

力覚提示機構を有する多指エグゾスケルトン型マスタハンドの開発

Development of Multi-Fingered Exoskeleton Master Hand with Force Feedback Mechanism

非 小山 辰也 (慶大) 正 竹村 研治郎 (慶大)
正 前野 隆司 (慶大)

Tatsuya KOYAMA, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, 223-8522

Kenjiro TAKEMURA, Keio University Takashi MAENO, Keio University

This paper describes a newly developed multi-fingered master hand, which can solve conventional problems of master hands. The master hand is three fingered exoskeleton type, and it has 12 degrees of freedom. It is possible to measure each fingertip positions and angles of index finger, middle finger, and thumb. It also enables user to feel reaction force on his/her each fingertips passively. Both measurement of fingertips and force feedback to fingertips are fulfilled by only one link mechanism. The force feedback structure of the master hand is designed to be applied to the new controlling method. Using the shaft of link mechanism as an elastic element puts the new controlling method into practice, and also makes the size of the master hand smaller. Then we made an experiment using the master hand, and verified its usability.

Key Words: Master Hand, Exoskeleton, Force Feedback, VR, Multi-Finger

1. はじめに

人は周囲の環境との接触を伴う作業を行う際には一般に手を用いる。人の手指動作は単純なものから複雑なものまで様々だが、後者は習熟が困難である。また、原子炉内などの極限環境下で複雑な作業を行う際には、作業には多大な危険が伴う。このような作業をシミュレーションによって効率良く習熟する、あるいは、ロボットの遠隔操作により作業を安全に遂行するための手段として、人の手指動作を入力とする入出力システムが期待されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、従来のマスタハンドには以下のような問題点がある。

- (1) 装置が大型である
 - (2) 自然な手指動作を妨げる
 - (3) 近似的に指の位置や角度を計測している
 - (4) 力覚提示の動力伝達方法にワイヤ駆動を用いた場合、摩擦や伸縮、遅れが生じる
 - (5) 指先へ力覚を提示する際、指先以外にも力の影響が及ぶ動力伝達機構となっている
- (1)~(3)が指先の姿勢計測の問題点であり、(4)~(5)が指先への力覚提示の問題点である。また、指先の姿勢計測と指先への力覚提示を1つの機構によって実現しているマスタハンドの例はまだ少ない。本研究では、これらの問題点を解決し、人の手指動作の計測、指先への力覚提示が可能なマスタハンドを開発する。また、応用例の1つとして、出力側に仮想空間内のハンドモデルを用いたバーチャルリアリティ(VR)システムを構築し、指先への力覚提示の有効性を確認する。

2. 設計と製作

本マスタハンドを用いた入出力システムの用途としては、微細な作業や物作りを想定する。このような作業では主に指先を使用するため、本マスタハンドでは各指の指先位置と、指先で対象物に与える力のみを計測する。指先で対象物に加える力の計測および指先への受動的な力覚提示は山野ら⁽³⁾の制御法を用いて行う。これらの計測を実現し、さらに上記の(1)~(5)の問題点を解決することを設計条件として、マスタハンドの設計を行う。このためには本マスタハンドに、手の甲と指先を両端とするリンク機構を用いたエグゾスケルトン型の装置を用いることが適していると考えられる。手と

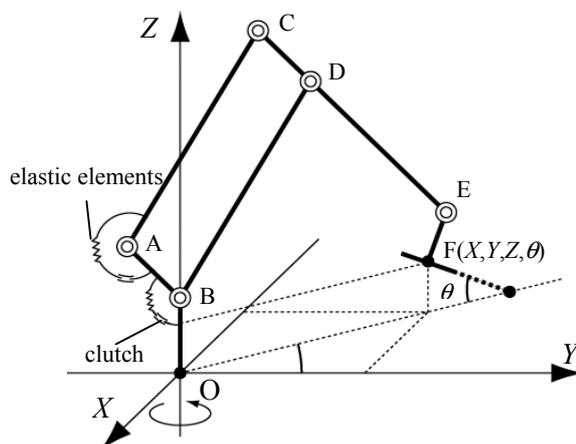


Fig. 1 geometrical model of the master hand

マスタハンドの固定箇所を、手の甲と指先のみによって、(2)の問題点の影響を減少させることができる。また本マスタハンドには、指先の位置と角度の計測を行うためのシリアルリンク機構と、指先へ力覚を提示するための平行リンク機構を組み合わせたリンク機構を用いることとする。Fig. 1は本機構の幾何モデルである。点Oが手の甲に、点Fが指先に位置する。四角形ABDCは平行四辺形を形成しており、点OではリンクBO軸まわりの回転1自由度を有する。本マスタハンドでは、1指につき4自由度の運動計測が可能であり、指先の位置と角度を近似することなく測定できる。各リンクのなす角度は、点B, C, E, Oに設置する角度センサにより計測する。指先の位置と角度は、これらの角度とリンク長より順運動学を用いて求めることができる。これより、(3)の問題点が解決される。また、指先への力覚提示は点A, Bに設置するクラッチにより行う。点AのクラッチによりリンクACとリンクABのなす角度を決定し、点BのクラッチによりリンクABとリンクBOのなす角度を決定する。それぞれのクラッチの軸は、前述の制御法を適用するために弾性要素を介してリンク部材とつながっている。軸A, Bをクラッチによって固定することで指先の屈伸運動に対して受動的な力覚を指先に提示する。このとき、マスタハンドの指先に加わる力は角度センサの計測角度と弾性要素のねじりば

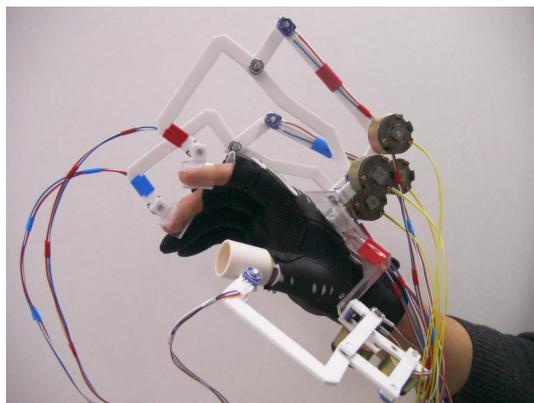


Fig. 2 multi-fingered master hand

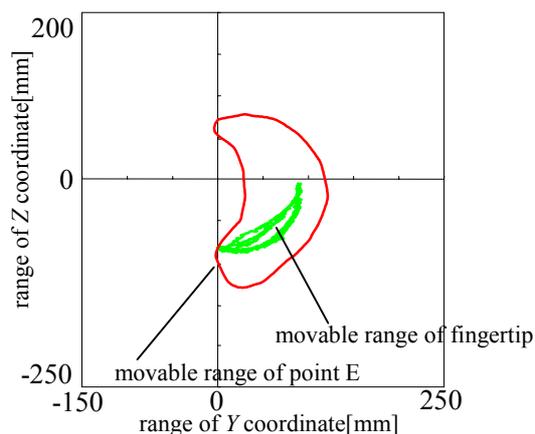


Fig. 3 movable range of fingertip (index finger)

ね定数から求められる。平行リンク機構を用いることにより、力覚提示用のクラッチをベース部に近い点 A, B に配置することができる。そのため、クラッチの重量が指先へ提示する力覚に与える影響は軽減される。さらに、手とマスタハンドは指先と手の甲のみで固定されているため、指先にのみ力覚を提示することができ、(5)の問題点も解消される。また、動力の伝達にリンク機構を用いるため、(4)の問題点を回避することができる。

このように、マスタハンドにシリアルリンク機構と平行リンク機構を組み合わせた 1 つのリンク機構を用いることで、指先の姿勢計測、指先に加わる力の計測、そして指先に受動的に力覚を提示することを容易に実現することができる。また、このリンク機構により、マスタハンドの構造は簡略化され、装着の容易性は向上し、(1)の問題点が解決される。

Fig. 2 に試作した多指マスタハンドを示す。各リンク部材にはアクリル板を、角度センサにはポテンショメータを用い、弾性要素にアクリル棒を使用した。アクリル棒は直接軸 A, 軸 B として使用した。

3. マスタハンドの評価

製作した多指マスタハンドを用いた指先位置の計測精度を測定するため、姿勢検出実験を行った。3 指の指先の可動範囲内で複数の指先位置を計測した結果、示指部指先の誤差は最大で 3.05mm、中指部で 2.61mm、母指部で 2.09mm となり、微細な作業や物作りを行うためにはまだ十分な精度とは言えない。しかし、角度センサの分解能を高くすること、マスタハンド全体の剛性を高くすることで計測精度の向上は可能である。Fig. 3 に示指指先の可動範囲、多指モデル示指部に指を挿入しない場合の点 E の可動範囲を示す。図より、本マスタハンドの先端可動範囲は、指先の可動範囲を満たし

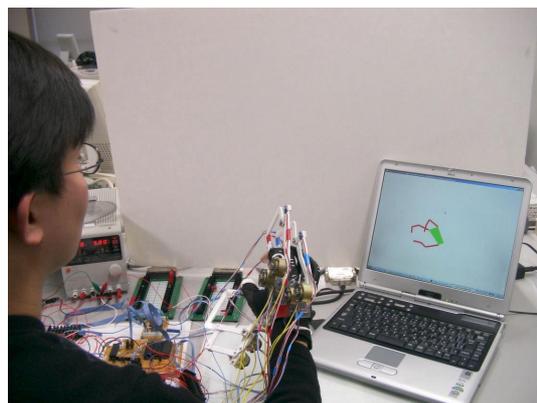


Fig. 4 view of sensory test

ていることが分かる。

指先に受動的な力覚を提示した際、指先に加わる力を計測し、理論値と比較したところ誤差は最大で 0.20N となり、この範囲内であれば指先を用いた作業への影響は少ないと考えられる。本マスタハンドの力覚提示に用いた電磁クラッチは保持トルクが 0.25Nm であるため、指先に加えられる力は最大で約 3N となり、指先を用いた作業では十分な値である。

4. VR システムの構築

本マスタハンドを用いた入出力システムの 1 例として、出力側に仮想空間内のハンドモデルを用いたバーチャルリアリティ (VR) システムを構築し、指先への力覚提示の有効性を確認する実験を行った。仮想空間内でのハンドモデルは PC の画面上に表示した。ハンドモデルを表示する際は、多指マスタハンドにより計測される指先の位置と角度から逆運動学を用いて各関節角度を算出した。本システムを用いて 7 人の被験者に対して心理物理実験を実施した。Fig. 4 が実験の様子である。実験は多指マスタハンドを装着し、PC の画面上に表示されるハンドモデルを見ながら行った。まず、多指モデルを装着した際の手指動作の感覚に慣れるために、力覚提示を行わずに画面を見ながら単純な把持動作を行った。次に、多指マスタハンドによる力覚提示を行うことで物体把持の認識が可能であるか否かを調べた。その結果、7 人の被験者全員が、物体把持の認識が可能と解答した。これより、本マスタハンドの姿勢検出方法および力覚提示方法が VR システムに適用できることを確認できた。

5. おわりに

本研究では、力覚提示機構を有する多指マスタハンドを設計・製作した。また、製作した多指マスタハンドを用いた実験により、本マスタハンドの姿勢検出方法、力覚提示方法の有効性を確かめた。今後、出力側に多指多関節ロボットを用いて微細な作業や物作りを行うこと、出力側を VR として手指の動作特性の解析を行うことなどの応用展開を図る予定である。

参考文献

- (1) 長田義仁: バイオミメティクスハンドブック, エヌ・ティー・エス, 東京都, 第 1 刷, pp.1133-1139, (2000)
- (2) 廣瀬通孝: 仮想現実感(バーチャル・リアリティ)技術の現状と将来 機械の研究, 第 45 巻 第 9 号 pp.924-929, (1993)
- (3) 山野郁男, 竹村研治郎, 前野隆司: 弾性要素を用いた力覚提示機構を有するマスタ・スレーブシステムの制御法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2002, (2002)