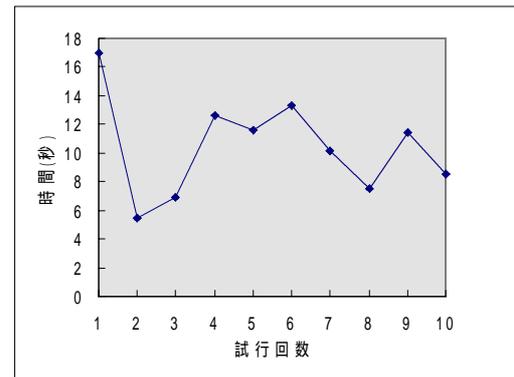


図5 作業点検出にかかる時間

標系を用いた時は、画面上での位置関係のみでの操作ができるため直感的にハンドロボット先端を作業対象へ移動することができた。

最後に、作業点検出機能による作業時間の短縮の効果について、視覚切り換え直後からロボット先端位置を認識するまでの時間を測定した。熟練操作者による10回の試行の結果を図5に示す。横軸は試行回数、縦軸は視覚切り替え後から作業点を認識するまでの時間とする。この平均時間約10.5秒が、視覚切り換え毎に短縮できると言える。

5. まとめ

本研究では複数の視覚を用いた遠隔操作手法を提案し、作業環境の全体の状況を掴むことにより比較的簡易なシステムでも正確な遠隔操作を容易に行うことが出来ることを示した。

今後、現在2台である視覚ユニットの台数を増やすことによって得られる作業効率の変化について検討し、実用的な作業への適用について研究を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) 黒木雅嗣ら, "遠隔操作における能動立体視の効果と生理指標を用いる評価法", T.IEE Japan, Vol. 115-C, No.2, 1995
- 2) 館章ら, "レイトラッキング・マニピュレーション・システムの設計と評価", T.IEE Japan, Vol. 115-C, No.2, 1995
- 3) THOMAS B. SHERIDAN, "Telerobotics, automation, and human supervisory control", The MIT Press, 1992