2 本指マイクロハンドの直観的操作を目的とした パラレルリンク・ハプティックインタフェースの開発

Development of Parallel-link Haptic Interface for two-finger micro-manipulator

○准 神山 和人 (阪大) 准 小嶋 勝 (阪大) 准 洞出 光洋 (阪大)
正 前 泰志 (阪大) 正 新井 健生 (阪大)

Kazuto KAMIYAMA, Osaka University, kamiyama@arai-lab.sys.es.osaka-u.ac.jp
Masaru KOJIMA, Osaka University,
Mitsuhiro HORADE, Osaka University,
Yasushi MAE, Osaka University,
Tatsuo ARAI, Osaka University

Intuitive operating of the two-finger micro-manipulator used for handling cells requires a feasible interface. We developed a new haptic interface that has sufficient number of DOF for using the micro-manipulator. The haptic interface satisfies following three properties: 1. a parallel link mechanism for precise manipulation, 2. the two-finger of micro-manipulation is regarded as a thumb and an index finger for intuitive handling, 3. the compact sized interface used with a microscope. The micro-manipulator equips a force sensor, so grasping force is able to be felt through the interface. The developed interface is composed of two asymmetrical parallel-link structures for fulfilling the properties.

Key Words: Robotics, Micro-Manipulation, Haptics, Interface

1. はじめに

iPS 細胞をはじめとする再生医療に関する研究への期待が近年高まっており、これらの研究においては細胞の培養・操作の作業が必要とされる。細胞は主に群として操作されるが、単体細胞の操作に対する要求も存在する。単体細胞操作により特性計測を行う、任意形状に配置する、などである。これらの要求に対し MEMS 技術やロボティクスの技術を利用し、マイクロ流路やマイクロハンドの研究が進められている。我々はこれまでにパラレルリンク機構を採用した 2 本指マイクロハンドの開発を行っており(図 1)、数 μm オーダーの細胞操作や力センサによる硬さ計測などを行ってきた[1]。

一方、VR やテレオペレーションにおける研究では、従来視覚情報の遠隔伝達が主であったが、近年ではより現実感や操作性を高めるため、力触覚の遠隔伝達に関する研究が広く行われるようになってきている。力触覚伝達に関する研究のひとつとして、ロボティクス技術を応用し手術シミュレータや物体の遠隔操作のハプティックインタフェースの研究が進められている。基本構造として、多数のモータなどを主とする動力源を有し、エンドエフェクタと呼ばれる人の手指との接触部に対し 3 次元の力の入力や提示を行う。

マイクロハンドの操作は現在のところ方向キーやジョイスティックを用いたものが主であるが、単純な形であるため自由に操作するためには時間をかけ熟練する必要がある。また、位置入力を行うのみであるため、細胞把持時の適正な力が不明な状態となり、過負荷による細胞損傷やマニピュレータの破損、細胞を把持し損なう、などが起こる。このような問題に対し、把持力の操作者へのフィードバックや直観的な位置や力の操作を目標とし、ハプティックインタフェースのマイクロハンドへ適用する。

2. マイクロハンド操作用 ハプティックインタフェース

2.1 微細操作に要求される条件

エンドエフェクタの形状や操作可能範囲、動力部からエン

ドエフェクタへ位置や力を伝えるための機構などに様々な手法・形状が提案されてきている。大きくはシリアルリンク機構、パラレルリンク機構と呼ばれる機構のどちらかの機構を持つ[2]。シリアルリンク機構では可動部を直列に繋げた構造をしており、広い可動範囲の利点を持つが、誤差が和で集積されるためエンドエフェクタの精度が低くなる傾向を持つ。パラレルリンク機構では同形状可動部を並列にエンドエフェクタに接続する構造を持ち、高いエンドエフェクタの精度が得られるが可動範囲が狭い。

既存研究や製品としてのハプティックインタフェースは汎用性を求めたものが多く、エンドエフェクタが 1 つでグリップ状のもの、3 本指や 5 本指への力触覚提示を行う多指型が主となっている[3]。エンドエフェクタがグリップ状では二指マニピュレータと形状が大きく異なり、操作性の向上が見込めない。また多指型の場合、シリアルリンク機構を用いたものが多く、精度の高い操作力が得られず細胞の適切な把持が行えない。更に多指型の場合は制御すべき自由度が多く、全体

Fig. 1: Two-finger Micro-manipulator for handling cells.

機構が大きくなりすぎてしまい、顕微鏡下などでの作業が想定される細胞操作には不向きである。これらの点から人間の二指である親指と人差し指をマイクロハンドの二指に見立てた機構のハプティックインタフェースを提案する。

以上より、下記の 3 点がマイクロハンド操作用インタフェースに必要な条件となる。

- A) 高い操作の精度を得るためのパラレルリンク機構
- B) 人の手の二指をマイクロハンドの二指に見立てた直観的なエンドエフェクタ配置
- C) 顕微鏡下などでの操作を想定したコンパクトな全体のサイズ

2.2 インタフェースの設計

Fig. 2 に設計を行ったインタフェースの等角投影図を示す。運用時はこれを横に倒した姿勢で用いる。非対称・並進 3 自由度パラレルリンクを 2 つ並列させた構造を持っており、図中赤色で示している部位がエンドエフェクタ（把持部）となりそれぞれの枠中に親指と人差し指を入れて操作する。青色と灰色の部位がリンクであり、通常、リンクはエンドエフェクタから外側に向けて「く」の字に折れ曲がる構造になるが、2 つのパラレルリンクを近接して並列させるためリンクの干渉が発生する。これを回避するために一部内側に折れ曲がる構造となっている。

Fig.3 に試作したインタフェースを示す。基部に 6 個の DC モータが接続されており、モータドライバを経由し、PC から制御する。十分なバックドライバビリティを確保するため、ギア比は 20:1 とした。また、モータの位置計測には 300PPR のエンコーダを用い、0.015deg 単位で位置が計測可能となっている。

2.1 インタフェースを含む全体構成

Fig. 4 に全体構成を示す。マイクロハンドの操作対象は顕微鏡を用いた直接の観察される、もしくはカメラを通した画像情報として観察される。マイクロハンドには力センサが搭載されており、細胞等を把持した際の力情報を得られる形となっている。計測された力情報及びマイクロハンド位置情報は操作者へハプティックインタフェースを通して伝えられる。また操作者からの位置・力入力はインタフェースを通し、マイクロハンドへと伝えられる。

3. おわりに

パラレルリンク機構を採用した高精度・コンパクトなハプティックインタフェースの提案・試作を行った。今後は、Fig.4 に示すシステムを通し、細胞マニピュレーション実験を行っていく。マイクロハンド操作系の開発は操作者による直接の操作のためだけでなく、その動作を記録解析することで細胞配置の自動化などに応用できると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、科研費（23106005）の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] H. Yabugaki, K. Ohara, M. Kojima, Y. Mae, T. Tanikawa, T. Arai, "Automated Stable Grasping with Two-Fingered Microhand using Micro Force Sensor," in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom., Karlsruhe, Germany, pp. 2756-2761, 2012.

- [2] 荒田純平, "パラレルメカニズムのハプティクス応用," 日本ロボット学会誌 vol. 30, no. 2, pp.144-147, 2012.
- [3] Y. Tsumaki, H. Naruse, D. N. Nenchev and M. Uchiyama, Design of a Compact 6-DOF Haptic Interface, Proceedings 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Leaven, Belgium, pp. 2580-2585, 1998.

Fig. 2: Design of the haptic interface.

Fig.3: Prototype of the parallel-link interface

Fig. 4: whole system of the micro-manipulator and the haptic interface.