

トレイグジスタンスの研究 第27報

—トレイグジスタンスシステムにおける作業性の評価—

東京大学先端科学技術センター
安川電機

舘 暁
○安田 賢一

Study on Tele-Existence (XXVII)
—Performance Evaluation of Tele-Existence Manipulation System—

RCAST, The University of Tokyo S. Tachi
Yaskawa Electric Co. ○K. Yasuda

Abstract : Tele-existence system has been evaluated quantitatively by conducting manipulation tasks of building blocks. Effects of various characteristics of tele-existence, e.g., binocular vision, motion stereo by using head movement, and natural alignment of the head and the arm, are analyzed by comparing the result under limited conditions and the result with full functions.

1. はじめに

筆者らはこれまで、オペレータにあたかもロボットが設置されている環境の中に存在しているような臨場の感覚を与える頭部搭載型のトレイグジスタンス視覚提示装置(HMD)を考案し、それを用いたマスタースレーブマニピュレータを開発し実験を行ってきた。この実験システムはロボットの手の位置がオペレータの手の位置と一致しており、オペレータはその場で作業を行っているように、違和感なくマニピュレータを操作することができる。

本報告では、この実験システムにスレーブロボットの移動機能とオペレータの上半身運動追従機能を付加し、両眼立体視及び上半身運動追従の効果を、単眼の場合やジョイスティックによる移動のみの場合との比較から定量的に評価する。

2. システム構成

本実験のシステムは第13報、第18報、第22報で報告したマスタースレーブ装置を使用している。¹⁾²⁾³⁾

スレーブマニピュレータは頭の回転3軸、アーム7軸、ハンド1軸、移動3軸を有する。移動についてはこれまで、コントローラによって1軸ずつ位置を指定する制御方式であったが、今回はロボットの移動も含めた総合的な作業実験を行うために、マスター装置の3軸ジョイスティックを使用してオペレータがスレーブロボットを自由に移動させることができるようにした。また、オペレータの上半身の運動に対するスレーブロボットの追従による効果を調べるために上半身運動追従機能を付加した。Fig.1にスレーブの移動装置図を示す。

移動機能

ジョイスティックによるスレーブの移動には次のような3種類のモードを備えた。

1. ジョイント座標系動作 : ジョイスティックの3軸に対応して、3軸それぞれ独立に動作する、
2. ワールド座標系動作 : 3軸が協調してワールド座標系で直交動作する、
3. ボディ座標系動作 : 3軸が協調してロボットのボディに固定された座標系で直交動作する。

これらは制御を司るCPU(286+287 10MHz)によって選択される。また、ティーチングプレイバックを行うことができ、"MOVJ"(ジョイント動作)や"MOVL"(直交動作)などの簡単なロボット言語によって所望の軌道復元をすることもできる。

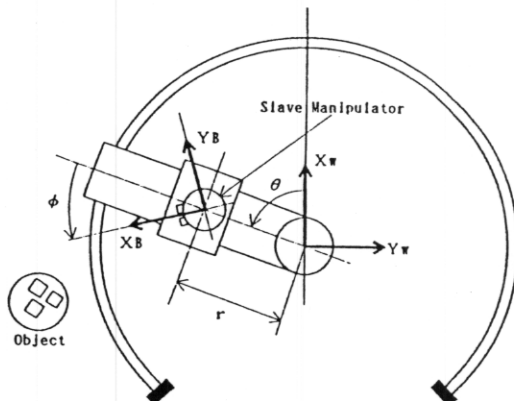


Fig.1 Locomotion Mechanism

上半身運動追従機能

マスターマニピュレータによる頭部の運動は、リンクに取り付けられた6つのエンコーダによって計測され、姿勢3軸と並進3軸を非干渉に測定することが可能である。この機能は並進3軸のうち、X軸、Y軸の2軸を使用して椅子に腰掛けたオペレータの頭部の平面並進運動を捉えることによってスレーブをその運動に追従させようとするもので、のぞき込みなどの効果によって視野領域が広がると共に、オペレータの左右の揺動によって運動視の効果が上がり、奥行知覚の効率が向上されることが期待される。動作範囲はX軸方向約1,100mm、Y軸方向約600mmである。

3. 実験

トレイグジスタンス視覚システムを用いた作業性の評価を行うため、Fig.2に示すような対象物のPick&Place実験を行った。

対象物は、高さ62mm幅43mm厚さ43mmで重さ65gの直方体の3つの積木を用いた。この積木をFig.2のようにテーブルの上にランダムに配置しておき、ランダムに設定した初期位置からアームがテーブルにとどく位置までロボットをジョイスティックで移動させ、それからテーブル上の3つの積木を積み重ねる作業を行う。このとき、移動開始の合図から積木を積み重ね終わるまでの時間を計測する。

比較方法として、両眼視と単眼視を大きな分類とし、そのそれぞれの場合に、上半身追従機能を付加するかしないかで分類した。単眼視はHMDに右目像だけを提示することで実現している。また、単眼視の場合は、HMDだけでなくCRTモニタについても実験を行った。CRTは21インチのTVモニタを使用し、オペレータの目の高さにその中心をあわせ、さらにHMDの視野角が40°であることからCRTの視野角も40°になるように目の位置から画面までの距離を決定した。この場合もまたスレーブロボットの右目像だけを提示する。但し、CRTの場合、当然ながらHMDを装着しないで作業を行うので、上半身運動追従機能は付加せず、また、オペレータの頭部の運動は無視される。従って実際には、スレーブロボットの首を、テーブルに対して前後の移動行っても対象物が視野からはずれないような角度(45°)に固定して作業を行った。

以上まとめると次のような5つの条件で比較することになる。

- ①CRT
- ②HMDによる単眼視：HMD (M)
- ③HMDによる両眼視：HMD (B)
- ④HMDによる単眼視で上半身運動追従機能を付加：HMD (M+)
- ⑤HMDによる両眼視で上半身運動追従機能を付加：HMD (B+)

これをそれぞれ8回ずつ行い、1回につき①→②→③→④→⑤の順番で同じ初期位置から作業を行う。習熟による影響はないものと見なせる時点で実験を打ち切った。実験は20代半ばの男子4名について行った。

4. 結果及び考察

作業の所要時間をTable. 1に示す。これは、各条件について4名の平均を取ったものである。これを見ると、CRTによる作業ではHMD (B) やHMD (B+) よりも1.5倍程度時間がかかっているのがわかる。今回の実験では同じ条件でも初期位置によって作業を行うのに1～2秒の差がある。従って、次の式でデータを正規化することで初期位置によるデータのばらつきを取り除いた。

$$N_{ij} = \frac{5 \cdot T_{ij}}{\sum_{j=1}^5 T_{ij}} \quad (i=1, 2, 3, \dots)$$

ここで、 T_{ij} は*i*回目の条件*j*の作業の所要時間、 N_{ij} は正規化したデータである。この N_{ij} の4名の平均と標準偏差をFig. 3に示している。この結果、両眼視の効果がよりはっきりと現れている。

上半身運動追従の効果は両眼視ではほとんど変化はなかったが、単眼視では追従する方が1.4倍ほど優れている。これは単眼では奥行き感覚はなく対象物の大きさのみが距離の手がかりとなるが、オペレータの上半身の運動にロボットが追従することにより運動視の効果が現れ奥行き知覚を生じためと考えられる。逆に言えば、両眼視に上半身運動追従の効果が現れなかったということは、それだけ、HMDによる両眼視でトレイグジスタンスの成熟度が高いとも言える。しかし、場合によっては、この柔軟な運動機能を効果的に使用すると、かなり効率的に作業を行うことができることも考えられる。

また、これらのサンプルデータについて危険率5%でt検定を行った結果、CRTとHMD、両眼と単眼、さらに単眼における運動視のあるなしで有意差が認められた。

5. まとめ

トレイグジスタンス視覚システムにおける作業性を両眼視と単眼視の点から比較・評価を行った。今回の実験では、スレーブロボットの移動機能を充実させ、作業の所要時間を計測することで、HMDによる両眼視の有効性が確認された。さらに、上半身運動追従機能の付加により、運動視による奥行き知覚の効果が示された。

参考文献

- 1) 館ほか：トレイグジスタンスの研究 第13報、第27回SICE学術講演会 249/250(1988)
- 2) 館ほか：トレイグジスタンスの研究 第18報、第28回SICE学術講演会 433/434(1989)
- 3) 館ほか：トレイグジスタンスの研究 第22報、第8回ロボット学会 231/234(1990)

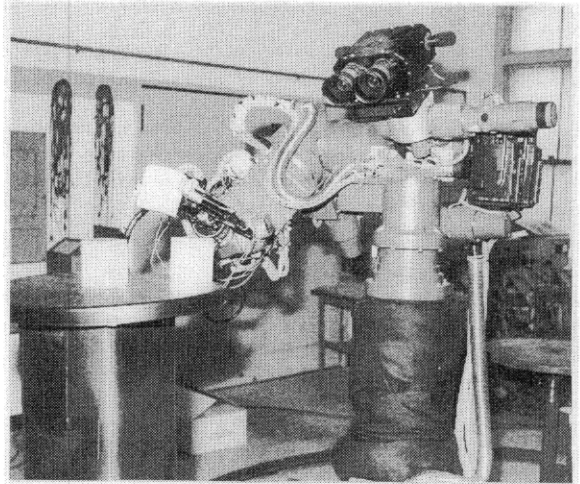


Fig. 2 Handling of Objects

条件	CRT	HMD (M)	HMD (B)	HMD (M+)	HMD (B+)
時間	35.1	30.1	23.0	26.5	22.2

Table. 1 Avarage Time of the Task(sec)

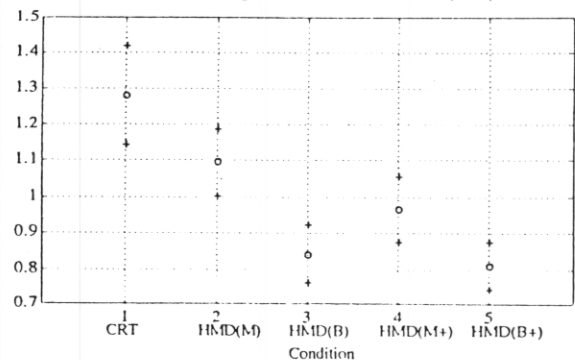


Fig. 3 Experimental Result for Normalized Data