

操作者の腕姿勢を反映したテレグジスタンス マスタースレーブシステムの開発

- テレグジスタンスの研究 (第53報) -

Telexistence Master-Slave system reflecting the arm posture of the operator

渡邊孝一, 川上直樹, 舘暉

Kouichi WATANABE, Naoki KAWAKAMI and Susumu TACHI

東京大学大学院 情報理工学系研究科
(〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1,
Kouichi_Watanabe@ipc.i.u-tokyo.ac.jp,
{kawakami, tachi}@star.t.u-tokyo.ac.jp)

Abstract: In telexistence master-slave system, it is important how to conform the master (operator) to the slave when the operator operates slave of different measurement. In the conventional master-slave system intended for the arm, the slave arm conforms to the master arm. However, for more natural and comfortable operation the slave arm should conform to the arm of operator. In this paper, we present new master-slave system, which can acquire and reproduce the posture of operator's arm.

Key Words: telexistence, master slave, configuration differing slave

1.はじめに

我々は遠隔操縦や遠隔コミュニケーションにおいてあたかもロボットの存在する環境に居るような高度な臨場感を持つことを可能とする技術をテレグジスタンス[1]と呼び、本技術に関する研究を行っている。特に、操作者が操るマスターシステムと遠隔地に置かれたスレーブロボットからなるマスタースレーブシステムはテレグジスタンスを実現するための手法の一つとして注目されている。

テレグジスタンスマスタースレーブの理想は一つの汎用的なマスターシステムから様々な場所にある様々な形態のスレーブロボットを操作できることである。それは人型ロボットであったり、小さな虫サイズのロボットであったり、巨大なビルサイズのロボットであったりしてもよい。

様々な形態のスレーブロボットにテレグジスタンスする際、操作者はすべてのロボットをまるで自分自身であるかのように違和感なく扱えることが望ましい。しかし現在のマスタースレーブシステムでは操作者の各部位の寸法とスレーブロボットの寸法が異なるため、完全に同じであるかのように扱うことはできない。

本稿ではテレグジスタンスマスタースレーブシステムの理想の一つである 1 マスタ多スレーブシステムを実現するための第一歩として、従来のマスターシステムを組み合わせた複合マスターシステムを提案し、寸法の異なるスレーブへ操作者の腕姿勢を合わせる手法を提案する。

2.従来のマスタースレーブシステムと問題点

1 マスタ多スレーブ形式のシステム実現のために、従来のマスタースレーブシステムの分類とそれらの持つ問題点

を明らかにする。現状のマスターシステムは外部計測装置[2]を用いるもの、設置型外骨格装置[3]を用いるもの、完全装着型装置[4]を用いるものに大きく分けられる。外部計測装置は操作者の任意の部位を計測可能だが、力情報をやり取りできない。一方で、設置型外骨格装置は力情報がやり取りできるが、骨格の先端位置姿勢情報しか得られない[1]。また、完全装着型装置は装着する人に合わせて設計する必要がある。

そこで本稿では、外部計測装置と設置型外骨格装置を組み合わせたマスターシステムに着目する。この複合マスターシステムは腕の寸法の異なるユーザに対しても、同一形状のマスターで操作が可能であると考えられる。つまり力提示が有効な設置型外骨格装置を利用し、力情報を相互にやり取りしながら操作者の関節の位置情報を外部計測装置により得るようなシステムである。操作者の腕に着目すると、複合マスターシステムによって手先の位置姿勢・力情報に加えて肘・肩の位置を取得することができるようになる。この情報を用いて、操作者とスレーブの形状差異などを考慮しながら、人間の作業特性に合わせて適切な再現アルゴリズムをスレーブロボットへ与えることにより、より自然なテレグジスタンスが構築できると考えられる。

外部計測装置により得られた操作者の腕姿勢をスレーブロボットに反映させる際に、操作者の腕寸法に完全に等しく設計された人型スレーブアームであれば、正確に位置姿勢を合わせることが出来る。しかし誰でも利用できる汎用的なスレーブロボットを用いる場合、スレーブロボットの腕寸法は操作者と異なることが想定される。腕寸法が異なる場合、手先の位置が操作者の手先位置と一致していた

としても肘位置や肩位置が一致しないため、前腕を利用したタスクをおこなうことが難しい。前腕を利用したタスクのうち、手先-肘間の位置関係を正確に一致させなければ実行が困難なタスクがそれに当たる。

例えば、図1のような腕がちょうど入る程度の隙間からものを取り出すようなタスクを行う場合、手先と肘の位置関係がマスタとスレーブで一致していなければスレーブロボットと隙間のエッジが衝突してしまう。

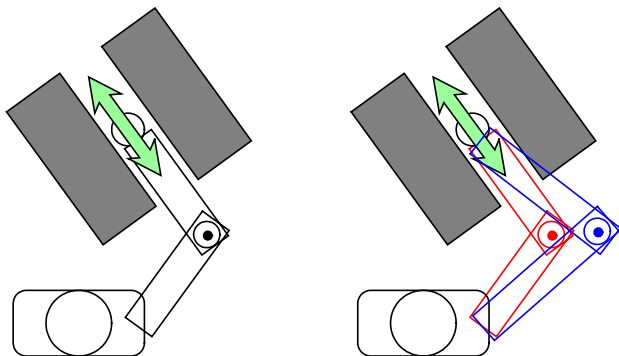


図1 前腕の不一致が影響するタスク例

本稿では、このような手先と肘の位置関係が一致していないと遂行が難しいタスクを対象としたマスタスレーブシステムに対してそれを解決するアルゴリズムとシステムを提案することで、最終的に描く理想的なマスタスレーブシステム実現の導入部分を提供する。

3. 操作者の腕位置姿勢を考慮したマスタスレーブシステム

外部計測装置から得られた位置情報から、操作者の腕の位置姿勢情報を計算する。得られた位置姿勢に対して、スレーブアームの位置姿勢の決め方はいくつか考えられる。例えば、手先を優先的に手先-肘-肩の順に決める方式や肩-肘-手先の順に決める方式などである。本稿では手先-肘間の関係が一致していなければ遂行が難しいタスクを対象としていることから、手先-肘-肩の順に決める方式を採用する。肩や肘を先に決めてしまうとスレーブアームの手先位置が操作者の手先位置に一致しなくなる可能性があり、タスクの実行に影響が生じる。

手先-肘-肩の順にスレーブアームの姿勢を決定するとき、操作者の腕寸法と異なる寸法を持つスレーブアームでは、単純に姿勢を決定するとスレーブアームと操作者の肩の位置が一致せず、手先-肘の姿勢により肩の位置が大きく変動してしまう。そのため操作者の寸法をスレーブアームの寸法に一致させるために座標空間をスケールする必要がある。従来のマイクロマニピュレータなどにおけるスケールリング[5]では、操作者の肩と手先の距離をマスタの肩と手先の距離に一致するように寸法を調整してい

るが、スレーブアームと上腕・前腕の長さの比率が操作者と異なるスレーブアームの場合、従来のような腕全体でのスケールリングでは肩位置が一致なくなってしまう。そこで、上腕・前腕を別々の座標軸を持つと仮定し、座標軸ごとに寸法をスケールして操作者の腕位置とスレーブアームの位置を合わせる必要がある。このとき、上腕・前腕が異なる空間になってしまうため、力情報の処理や視覚的な情報への影響を考慮する必要がある。

操作者の腕姿勢にスレーブアームを合わせる手順を図2に示す。まず、外部計測装置により操作者の各関節位置を求め、手先位置をH、肘位置をE、肩位置をS、とする(図2(a)参照)。スレーブアームの手先位置をH'とし肘・肩位置を決めてゆく。HEを結ぶ直線をline-HE、Hからline-HEに沿ってスレーブアームの前腕の長さだけ離れた位置をスレーブアームの肘位置E'と定義する。ここで、HEとH'E'の長さの比が前腕の寸法のスケールを決める。次に肩位置Sから図左下に表示してある座標軸のX軸に平行な線line-Xを延ばす。E'を中心としてスレーブ上腕の長さの半径を持つ円Sphere_E'S'を定義し、line-Xとの交点をスレーブアームの肩位置S'とする。ここで、ESとE'S'の比が上腕の寸法のスケールを決める。

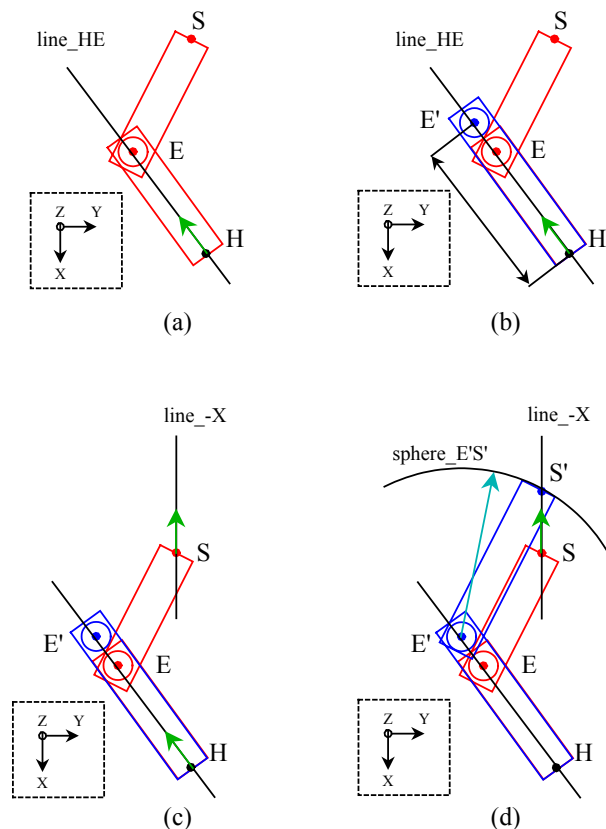


図2 スレーブアームの位置姿勢情報計算手順

前述のように決定されたスレーブアームの位置姿勢を利用することによりスレーブアームの手先から肘、肘から肩

までの長さの比が操作者の腕と一致するようになる。このような操作環境では、操作者がまるで自分の腕であるかのようにスレーブアームを操作できると考えられる。

4. システム構成と処理フロー

本稿で提案するシステム構成は図3のようになる。通常のマスタスレーブ構成に対して、マスタ側は設置型外骨格装置と外部計測装置の2つから構成される。

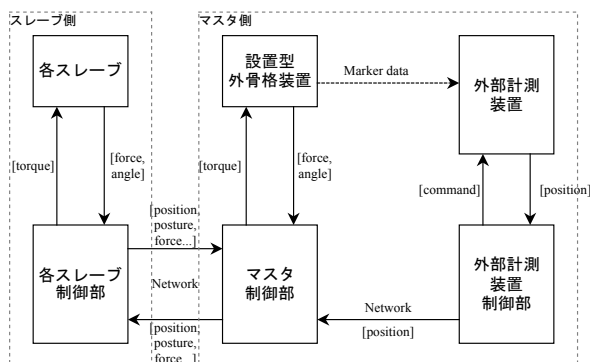


図3 システム構成

システムの処理フローは図4のようになる。本章ではマスタ側処理、スレーブ側処理、力情報の処理に分けて考える。

4.1. マスタ側処理

マスタ側は通常のマスタスレーブシステム同様に各関節角度を取得して順運動学を計算し手先の位置姿勢を求める。外部計測装置側から送られてきた肩・肘・手先の位置情報と求めた手先の位置姿勢をスレーブ側に送り、スレーブ側の手先の位置姿勢を受け取る。受け取ったスレーブの手先の位置姿勢とマスタの手先の位置姿勢からコンプライアンス制御を行い逆運動学の計算して各関節を駆動する。このとき、コンプライアンス制御にはインピーダンス制御[6]を利用する。インピーダンス制御はインピーダンスパラメータを変更することでマスタスレーブ間に存在する見かけ上のインピーダンス(介在インピーダンス)をある程度自由に変更できる。手先のマニピュレーションを行う際には介在インピーダンスはできるだけ小さいほうがよく[7]、さらに稼動域提示などにも応用できる[8]ことからインピーダンス制御を採用する。

4.2. スレーブ側処理

スレーブ側ではマスタ側同様に各関節角度を取得して順運動学を計算し手先の位置姿勢を求めた後、マスタ側へ手先の位置姿勢を送り、マスタ側の手先の位置姿勢および肩・肘の位置を受け取る。受け取った各情報を用いて2章で述べた手法によりスレーブアームの位置姿勢を決定する。その後インピーダンス制御を行い、逆運動学を計算して各関節を駆動する。

4.3. 力情報の処理

外部計測装置により肘・肩位置を決定した場合、設置型外骨格装置を利用した力情報の相互やり取りにおいて各関節の姿勢決定が難しくなる。通常、設置型外骨格装置を利用した力情報の相互やり取りでは、デカルト座標空間において手先の位置姿勢を手先に加わる力により再計算する。そして計算された手先の位置姿勢から逆運動学により各関節の位置姿勢を求めるため、操作者の各関節位置情報が適切に反映されない。スレーブアームの肘の位置は手先に加わる力と現在の手先の位置姿勢、操作者の手先の位置姿勢のみで計算されるため、再計算されたスレーブアームが取るべき手先の位置姿勢は操作者の肘の位置情報が反映されない。このため、操作者の肘の位置とスレーブアームの肘の位置が一致しなくなり、制御ができなくなる。よって、スレーブアームの各関節角度決定の際には操作者の各関節位置情報をインピーダンス制御の計算に適用して適切な姿勢を選択しなければならない。

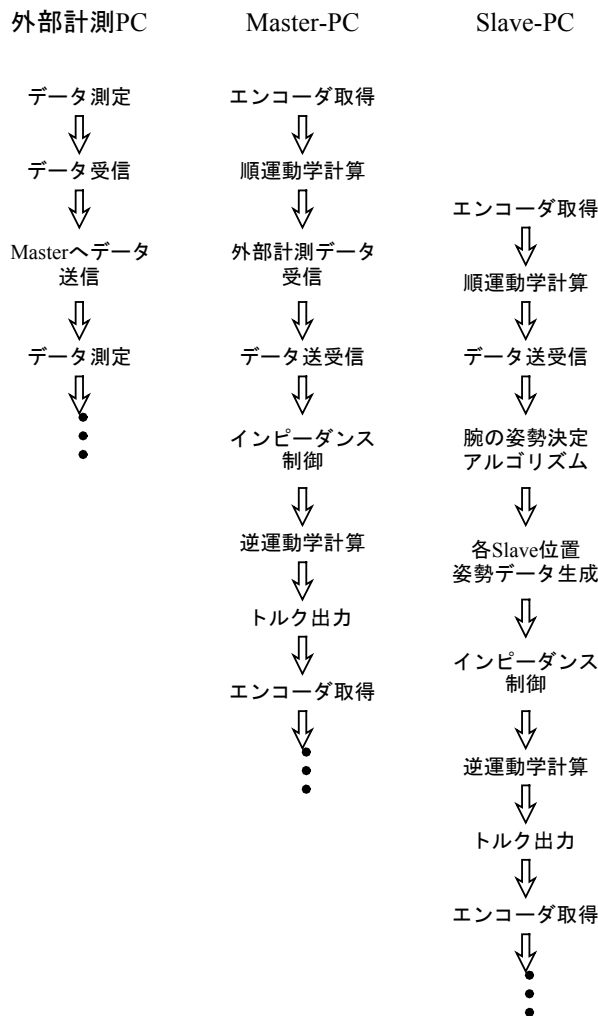


図4 処理フロー

5.まとめ

本稿ではテレグジスタンスマスタスレーブシステムの理想のひとつである 1 マスタ多スレーブシステムを実現するための第一歩として、マスタシステムを構築するために必要な計測手段の選択と寸法の異なるスレーブへ操作者の腕姿勢を合わせる手法を提案した。計測手段として外部計測装置と設置型外骨格装置の 2 つを用いた複合マスタシステムを採用し、操作者の手先-肘-肩の順にスレーブアームの位置姿勢を決定してゆく方式により、より自然なマスタスレーブシステムが実現可能であると考えられる。

今後、本提案システムを実際に構築し、マニピュレーションの設定・タスク実行を行ったうえで本手法の有効性の検証を行い、スケーリング時に起こる影響の対処を行う。また力情報処理時に問題となるインピーダンス制御への操作者の各関節位置情報適用アルゴリズムを確立し、あらゆるスレーブロボットへの違和感のない自然なテレグジスタンスを実現する。

参考文献

- [1] 舘暲, 阿部稔, “ 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] 栗原一貴, 鈴木一郎, 丹下学, 山根克, 杉原知雄, 稲邑哲也, 中村仁彦, “ リアルタイムモーションキャプチャを用いたヒューマノイドのオプティカルコックピット”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH) 2002, 2002
- [3] 朝原佳昭, 川瀬一郎, 梶本裕之, 川上直樹, 舘暲, “テレグジスタンスの研究(第 37 報) TELESARII マスタアームの開発(1)”, 第 4 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 596--597, 2003
- [4] M. S. Shimamoto, “TeleOperator/telePresence System (TOPS) Concept Verification Model (CVM) Development,” N. K. Saxena, ed., Recent Advances in Marine Science and Technology, '92, Pacon International, pp. 97-104, 1992
- [5] Edwardo Arata Yamamoto Murakami, Toshiyuki Kondo, Koji Ito: “Man-Machine Dynamic Characteristics Related to Position and Force Control Tasks in Micro-Teleoperation Systems”, Proceedings of SICE Annual Conference 2003, TAI-15-5, Fukui, Japan, (2003)
- [6] 舘 暲, 榎 泰輔, “ インピーダンス制御型マスタ・スレーブ・システム (I) -基本原理と伝送遅れへの応用-”, 日本ロボット学会誌, Vol. 8, No. 3, pp. 241-252, 1990
- [7] 宗玄清宏, 中河原修平, 朝原佳昭, 多田隈理一郎, 梶本裕之, 川上直樹, 舘 暲, “ テレグジスタンス用人型スレーブアームの冗長自由度を考慮したインピーダンス制御:テレグジスタンスの研究(第 40 報)”, ロボティクス・メカトロニクス講演会' 04, 2004
- [8] 渡邊孝一, 宗玄清宏, 川上直樹, 舘暲, “ 介在インピーダンスによるスレーブロボットの可動域提示 -テレグジスタンスの研究(第 52 報)-”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH) 2007, 2007