

1. はじめに

テレイグジスタンス(遠隔臨場制御)システムでは、人間があたかもロボットになったかのような臨場感で、作業を行うことを目指すだけでなく、計算機の助けを借りて、人間の機能の拡張を行うことも目指している。例えば、煙の中で作業を行う場合には、人間には見ることでできない環境情報をCGによって生成し、仮想環境を構成する。人間がその仮想環境中で作業を行えば、煙の中のロボットを煙の中で目が見えるかのごとく、操ることが可能になる。

しかし環境モデルには、しばしば誤差があり、実環境との整合性を常にチェックし、環境モデルを修正する必要がある。本稿では、テレイグジスタンスシステムで用いている環境モデルの修正法を示す。

2. 仮想環境画像と実環境画像

ロボットの作業場には、自然環境のような非常にモデル化しにくい場所もあるが、工場内のように、設計データからモデルを比較的容易に行うことができる場所がある。今回作成したテレイグジスタンスシステム実験環境は、研究所内の部屋を想定し、パイプとコックによって、構成されている¹⁾。

今回作成したテレイグジスタンスシステムのロボットの首とアームには、軽量化のため、関節角のゼロ点がなく、停止状態でアームを動かすと、原点位置がずれ、仮想アームと実アームでずれが生じてしまう。実環境からの視覚情報を利用する場合には、このずれは操縦者の視覚フィードバックによって補正されるため、あまり問題とはならないが、仮想環境の情報のみを用いて作業を行わなければならない場合、実アームと仮想アームのずれは、作業に大きな影響を与える。よって首やアームの関節角のパラメータ誤差を推定する必要がある。ただし必ずしもパラメータ誤差の真の値を求める必要はない。仮想環境画像と実環境画像が、首や手の動作範囲において一致していれば、画像を見ながら作業を遂行することができるからである。

3. モデルベースト画像計測システム

我々は対象物体の形状モデルと入力画像との間で、人間が対応点を指示することにより、非

線形最小二乗法を用いて未知パラメータの推定を行うモデルベースト画像計測システムを作成した²⁾。今回、テレイグジスタンスシステムのキャリブレーションのために画像計測システムをテレイグジスタンスシステムに組み込んだ。

既知のパラメータを p 、未知パラメータを x 、観測モデルを $f(\cdot)$ 、観測値を y 、観測の重みを W とする。様々な既知パラメータについて、観測を行い、評価関数

$$J = (y - f(p, x))^T W (y - f(p, x))$$

を最小化することにより、未知パラメータ x の値の推定することができるこのような形式の評価関数の最小化問題の解法は非線形最小二乗法と呼ばれている。

未知パラメータの値について、先見情報が与えられていて、それが正規分布で近似できる場合には、二乗誤差を評価関数に加えることによって、パラメータの先見情報を利用できる。

非線形最小二乗法のアルゴリズムとして、Marquardt法を用いている。Marquardt法は、可観測性がない場合でも、評価関数を最小化するので、重ね合わせに有効である。

4. キャリブレーション法

今回のシステムでは、既知パラメータは、首やアームの関節角、ロボットの位置、姿勢等であり、観測量は、オペレータの画像上のアームや対象物、キャリブレーション用のマーカーの特徴点や特徴線の画面上での位置であり、推定すべきパラメータは、首やアームの関節角オフセット、対象物の位置、姿勢誤差等である。

モデルベースト画像計測システムによる、実画像と仮想環境画像の重ね合わせは、以下の用に行われる。

(1) 首のキャリブレーションを壁にはってあるマーカーを見て行う。

(2) コンピュータより、指令を送って、首とアームを動かし、視界にアームや対象物を持ってくる。

(3) CGでアームや対象物を表示し、CG上の点と実画像上の対応点をマウスで指示する。

(4) 非線形最小二乗法で、未知パラメータを推定する。可観測性がない場合には、(2)に戻って、推定作業を繰り返す。

5. キャリブレーション実験

画像を用いて、パラメータ誤差を推定し、実画像と仮想環境を重ね合わせた。

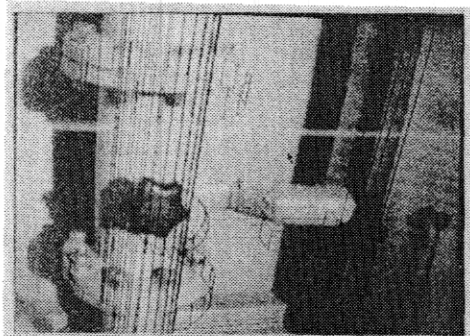


Fig. 1 (a) キャリブレーション前

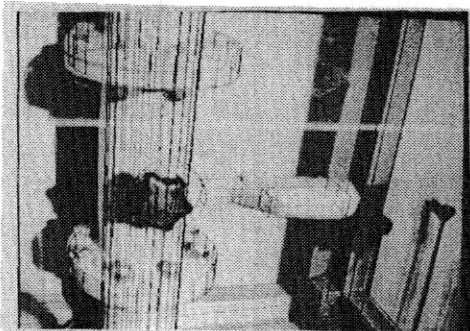


Fig. 1 (b) キャリブレーション後

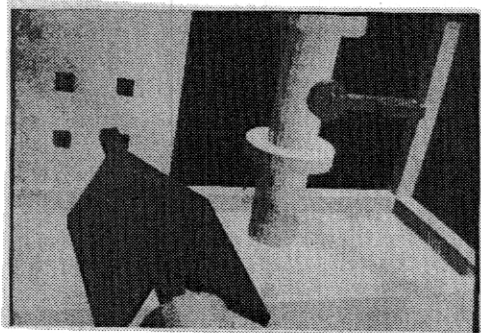


Fig. 2 (a) 仮想環境画像

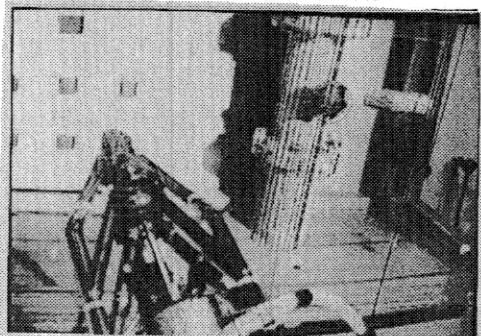


Fig. 2 (b) 実画像と仮想環境画像

Fig. 1 (a) にパラメータ誤差を推定していない状態で、実画像と仮想環境画像（ワイヤフレーム表示）を重ね合わせたものを示す。（b）に、特徴点と直線を対応付し、最小二乗法によって、パラメータ誤差（位置と姿勢）を推定して、重ね合わせた画像を示す。

同様に、アームの関節角のオフセットの推定を行い、Fig. 2 に示す様に、（a）の仮想環境画像を、（b）のように重ね合わせることができた。本アームは7自由度アームであり、手先しか見えない場合には、一度の観測では、オフセットの推定ができないが、アームにいろいろな姿勢をとらせて、計測することによって、オフセットの推定が可能になる。

6. 不可視環境下での作業実験

マッチングが成功したことを確認するために、不可視情報提示の実験を行なう。テレイグジスタンスシステム実験環境において、スモークマシンによって、煙を発生させ、スレーブロボットからの視覚情報が使えない状況にして、環境モデルから不可視情報を構成し、仮想環境内で作業を行なうことにより、実環境にあるロボットを操る。レバー回し、ボタン押し等の比較的精度の低い作業を行った。その様子をFig. 3 に示す。

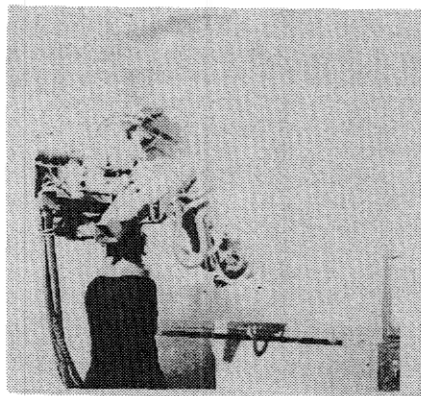


Fig. 3 煙の中での作業

7. おわりに

実環境と仮想環境との重ね合わせを、モデルベースト画像計測により行なった。

現時点では、実画像と仮想環境画像との対応付けは人間が行なっているが、既知情報を基に、自動的に行えるように拡張中である。

参考文献

- 1) 館、「テレイグジスタンスの研究 第22報」、第8回日本ロボット学会講演会
- 2) 大山、館、「モデルベースト画像計測システム」、機械学会論文集（C）、56巻、521号、1990