

多点力覚提示機構を有するハプティックデバイスの開発

Development of a Multi-Point Force Feedback Haptic Device

○非 香田祐太（慶大） 正 前野隆司（慶大）

Yuta KODA, Keio University, fr010788@hc.cc.keio.ac.jp
Takashi MAENO, Keio University

Abstract – In this paper, we proposed the haptic device for human hand with simple multi-point force feedback mechanism. The developed device is capable of measuring 4 degrees of freedom of finger joint angles, and providing force feedback on 3 segments of the finger. The device solved the conventional problems of previously developed devices such as complexity of mechanism and control. To develop the force feedback mechanism, we focused on anatomical knowledge and physiology. By applying the unnecessary counter force on dorsal side of the finger, where sensitivity of pressure is relatively low, we alleviated the influence of the counter force. To verify the effectiveness of the developed device, we conducted 3 experiments: angle measurement, force feedback and virtual grasping. The result shows that the developed device has the ability to grasp the object using all 3 segments of the finger.

Key Words: Haptic Device, Multi-Point Force Feedback, Virtual Reality

1. 背景と目的

ハプティックデバイスとは、ヒトと物体が接触した際の触覚や力覚等の情報を操作者に提示する装置である。ハプティックデバイスは、医療やアミューズメント、遠隔操作による極限地での作業など、様々な分野での応用が期待されている。近年、ハプティックデバイスを用いて、ヒトの手指による動作を計測するとともに、把握力等の力を提示する研究が数多く行われている^[1]。しかし、ヒトの手指は自由度が多く動作が複雑なため、デバイスの機構が複雑かつ大型になる。そこで、従来のデバイスの多くは、力覚提示を指先1点のみに行うことにより機構の簡略化を図っている。しかし、ヒトの手指による物体操作の多くは、指と対象物体が多点で接触するため、力覚提示を1点で行う手法では達成可能な作業が限定されてしまう。本研究では、指の各節に対する力覚提示が可能で小型かつ簡単な機構を提案する。また、提案する機構を用いた1指ハプティックデバイスを製作し、仮想空間内における物体把握実験を行うことによって、把握動作における多点力覚提示機構の有効性を検証する。

2. 機構の提案

2.1 力覚提示機構

力覚提示機構の設計を行う上で、力覚提示を行う際に発生する支点反力の影響に着目した。ヒト指の背側の皮膚は、指

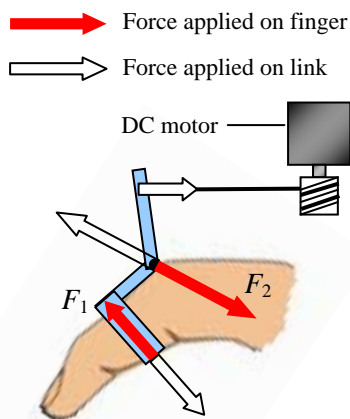


Fig. 1 Force feedback mechanism

腹部と比較して圧覚感度が低ことが知られている。この生理学的知見に基づき、図1に示す機構を提案した。指の各節上に突起の付いたリンクを設置し、突起部に接続したワイヤをDCモータで牽引することによって、指腹部に力 F_1 を提示する。本機構を用いれば、関節角度にかかわらず、常に指腹部に対して垂直な力を提示することができる。また、力覚提示の際に、リンクの支点から指に加わる力 F_2 を圧覚感度の低い関節上の皮膚に与えているため、違和感を緩和できると考えられる。

2.2 関節角度計測機構

各関節角度の計測は、リンクに接続されたワイヤ長の変化をエンコーダにより計測することで行う。角度計測は、屈曲3自由度および側屈1自由度の計4自由度について行う。キャリブレーションを簡易化するため、関節角度とワイヤ長の関係が線形式で近似できるように各リンクの寸法を決定した。図2に、製作したデバイスの外観を示す。本デバイスは、DCモータおよびエンコーダを設置した駆動機構部および指に設置する装着部により構成される。装着部の質量は15.5gであり、指に装着するうえで十分に軽量であるといえる。

3. 評価実験

3.1 特性評価実験

製作したデバイスの特性評価を行うために、関節角度計測および力覚提示実験を行った。関節角度計測では、本デバイスを用いて計測した関節角度と、指側面に標点を付け、撮影した画像をもとに測定した関節角度とを比較した。その結果、

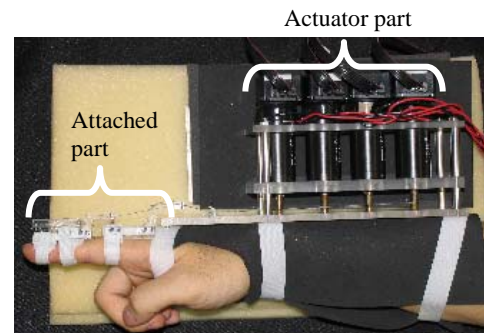


Fig. 2 Developed haptic device

全ての関節において、誤差 3deg 以内で関節角度が計測できることを確認した。力覚提示実験では、図 3 に示すトルク計測装置を製作し、力覚提示の際に各指腹部に提示される力の計測を行った。計測結果とモータへの指令電圧から算出した理論値を比較することによって、力覚提示の精度を測定した。実験の結果、全ての関節を 10deg に固定した際に中節に提示される力の最大誤差は 7.1% となった。以上より、本デバイスを用いて指の姿勢計測および各節に対する力覚を提示できることを確認した。

3.2 物体把握実験

物体把握における多点力覚提示の有効性を検証するために、仮想空間内に構築したフィンガモデルを用いた物体把握実験を行った。フィンガモデルはヒトの示指と同等の機構および形状を有するものとした。また、対象物体として弾性体の球を用いた。フィンガが対象物体と接触した際、フィンガの押し込み量に比例した力を指腹部に提示する。本デバイスを用いて、末節のみに対して力覚提示を行った場合と、各節に対して力覚提示を行った場合において、対象物体の把握を行うための作業に要する時間、各指節の位置、および対象物体に加わる力を計測した。結果を図 4 に示す。図 4 より、末節のみ力覚提示を行った際は、把握に要した時間が約 3.5 秒で

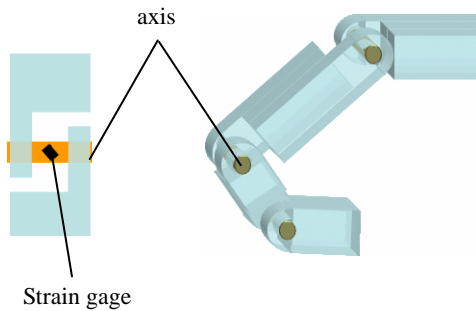


Fig. 3 Torque Sensor

あるのに対して、指の各節に対して力覚提示を行った場合には、約 1.2 秒まで短縮することを確認した。また、末節のみに力覚提示を行った際には、物体に対して約 10N の力を基節と中節が加えているのに対して、各節に対して力覚提示を行った場合には、各節が 2N 以内の力を物体に加えた状態で把握を行っていることを確認した。したがって、指の各節に対して力覚を提示することにより、余分な力を加えることなく、より短時間で物体把握を行うことが可能であるといえる。また、指の背側の皮膚に加わる支点反力の影響について各被験者に質問した。その結果、すべての被験者から、支点反力の影響はデバイスの操作を行う際に気にならない、という回答が得られた。また、リンクの支点が関節上の皮膚以外の部位に設置されると違和感を得る、という回答も得られた。以上より、関節上に支点を設けることによって支点反力によって生じる違和感を減少できることを確認した。

4. 結論

指の各節に対する力覚提示が可能で小型かつ簡単な機構を提案した。提案した機構を用いた 1 指ハプティックデバイスを製作し、仮想空間内における物体把握実験を行った。その結果、各節に対して力覚を提示することにより、末節のみに力覚を提示する場合に比べ、把握に要する時間および各節が物体に加える力が減少することを確認した。また、心理物理実験より、関節上の皮膚に加わる支点反力の操作性への影響は極めて小さいことを確認した。以上より、提案した力覚提示機構および物体把握における多点力覚提示の有効性を示した。今後はフレキシブルワイヤを用いて装着部と駆動機構部を分離することにより、デバイスの軽量化を行う。また、本デバイスを多指に拡張し、5 指ロボットハンドを用いたマスター・スレーブシステムを構築する予定である。

5. 参考文献

- [1] 岩田洋夫:“ハプティックフェース”, 計測と制御, Vol.38, No.6, pp.391-396, 1999

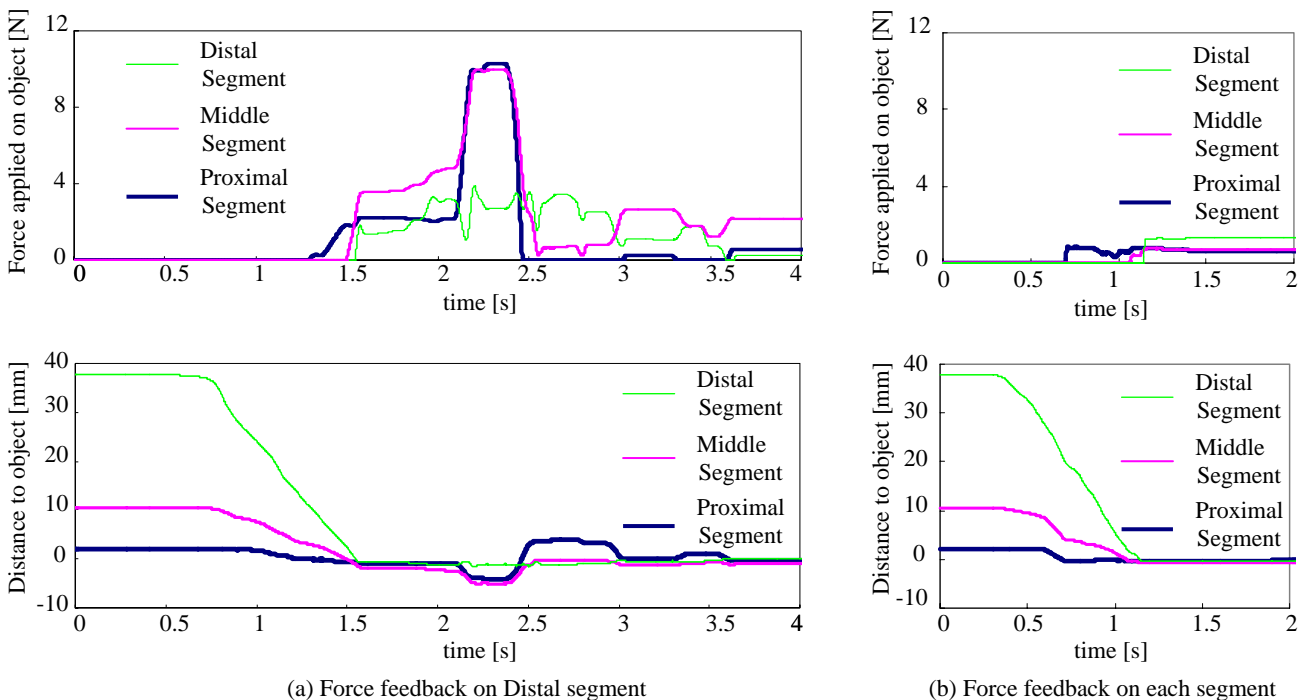


Fig. 4 Virtual Grasping Experiment