

JS29-3 テレイグジスタンスの研究 第9報

— ソリッドモデルと3次元位置姿勢センサを用いたロボットシミュレータ —

機械技術研究所 〇 館 暁、荒井裕彦、前田太郎

Study on Tele-existence (IX)

-Robot Simulator using Solid Model and 3-D Position/Orientation Sensor-

Mechanical Engineering Laboratory Susumu Tachi, Hirohiko Arai, Taro Maeda

Abstract: A pseudo-real-time robot simulator is designed and constructed for the sensory augmentation of human tele-operator. The operator's wrist position and orientation are measured in real time (60Hz). A simulated manipulator is displayed using solid modeling techniques and is controlled to follow the operator's movement. Display rate of 2 frames/s with double buffering was attained.

1. はじめに

テレイグジスタンスの視覚提示システムでは、ロボットの視覚センサを用い環境の情報を得て、それをオペレータに臨場的に提示する¹⁾。現在までの研究を通して、人間の視覚が有効な環境で自然な臨場感を与えるためのシステムの設計法を提案し、その有効性を試作ハードウェアで検証した²⁾。

しかし、テレイグジスタンスは、実際に人の感覚が有効な環境で利用されるだけではない。ロボットが持つ放射線、赤外線、マイクロ波、超音波、極低周波などのセンサ情報（超感覚情報）も積極的に利用できる。著者らは、これら超感覚情報を人間の感覚で認識できる形に変換し、かつある種の臨場感をオペレータに与えるための研究を行っている。

本報告では、その第一段階として、暗闇の中での作業を想定し、作業対象やロボットのマニピュレータをソリッドモデルで構成し、シェイディングを施こして提示しつつ、人間の腕の動作に追従して動作するロボットシミュレータを試作したので報告する。

2. ロボットシミュレータの構成

暗闇でのロボットの遠隔制御を想定すると、作業

対象物や作業環境の情報に加えて、ロボットの腕の位置や姿勢の情報をオペレータが視覚を介して的確に得ることが重要である。テレイグジスタンスのシステムでは、対象物や環境の情報をロボットのセンサ信号と、オペレータ側に有する環境や対象物のモデルから推定し、立体的に可視化して提示する。それに加えて、ロボットのマニピュレータの位置や姿勢を実物に近いグラフィック画像により立体的に可視化して提示する。

本シミュレータはソリッドモデルを用いて構成したマニピュレータをオペレータの手先の動きに追従させて動作させるシステムであり、上記目的の研究に供するものである。

図1に示すように、固定座標系から見た手先に付随した座標の位置 (x, y, z) と、その方向余弦 α, β, γ を位置姿勢センサを用いて非拘束に計測し、その値から、6自由度のマニピュレータの手先の位置及び方向を、ディスプレイ上で実際の手と同一の関係となるように制御する。

オペレータの運動情報からコンピュータによりマニピュレータのとるべき各関節角を求め、それによ

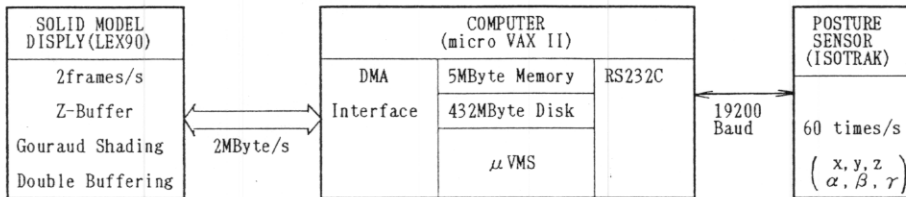


Fig. 1 Schematic Diagram of the Robot Simulator

り、ソリッドモデル表示装置上のマニピュレータの各関節角を制御する。

3. マニピュレータの提示

マニピュレータとしては、当研究室で試作中のダイレクトドライブマニピュレータと同一の構造とし、クローズドな型で逆問題の解を有する多関節構造 R-P-P-P-P'-R を採用した。各アームのリンク及びハンドは五つのシリンダで構成するが、実際には正12角柱を Gouraudシェイディングして近似している。

各アームデータは、各物体に付随する座標系から見た面の頂点座標を記述した 4×200 のマトリクスで表現されている ($X_i, i=1, \dots, 5$)。これに 4×4 の Homogeneous Transform を施して、固定座標系から見た座標とし、その後 Viewport 変換をして表示する。

具体的には、オペレータの腕の計測結果からロボットアームの手先の取るべき固定座標系における位置と姿勢 T_6 を得て計算機 (micro VAX II) に送る。

T_6 に inverse kinematics を施し、各関節角 $\theta_i, i=1, \dots, 6$ を計算し、A 行列 $A_i, i=1, \dots, 6$ を求める。また、パースペクティブ変換とスケールを定める行列 V を用意しておく。各提示用のデータは、 $Z_1 = VX_1, Z_2 = VA_1A_2X_2, Z_3 = VA_1A_2A_3X_3, Z_4 = VA_1A_2A_3A_4X_4, Z_5 = VA_1A_2A_3A_4A_5A_6X_5$ となる。

これにシェイディング情報を付加して、DMA で、ソリッドモデル表示装置 LEX90 に送る。LEX90 では、ローカルに高速シェイディング (8,000 ポリゴン/秒) と Z バッファによる陰面処理を行い、 $640 \times 512 \times 8 \text{bit} \times 2$ のダブルバッファを切りかえて提示する。

システムの最適化を図り、すべての測定、演算、表示を含め 1 フレーム約 0.5 秒の作動が可能となり実時間に近づいた。

4. 3次元運動計測

オペレータの腕先の運動を非拘束に測定する方式として、磁気を用いる計測法を利用した。マニピュレータの自由度が 6 自由度であれば、人間の腕関節の動き 7 自由度のすべてを計測する必要はない。手先の位置と姿勢を測定すれば、マニピュレータの取るべき位置と姿勢を推定することが可能となるからである。

具体的には、磁場検出センサ (3SPACEISOTRAK) を用いて、図 2 に示すように、フェライトコアに直交する 3 方向に巻いた磁気ソースを固定座標系の原点

に配し、それに順次、電流を流し X, Y, Z 方向に 10 KHz の磁場を発生させる。手先に、直交する 3 方向に巻いたコイルセンサを付け、その磁場内におけば、9 つのデータが得られ、それらからセンサの位置と姿勢が算出される。測定範囲は、X, Y, Z 方向それぞれ $\pm 1.5 \text{m}$ で、精度は、位置 6mm、角度 1.5 度である。測定レートは、1 秒間 60 回まであげられる。図 3 に操作実験風景を示す。

5. まとめ

1 秒間に 2 フレームの速度でシェーディングを施したソリッドモデルを用い、オペレータの腕の運動に追従して制御されるマニピュレータシミュレータを試作して、簡単な操作実験で評価を行った。

今後の課題は、表示速度の向上と、両眼立体視の原理による 3 次元提示を用いて臨場感を持たせることである。さらに、触覚情報のフィードバックの研究も進めている。

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) S. Tachi and H. Arai: Study on Tele-existence (II) Three-dimensional Color Display with Sensation of Presence, Proc. '85 ICAR, 345/352, Tokyo (1985).

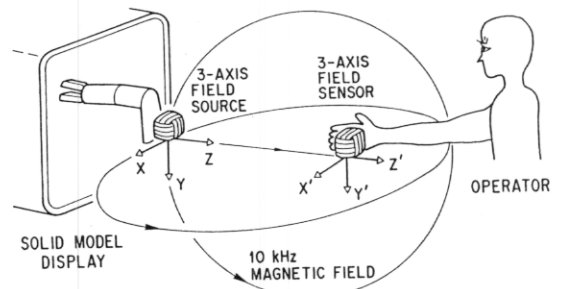


Fig. 2 Magnetic Measurement of the Human Motion

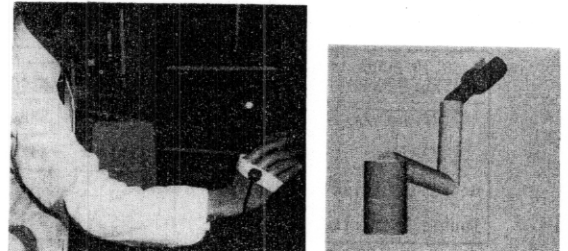


Fig. 3 General View of the Experiment