

マスタースレーブシステムにおける腕寸法ずれ許容範囲の評価 —テレグジスタンスの研究（第56報）—

Permissible Limits of Arm Dimensions for Master-Slave System -Study on Telexistence (LVI)-

○ 渡邊 孝一（東大） 川上 直樹（東大）
正 館 暲（東大）

Kouichi WATANABE, the University of Tokyo, Kouichi_Watanabe@ipc.i.u-tokyo.ac.jp
Naoki KAWAKAMI, the University of Tokyo
Susumu TACHI, the University of Tokyo

Abstract: When the user operates various types of slave robots in master-slave system, the fact that the dimensions of user does not match the dimensions of slave robot influence on the task performance. In particular, it is important to define analytically the effect of disparity between user and robot upper/forearm dimensions. In this paper, we describe the methods of arm posture representation and present the effect of ratio of upper/forearm length on the task performance. From the evaluation results, we can conclude that the effect on working task performance is small in case of disagreement between user and robot upper/forearm dimensions is lower than 20 percent.

Key Words: Master-Slave system, Telexistence, Arm dimensions

1. 緒言

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と呼び、本技術の研究を行っている。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であり、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はテレグジスタンスの理想である。

様々な形態のロボットの中からロボット部位の寸法に着目し、それらが異なる人型スレーブロボット群を対象としたマスターシステムを考える。寸法の異なる人型スレーブロボット群を一つの汎用的なマスターシステムから同様に操作する場合、操縦者の寸法とロボットの寸法は一致しない。この物理的な寸法の不一致は、操縦者の感じる操作性や安全性などを損なう可能性がある。

寸法の不一致による操作性の低下を解決するため、ロボットが存在する空間全体を幾何学的・動学的にスケールリングすることによりロボット全体の寸法や力情報等を正しく操縦者に提示することを試みた手法は多く見られる[1]。しかし、ロボット全体をスケールリングする方式では、ロボットの上腕・前腕・胴体など各部位の寸法比が操縦者と異なる場合に物理的な位置ずれや力ベクトル関係の不一致が生じる。アームに着目すれば、運動学を解いて肩をベースとした手先位置姿勢からロボット姿勢を決定する場合は肘の位置姿勢関係が一致しない。一方、肩をベースとして、各関節の角度のみを合わせる場合は手先位置が一致しない。

寸法不一致による操作性への影響が懸念される一方で、操縦者の身体的な感覚という観点から見ると、アームと視覚の融合システムでは物理的に一致させる必要性があるとは限らない。人間は外界の情報の多くを視覚から得ており、視覚フィードバックにより影響が大きいことは知られている。この効果によりマニピュレータの位置姿勢のずれが、身体的な感覚上では排除できる可能性がある。我々はこういった点を考慮し、操作性や安全性だけでなく操縦者の感じる身体的な感覚などが満たされるマスタースレーブシステムの構築を目標としている。

本稿では、操縦者とロボットの上腕・前腕寸法比が一致し

ない場合にタスクに与える影響を評価する。はじめに腕姿勢表現方式を整理しそれぞれの特徴を挙げた上で、各腕姿勢表現方式に対してポインティングタスクの評価を行い、遂行時間に与える影響および腕姿勢表現方式の選定法を考察する。本稿は我々の目指すマスタースレーブ間のインタフェース設計指針を立てる上で必要となる基礎的な評価結果を示すことが目的である。

2. 腕姿勢表現方式の分類

一般的に操縦者の腕の位置姿勢をスレーブアームに反映する方式として肩に対して手先の位置姿勢を合わせる方式が採用されている。この方式は運動学に基づいており、リンク機構のベースを肩におき手先をエンドとして表現する。従って、肩に対する手先の位置姿勢関係が一致する。一方、肘位置は上腕・前腕の寸法により決定される円周上に制限されるため、操縦者の肘位置と必ずしも一致しない。

操縦者の腕モデルおよびロボットアームは4つのリンクとそれらを繋ぐ3つのジョイントから構成されており、リンクの長さは既知である。即ち、操縦者の腕姿勢をロボットに反映させるために決められるのは3つのジョイント位置であり、それらが決定されれば腕姿勢は決まる。3つのジョイントの組み合わせにより、上記の運動学に基づく方式のほかに2つの方式が考えられる。以下に3つの表現方式を簡単にまとめる。

● 手先-肩関係優先一致方式（手先優先方式）

前述した一般的な運動学に基づいた方式であり、寸法・自由度配置が完全に一致しない限り肘位置は合わない。その結果、マニピュレーション時に障害物と肘との接触などによりタスク遂行に影響を与える可能性があるが、接触が手先にしか生じない環境下では精密な作業が可能となる。

● 肩-肘関係優先一致方式（肘優先方式）

この方式は運動学を解かず単純にベース座標から関節角度のみを一致させていく方式で、寸法・自由度配置が完全に一致しない限り手先位置は一致しない。その結果、マニピュレーション対象そのものに影響を与える可能性があるが、上腕を操縦者の寸法に合わせてスケールリングすれば肘位置が完全に一致するため、手先以外の周辺環境との接触が多発する環境下では回避行動が取りやすい。

● 手先-肘関係優先一致方式

この方式は上記 2 つに対して、手先と肘の関係を先に一致させようとする方式のためベースとなる肩の位置が一致しなくなる。そのため、視覚情報との不整合が起こるだけでなくロボット側で物理的に実現が不可能であり、現実的ではない[2]。空間を領域ごとに別々に歪ませて合わせることも可能だが、領域分割が難しくリンク間伝播関係が変わってしまうため今回は対象としない。

3つの表現方式のうち、今回対象とする2つの表現方式を寸法が完全に一致する場合と比較して図1に示す。

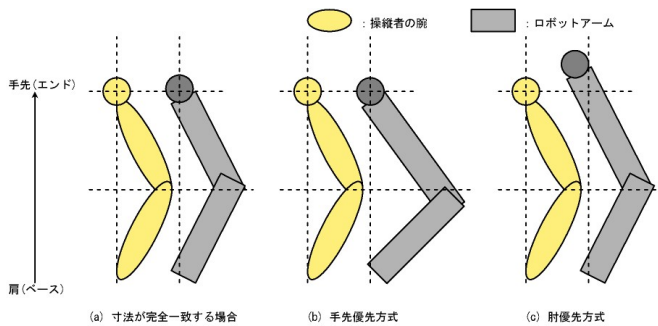


Fig. 1 Expression type of arm posture.

3. 手先・肘位置姿勢ずれのタスク影響評価

本章では、2章で示した2つの表現方式について、数段階の寸法ずれ比を与えた場合のタスク達成にかかる時間を取得し評価する。寸法ずれ比とは操縦者の上腕/前腕に対する前腕/上腕の寸法比に与えるずれで、操縦者から測定した上腕前腕寸法の比率を基準として与える。

実験条件を以下に示す。寸法ずれ比の段階は5段階とし、操縦者の寸法に対して±20%、±10%のずれを与える。評価を簡単にするため、手先優先方式では前腕を操縦者寸法と等しくした上で上腕の寸法にずれを与え、肘優先方式では上腕を操縦者寸法と等しくした上で前腕の寸法にずれを与える。今回は作業効率に与える影響を見るため、タスクにはポインティングタスクを採用し、手先優先方式では肘、肘優先方式では手先のポインティングを行う。

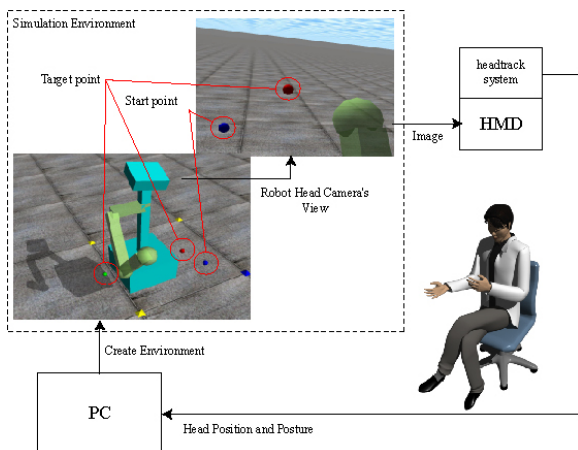


Fig. 2 Simulation environment.

実験環境を以下に示す。手先位置姿勢取得のための外骨格型マスターアームに、肘・肩の位置を取得するためにモーションキャプチャを併用する。コンピュータ内に生成したVRシミュレーション環境内にCGのスレーブアームを構築し、ダイナミクス調整やポインティング判定を簡単にするために物理演

算エンジンを適用する。

実験の手順を以下に示す。まず、被験者はロボットの正対面に配置された開始点にアーム手先を持っていく。その後、手先優先方式ならば肘位置を、肘優先方式ならば手先位置をそれぞれ設定された終了点を持っていく。終了点は手先優先方式の場合は上腕を半径とした円周上のランダム位置に、肘優先方式の場合は設定された上腕・前腕から余裕を持って到達可能な距離にランダムに提示する。シミュレータ環境を含めた実験システム構成を図2に示す。

今回は被験者1名のみで、1回の試行で5パターンのずれにつきそれぞれ5回、10試行50回のデータの平均を取ったものを表1に示す。表内数値は寸法ずれ比0%に対する割合で示してある。

Table 1 Evaluation result.

	上腕または前腕に対する寸法比				
	-20%	-10%	0%	10%	20%
手先優先方式	1.01	0.96	1.00	0.95	0.96
肘優先方式	1.07	0.98	1.00	1.01	0.99

表1より、腕の寸法ずれ比が20%ずれした場合でもポインティングタスク遂行時間に与える影響は殆ど無いことがわかる。これは2方式に共通である。このことから、位置を合わせるような作業ベースタスクについては視覚フィードバックの影響が非常に強く、物理的な位置姿勢の誤差は殆ど吸収されてしまうといえる。ただし、この場合のタスクはポインティングタスクのような非常に単純で簡易なものであり、複雑タスク時に同様な結論が得られるとは限らない。また、ポインティングタスク時には遂行自体には影響が無いが、操縦者が感じる腕の身体的な感覚が一致しているかどうかは判断できない。

上記の初期評価により、上腕・前腕の寸法比が20%程度ずれても作業タスクへの影響は殆ど無く、腕姿勢表現方式による差も見られなかった。このことから、腕姿勢表現方式の選択は、物理的な位置関係の一致をさほど考慮せずに他のパラメータを優先的に考慮して決定することができると推測される。特に身体的な感覚を考慮した際には、肘優先方式が有効と考えられるが、今回の評価からは結論付けられない。これについてはさらに詳しい評価が必要である。

4. 結論

本論では、1つの汎用的なマスタシステムから複数の寸法の異なるスレーブロボットを操作する際、上腕・前腕で寸法が違う場合に生じるタスク性能への影響を示した。評価結果より、寸法が上腕および前腕に対して20%ほどずれていたとしても作業タスクに影響を与えないことが明らかになった。このことから、腕姿勢表現方式の選択は、物理的な位置関係の一致をさほど考慮せずに他のパラメータを優先的に考慮して決定することができる。しかしながら、身体性を考慮したマスタスレーブシステムを構築する際にはその影響をさらに考察する必要がある。

文献

- [1] J. Edward Colgate, "Power and Impedance Scaling in Bilateral Manipulation", Proceedings of the IEEE International Conference of Robotics and Automation, pp.2292-2297, 1991
- [2] 渡邊孝一, 川上直樹, 舘暲, "操作者の腕姿勢を反映したテレグジスタンスマスタスレーブシステムの開発", 日本バーチャリアリティ学会第12回大会論文集, 福岡, pp.207-210, 2007