

# テレグジスタンスの研究 (第 38 報)

- TELESAR マスタアームの開発 (2) -

東京大学 中河原 修平, 多田隈 理一郎, 梶本 裕之, 川上 直樹, 舘 暲

## Study on Telexistence (XXX )

- Development of TELESAR Master Arm ( ) -

Shuhei Nakagawara, Riichiro Tadakuma, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, and Susumu Tachi  
The University of Tokyo

Abstract: In this paper we deal with the inverse kinematics of TELESAR master-slave arms. The TELESAR master arm has 6 joints to produce 6-DOF force, while the slave arm has 7 joints just like human arm to display operator's gesture. Because of different configuration, we must somehow estimate operator's posture in the master's side. We show one method of estimating the operator's arm pose by measuring the orientation of the operator's elbow.

### 1. はじめに

現在我々が開発中のテレグジスタンスシステム TELESAR は、手先作業を行うとともに身体運動表現によるコミュニケーションも可能とするシステムを目指している。この二つの要求を満たすため、TELESAR のアーム部としては次のような設計を行った。すなわち手先作業に対する要求から、マスタは操作者を極力拘束せず、かつ 6 自由度の手先への力帰還を十全に行うという観点から 6 自由度アームとして構成される。これに対しスレーブは身体運動表現 (ゼスチャ) の伝達を可能とするために人間の腕と同じ 7 自由度アームとなっている [1][2]。

このような異構造マスタスレーブ・システムの場合、一般にはスレーブアームが冗長自由度を有するため、マスタの運動学によって手先の位置・姿勢を求めた後、スレーブの逆運動学を解く際に冗長自由度分の式を補う必要がある。我々のシステムでは身体運動表現の伝達という目的から、スレーブアームにマスタ「操作者」と同じ姿勢を取らせることが目標となる。

同様の異構造マスタスレーブ・システムとして Humanoid Robotics Project (HRP) [3] のものがあり、光学センサを用いて、操作者の肘の動きを検出することによって肘の位置を決定していたが、操作者が肘を上下に動かした際、スレーブがその動きに追従するのに遅れ時間があつた。これに対して我々が目標とする身体運動表現を含めた相互コミュニケーションシステムにおいては、特に操作者の動作や腕の姿勢にスレーブがリアルタイムで追従する必要がある。

そこで本研究ではリアルタイム性に着目し、マスタが 6 自由度、スレーブが 7 自由度である異自由度マスタスレーブ・システムにおいて、冗長自由度分を操作者に対する計測で補い、スレーブの逆運動学を解く手法について検討する。具体的には小型のセンサを操作者の肘に装着し、肘の姿勢を計測する。

### 2. センサを用いた解法

#### 2.1 概要と原理

操作者の動作感覚を損なわないように小型のセンサを肘に取り付け、その姿勢を計測することによってスレーブの逆運動学を解く際に不足する冗長自由度分の式を補う方法をとる。センサとして 2 軸加速度センサ (Analog Devices 社製 ADXL202E) を 2 つ用いて、直交するように配置して 3 軸とし、重力加速度を検出することにより、姿勢を計測する (Fig. 1)。

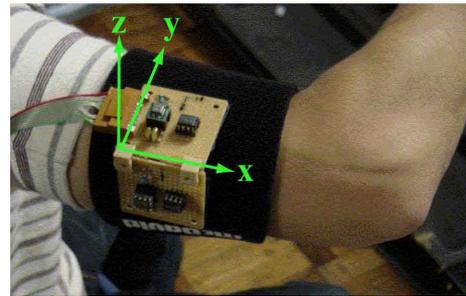


Fig. 1 Acceleration sensors put on elbow

重力加速度のみを頼りにして姿勢の計測を行おうとすると、どのように 3 軸を配置しても重力加速度の向きを軸とした回転を計測することはできない。しかし人間の肘がそのような動作を行う場合、手先の位置・姿勢も必ず変化するので、問題とならない。

次に逆運動学計算の原理について述べる。スレーブは身体運動表現を伝えるだけでなく、手先作業を行うことから、マスタと手先位置・姿勢を完全に一致させなければならない。したがってマスタの順運動学により求まる手先位置・姿勢がスレーブの手先のとるべき位置・姿勢となる。スレーブの手先位置は肩の 3 自由度と肘の 1 自由度によって決まるので、とるべき手先位置の 3 自由度の情報から 4 自由度を決定しなければならない。そこで加速度センサを用いて、冗長自由度分足りない式を補う。加速度センサの  $x, y, z$  各軸の出力を重力加速度  $g$  で割って正規化したものをそれぞれ  $A_x, A_y, A_z$  とすると、重力加速度の向きは基準座標系の  $-z$

軸方向である (Fig. 2) ので、肘に固定された座標系の  $x, y, z$  各軸の基準座標系の  $z$  軸への正射影のマイナス成分が  $A_x, A_y, A_z$  である。すなわち基準座標系に基づいた肘のフレームを記述する回転行列を  $\mathbf{Re}$  とすると、次式が成立する。

$$\mathbf{Re} = \begin{pmatrix} \text{Re}_{11} & \text{Re}_{12} & \text{Re}_{13} \\ \text{Re}_{21} & \text{Re}_{22} & \text{Re}_{23} \\ \text{Re}_{31} & \text{Re}_{32} & \text{Re}_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} * & * & * \\ * & * & * \\ -A_x & -A_y & -A_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

$\mathbf{Re}$  の各成分は肘のフレームが肩の 3 自由度の回転で決定することから、肩の 3 自由度による式で表されるので、式 (1) によって冗長自由度分足りない式を補うことができ、肩の 3 自由度と肘の 1 自由度を決定することができる。最後に手首の 3 自由度はとるべき姿勢の 3 自由度の情報から決定することができる。

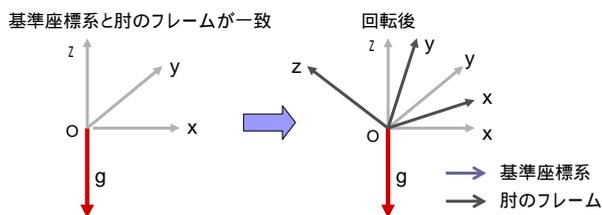


Fig. 2 Relation between the universe coordinate system and the local coordinate system of elbow

## 2.2 実験

まず加速度センサの姿勢センサとしての適性を調べるための実験を行った。加速度センサをマスタアームの先端に取り付け、関節を回転させる (Fig. 3)。このときの加速度センサの  $x$  軸の出力とマスタアームの関節角度を時間軸に対してプロットし (Fig. 4)、実際のアームの加速度の影響を確認した。グラフを見ると、加速度センサの出力の変化と関節角度の変化は一致し、加速度センサによって姿勢を計測できていることがわかる。また関節の回転方向が変わるためアームの実際の加速度が最大となるピーク付近では、センサの出力を表すグラフがアームの加速度の影響を受けて凹んでいる箇所が見られ、アームの加速度の影響を受けることが確認できる。

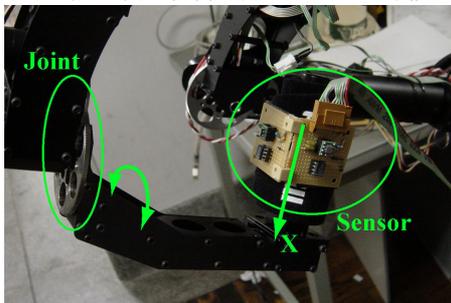


Fig. 3 Experiment of the acceleration sensor

続いて、実際にマスタアームの操作者に加速度センサを装着し、前項の原理に従って逆運動学を解き、スレーブだけは CG で代用してシミュレーション (Fig. 5) を行った。その結果、リアルタイムでスレーブが操作者の動きに追従できることが確認できた。

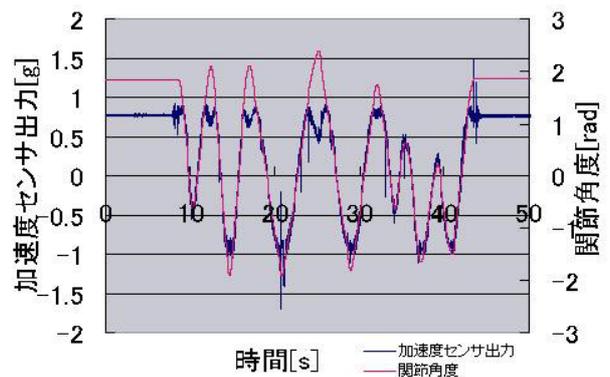


Fig. 4 Relation between acceleration sensor's output and angle of a joint

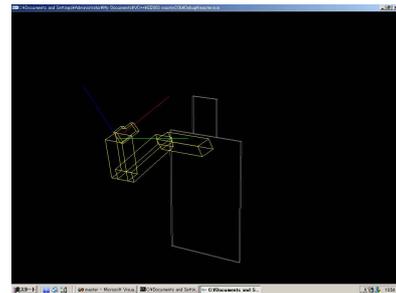


Fig. 5 Inverse kinematics simulation

## 3. まとめ

マスタが 6 自由度、スレーブが 7 自由度である異構造マスタスレーブ・システムにおいてスレーブの逆運動学を解く際に必要な冗長自由度分の計測法として加速度センサを用いた手法を検討した。その結果、リアルタイムで操作者の動きにマスタが追従することが確認できた。しかし加速度センサを用いるため、重力加速度以外に実際の腕の加速度をも検出してしまふ。この問題に対するもっとも簡便な解決法は強いローパスフィルタによって直流成分のみ取り出すことであるが、その際にリアルタイム性を損なう可能性に注意する必要がある。今後は実際にスレーブロボットに実装する予定である。

## 謝辞

本研究は、科学技術振興事業団戦略的創造研究推進事業 (CREST) の研究課題「レイグジスタンスを用いる相互コミュニケーションシステム」の一環として実施された。

## 参考文献

- 1) 朝原佳昭, 川淵一郎, 梶本裕之, 川上直樹, 館暲: テレイグジスタンスの研究 (第 37 報) TELESAR マスタアームの開発 (1). SICE SI2003 論文集, 2003.
- 2) 館暲, 川上直樹, 梶本裕之: テレイグジスタンスの研究 (第 35 報) 相互レイグジスタンスロボットシステム TELESAR II の構想. SICE SI2003 論文集, 2003.
- 3) 館暲, 小森谷清, 澤田一哉, 井床利之, 井上幸三: HRP 遠隔操作プラットフォーム. 日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 1, pp. 2-7, 2001.