

マウス型多指ハapticデバイスの開発

Development of a Grounded Mouse-Type Haptic Device with Multiple Finger Inputs

非 上田祐介 (慶大) 正 前野隆司 (慶大)

Yusuke UEDA, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa
Takashi Maeno, Keio University

Abstract—In this paper, a mouse-shaped haptic device is proposed. The device solves conventional problems of previously developed devices such as structure and control complexity and operating difficulties. We adopted multiple finger inputs in order to carry out complicated tasks and for high adaptability to the environment. To develop the multi-fingered haptic device, we focused on anatomical knowledge and neurophysiology. Since there is a primacy of the visual information over somatic sensation, we believe the movable range of human fingers does not necessarily have to be completely satisfied, i.e. visual information can compensate for the difference between the displacement of the haptic device and that of the slave device in a master-slave system. We applied this feature to miniaturize and simplify the device. To confirm the usefulness of our developed device for a virtual reality system, we carried out 3 experiments: position control, familiarization and force feedback. The results show how we could demonstrate the effectiveness of the developed haptic device.

Key Words-Haptic Interfaces; Teleoperation; Virtual Reality

1. 序論

ヒューマンインターフェースの新しい形態であるバーチャリアリティ(VR)技術の発達に伴い、仮想物体に触った時の触力覚の提示を行うハapticデバイスの研究が盛んに行われている。ハapticデバイスは、極限環境下での作業や微細作業など実ロボットの遠隔操作を行うマスタデバイスとしても応用が期待されている。中でも、環境変化への適応性や行えるタスクの多様性から、ヒトの多指による操作が可能なデバイスが注目されている。しかし、現在開発されている多指ハapticデバイスは、機構が複雑、操作が困難などの問題がある。このため、本研究では、これらの問題を解決できるマウス型多指ハapticデバイスを開発することを目的とする。まず、ヒトの特性をもとに、ヒトの変位知覚における視覚の優位性を利用した、マウスのような形状をもつデバイスを設計・製作する。次に、VRシステムを構築して、心理物理実験を行い、簡略化した構造を持つデバイスの使いやすさ、仮想ハンドの位置決めの簡易さ、仮想物体の剛性判断の容易さを検証する。

2. 設計と製作

仮想ハンド 5 指ハンドまたは遠隔ロボットハンドを自在に操るためのデバイスを開発するにあたり、解剖学的な観点、神経生理学的観点、機構・制御の観点からそれぞれ設計を行

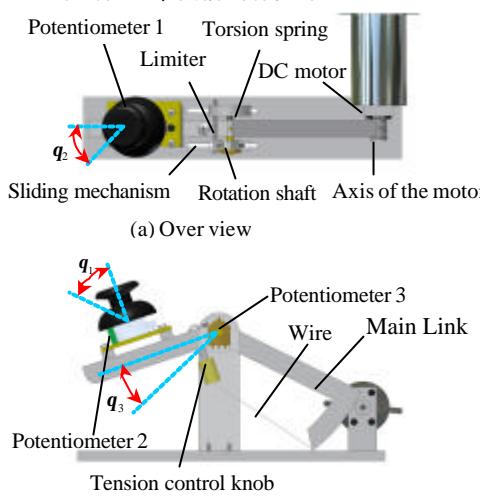


Fig. 1 Outline of structure design

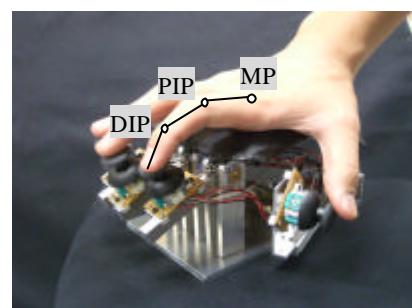


Fig. 2 Developed haptic device

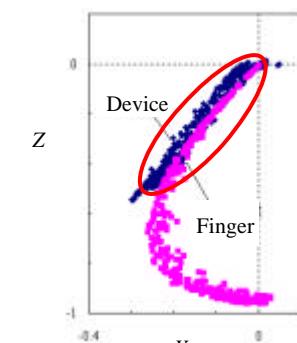


Fig. 3 Comparison of movable range

った。なお、本デバイスは指の動作を計測するものであり、本研究の範囲では手首の自由度は考慮しない。各指の自由度は、機構の単純化を図るために、本来 4 自由度であるところを 3 自由度に低減する。

2-1 解剖学的知見

ヒトの指節間関節は支靭帯によって連動するという解剖学的知見より、本デバイスは 1 指につき 3 自由度を有することにした。VR 空間では、Fig. 2 に示した DIP 関節と PIP 関節を従属的に動かすことにより、屈曲方向の自由度を 3 から 2 に減らす。また、操作者が直感的に操作を行えるように、デバイスを自然な手の形態(機能肢位)で使用するものとし、マウスのように上から手を置く形状とする。なお、将来的に手首の自由度はデバイスの土台を傾斜させることによって擬似的に付加することが可能であると考えている。

2-2 神経生理学的知見

視覚情報の体性感覚に対する優位性を神経生理学的観点から設計に適用する。Srinivassan らによって報告されている^[1]ように、ヒトが指先の位置を認識する際、触覚や力覚などの体性感覚と視覚に矛盾が生じた場合、視覚情報が優先的に利用される。このため、デバイスで検出する変位と視覚フィードバックとして得る変位が異なっていても、操作者は視覚的な変位に従って操作を行うという考えを、デバイスを開発するコンセプトとする。従来は、マスタスレーブシステムにおいて、それぞれのデバイスの指先位置や可動域を一致させることを設計目標としてハapticデバイスの構造設計が行われてきたが、変位における錯覚を利用すれば、指の変化を小さくできるため、構造や力覚提示機構を小型化できる。

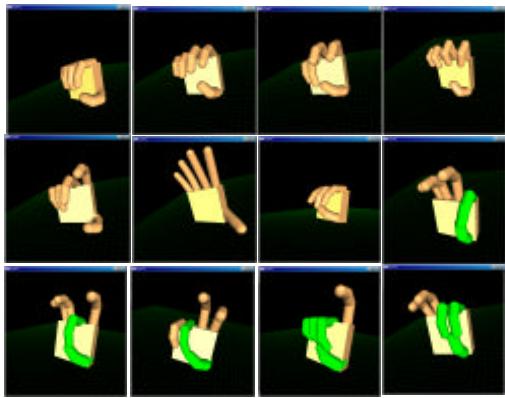


Fig. 4 Position control of virtual hand

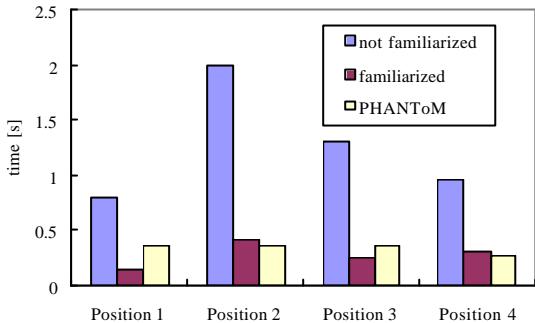


Fig. 5 Result of familiarization test

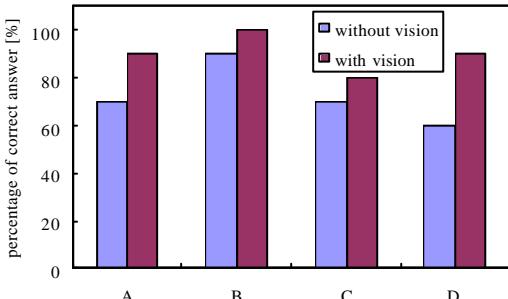


Fig. 6 Result of stiffness distinction test

2-3 機構・制御

ハapticデバイスは操作者に対象物の力覚を提示するデバイスであるため、遅れ、すべり、摩擦があると操作時に違和感を感じる。また、デバイスを小型化するために駆動機構をコンパクトにする必要がある。そのため、Fig. 1に示すような構造の1指モデルを設計した。アクチュエータとしてDCモータを用いる。減速機構には、ギアではなく、ワイヤをおねじ付パイプに巻きつけてメインリンクとの間で減速を行うコンパクトワイヤ機構を用いた。この機構により、バックドライブリバビリティを有し、バックラッシュのない機構を実現した。また、メインリンクにカウンターウエイトを設けることにより、重心を回転軸と一致させた。手をデバイスの上に置いた状態で操作できるように、リンク長を決定した。位置計測には3つのポテンショメータを用いる。Fig. 1に示すように θ_1 はPIP関節の屈伸角度、 θ_2 はMP関節の側屈角度、 θ_3 はMP関節の屈伸角度である。 θ_1, θ_2 の可動域はそれぞれ-30~30deg、 θ_3 の可動域は0~20degである。ヒトの指の可動域を満たしていないが、2-2で述べたように変位を拡大して視覚フィードバックさせることにより、違和感なく操作できることと考えられる。

これらの観点から、本研究では接地型でマウスのような形状のデバイスを設計する。ただし、2つの指節間関節を連動

させることによって不足する自由度を補うこととする。(a)~(c)に示した設計方針をもとに、示指、中指、環指、母指の詳細設計も行うことによって、多指ハapticデバイス全体を設計・製作した。図2に製作した多指ハapticデバイスを示す。

3. 装置の駆動特性

ハapticデバイスの駆動特性を位置計測実験と力覚提示実験によって確認した。Fig. 3に本デバイス使用における指先の可動域と、デバイス先端の可動域との比較を示した。ただし、原点は初期状態の指先位置とした。計測には3次元位置計測が可能なPHANToMを用いた。デバイスの可動域は十分に指先の可動域と一致しているため、違和感のない操作が可能といえる。また、5箇所の姿勢について、ポテンショメータの値から計測した指先位置と、PHANToMによって得られた指先位置を比較し、デバイスによる指先位置の精度を求めた。その結果、誤差は平均0.84mmとなった。指先の固定が不十分であったことが原因に挙げられる。次に、力覚提示の精度を測定する実験を行った。その結果、示指の最大指先力はヒト指とほぼ同様な10Nであることを確認した。また、デバイスの先端に発生する力と、電圧から計算した反力の理論値との比較をした結果、誤差は十分に小さく無視できる値であった。

4. VRシステムを用いた操作性の評価

製作した多指ハapticデバイスの操作性を評価するため、仮想ハンドをコンピュータ画面上で動作させるVRシステムを構築した。仮想ハンドはヒトの手指と同様の機構、形状を有するモデルとした。多指ハapticデバイスの各関節角度を変換して仮想ハンドの関節角度を算出し、ディスプレイ上に描画する。VRシステムを用いて、空間位置決めに関する実験と、デバイスの操作性を評価する実験、仮想物体に接触して反力を提示する実験を行った。Fig. 4に示したように12種類の手の形態に関して位置決め実験を行った結果、手元の変位と視覚フィードバックにより、1自由度が不足しているにもかかわらず、所望の姿勢を容易に作り出すことができた。また、Fig. 5に示すように、動作を5回繰り返せば姿勢が決定するまでの時間が1.3秒からPHANToMとほぼ等しい0.3秒程度に短縮することを確認した。すなわち、短期間の学習により操作時間が短縮することがわかった。また、仮想物体の剛性を判別する試験を行った結果、Fig. 6に示すように、正答率は視覚を遮断すると75%、視覚を伴うと87.5%となった。これより、多指ハapticデバイスによる力覚提示を、視覚フィードバックと併用することにより、物体の剛性を判別できることが確認できた。

5. 結論

変位を知覚する際に視覚情報が体性感覚に対して優位性を有するというヒトの変位知覚機構を利用した、マウス型の多指ハapticデバイスを開発した。また、VRシステムを用いた評価を行い、本デバイスの習熟に時間は要しないことを確認した。次に、操作者が実際に動かす可動域は小さくても、視覚によって擬似的に変位を拡大することによって把持・握りに必要な動作を行えること、自由度を運動させることによって、自由度を減少させても違和感なく所望の作業を行えることを確認した。さらに、視覚と力覚によって正確に仮想物体の剛性を判別できることを確認した。今後は本デバイスを5指ハンドの遠隔操作やバーチャルハンドの操作に用いる予定である。

6. 参考文献

[1] M.A.Srinivasan, G.L.Brauregard, D.L.Brock: The Impact of Visual Information on the Haptic Perception of Stiffness in Virtual Environments, Proceedings of the ASME Dynamic system and control devision