

トレイグジスタンスの研究 (第 48 報)

光学式触覚センサ情報を提示するマスタハンド

Study on Telexistence (XL)
 Master Hand for Displaying Vision-based Tactile Sensor Information

佐藤克成, 神山和人, 梶本裕之, 川上直樹, 館暉
 Katsunari SATO, Kazuto KAMIYAMA, Hiroyuki KAJIMOTO,
 Naoki KAWAKAMI and Susumu TACHI

東京大学 情報理工学系研究科
 (〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, Katsunari_Sato@ipc.i.u-tokyo.ac.jp,
 {kamiyama, kaji, kawakami, tachi}@star.t.u-tokyo.ac.jp)

Abstract: Transmittance of tactile information is essential to telexistence. We have developed a slave robot hand with vision-based tactile sensor that could measure the distribution of force vectors. However, there was no master hand system to display this information. We developed a master hand system with electrotactile display that could display the information of vision-based tactile sensor.

Key Words: Telexistence, Master Hand, Vision-Based Tactile Sensor, Electrotactile Display

1. はじめに

トレイグジスタンス技術は、遠隔地にあるロボットをあたかもその環境にいるかのような感覚で操作することを可能にする。この技術において、触覚情報は視覚や聴覚情報と同等に重要な要素である。遠隔手術や極限空間作業など物体との接触を伴う作業を行う場合、触覚情報の提示は作業効率に大きく影響する。

触覚情報の伝達を行う場合、人間が触覚を知覚するメカニズムを考慮しなければならない。触覚は、その情報を取得する受容器から大きく 2 種類に分けられる(図 1)。1 つは固有感覚受容器から取得される力覚情報である。固有感覚受容器としては筋紡錘やゴルジ腱器官などがあり、筋肉、腱、関節などに存在する。もう 1 つは、皮膚表面から深さ数 mm に存在する機械受容器により取得される皮膚感覚情報である。機械受容器にはメルケル触盤、マイスナー小体、パチニ小体、ルフィニ終末の 4 種類が存在し、それぞれ異なる皮膚感覚情報に対応する。メルケル触盤は圧力情報、マイスナー小体は低周波振動情報、パチニ小体は高周波振動情報、ルフィニは変形情報を取得する。

このような人間の知覚特性から、触覚情報を伝達する場合、力覚と皮膚感覚に分けて行うことが妥当であると考えられる。しかし、従来の触覚のマスタスレーブハンドシステムの多くは、力覚情報のやり取りのみを行っているものになっている[1][2]。正確な触覚情報の伝達を実現するためには、皮膚感覚の情報伝達を同時に行うべきである。

本研究では、力覚情報と皮膚感覚情報の両方を伝達できる、ロボットハンドを用いたマスタスレーブシステムを構築した。システムの構築には、2 種類の触覚情報を取得できるセンサを取り付けたスレーブハンドと、電気刺激装置を搭載したマスタハンドを使用した。これによって、従来は操作者に対し力覚情報のみを提示していたものが、皮膚感覚を含んだ触覚情報を提示可能なものとなる。

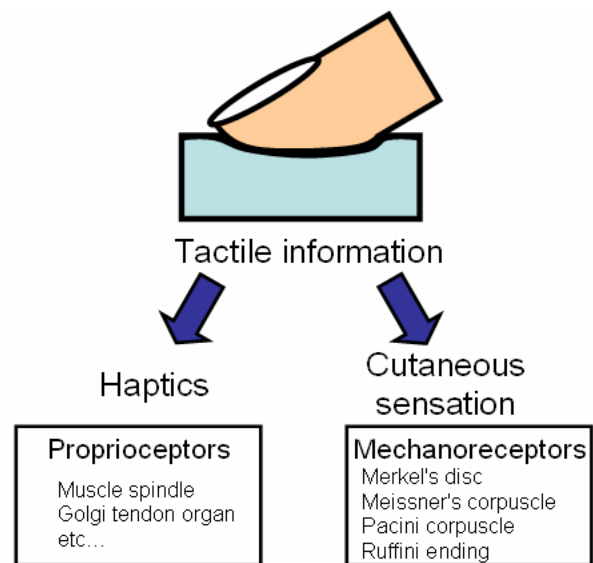


図 1 触覚情報の分類

2. 触覚のテレイグジスタンス

2.1 システムの要件

触覚のテレイグジスタンスシステムは、センサにより触覚情報を取得するスレーブハンドシステムと、その情報を提示するマスタハンドシステムから構成される。正確な触覚情報の伝達を実現するために、各システムに求められる性能を以下にまとめる。

2.1.1 スレーブハンドシステム

スレーブハンドは、人間の手の代わりとなり作業を行うロボットハンドである。人間の手の複雑な動作を再現し、かつ操作者が違和感なく作業を行うためには、スレーブハンドの形状・大きさ・機構・動作範囲は人間の手と同等であることが望まれる。

また、触覚情報を正確に取得するためには、人間の手と同等の弾性を持つことが必要である。触覚のテレイグジスタンスでは、視覚や聴覚とは異なり対象物体との接触を伴う。物体と手が接触する場合、それらの間には相互作用力が発生し、物体や手に変形が生じる（図 2）。正確な触覚情報の伝達を行うためには、この相互作用力をスレーブハンド側で再現しなければならない。

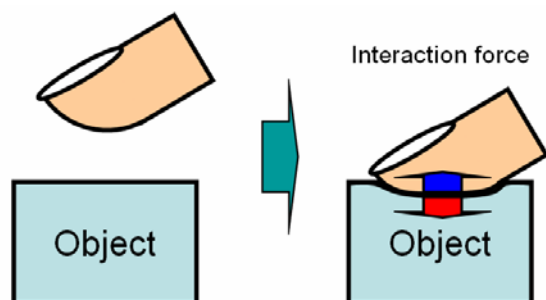


図 2 相互作用力による変形

さらに触覚センサは、人間が触覚情報を取得する部位に相当する位置に配置されるべきである。操作者の指先に提示する触覚情報をスレーブの手首で取得しても、正確な触覚伝達を行ったとは言えない。力覚であれ皮膚感覚であれ、提示する触覚情報は、提示する部位に相当するスレーブの位置で取得しなければならない。

以上により、スレーブシステムとしては、人間の手とあらゆる点で同等の構造を持つものが求められる。

2.1.2 マスタハンドシステム

マスタハンドシステムでは、実際に作業している感覚を操作者に与える必要がある。理想的には、マスタハンドは操作者の手の動作をそのままスレーブハンドに反映すべきである。記号的にスレーブを操作するマスタや、操作者の姿勢や動作をスレーブに反映できないマスタでは、操作感が損なわれてしまう。操作者の動作を正確に反映するためには、マスタの動作範囲は操作者の動作範囲を包含しなければならない。

スレーブが得た触覚情報を正確に提示するためには、人間の知覚特性に基づき、力覚情報と皮膚感覚情報を同時に提示する必要がある。力覚情報の提示に関しては、これまで多くの研究が行われてきた。その結果、従来のマスタハンドシステムによる力覚提示は、非常に高度なものになっている。2種類の触覚情報の同時提示は、このマスタハンドシステムに皮膚感覚提示装置を搭載することで実現できると考えられる。その際、皮膚感覚提示装置としては小型かつ軽量であることが望まれる。また、皮膚感覚の提示は指先に対して行うため、皮膚感覚提示装置は指先の腹に接触していなければならない。これを満足するたすためには、この項の初めに述べたマスタハンドの指先の動作範囲は、特に指先腹の動作範囲を、姿勢を含めて包含している必要がある。

以上から、マスタシステムとしては次の3つの性能が求められる。

- (1) 操作者の指先腹の動作範囲を、姿勢を含め包含する
- (2) 力覚提示が行える
- (3) 皮膚感覚提示装置は小型で軽量

2.2 関連研究

力覚情報と皮膚感覚情報を同時に提示する試みは過去にも行われている[3][4]。

池井らは、力覚提示装置 PHANTOM にピンマトリクス of 触覚提示装置を搭載した、Texture Explorer を開発した[3]。このシステムを用いて、対象物体表面をなぞったときの触覚を提示している。ただし、このシステムではパッチャルに生成された触覚情報を提示しており、スレーブが得た触覚情報の伝達は行っていない。

触覚情報の伝達に関する研究は、Methil らが行っている[4]。この研究で開発された遠隔触診システムは、スレーブのセンサで得られた情報を、力覚提示装置と電気刺激装置を用いて指先に提示している。しかし、このシステムでは作業が対象を3本指で押す動作に限られている。それに伴い、伝達する触覚情報も限定されたものになっている。また、皮膚感覚情報を取得するセンサと力覚情報を取得するセンサの位置が異なるため、指先への正確な触覚伝達を実現しているとは言えない。

3. 使用したデバイス

本研究では、スレーブにおける触覚情報の取得に関して、すでに我々が開発した光学式触覚センサを用いることにした[5][6]。本センサでは、スレーブハンドの指先表面に加わる力のベクトル分布の計測が可能である。スレーブハンドには合計15自由度の五指ハンドを用いた[7]。

マスタハンドとしてはスレーブと同じロボットハンドを使用した。力覚はマスタスレーブ機構のバイラテラル制御により提示する。皮膚感覚の提示装置については、機械式[8]や電気式[9]などが存在するが、小型で軽量という特徴から電気式の装置を用いた。

3.1 光学式触覚センサ

光学式触覚センサは、内部に球状のマーカークラスタが格子状に配置されている透明弾性体と、マーカークラスタを撮影する CCD カメラから構成される (図 3)。透明弾性体に力が加わった際の変形情報をカメラ画像中のマーカークラスタの移動として捉え、変形情報から弾性体表面に加わる力のベクトル分布を計算する。

対象との接触部が弾性体でできているため、人間の指が物体に触れたときに近い相互作用力が発生する。そのため、このセンサが得た情報により、実際に対象に触れたときと同等の感覚を提示することが可能となる。さらに、構成が単純であるため小型化が容易である。

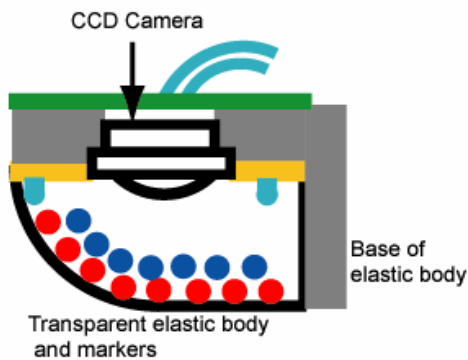


図 3 光学式触覚センサ [6]

3.2 電気刺激装置

電気刺激装置は、図 4 に示すように 3×5 点のピンマトリクス電極で構成されている。電極中心間距離は 2.5mm、電極直径は 1.25mm である。皮膚表面から内部に電流を流し、機械受容器に接続された神経を直接活動させることで触覚情報を提示する。

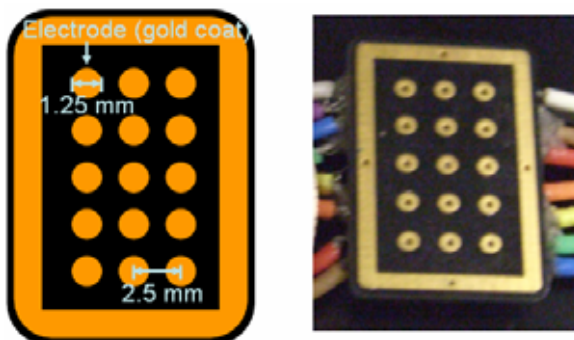


図 4 電気刺激装置電極部。(左) 模式図。(右) 実物

3.3 ロボットハンド

本システムで用いたロボットハンドは、人間の手を模して造られたものであり、多様な手の姿勢を再現することができる (図 5)。大きさも人間の手に近く、さらに先端関

節を前述の光学式触覚センサに置換することができる。これは、人間の手に近い構造という、スレーブハンドとしての条件を満たしたものになっている。

また、指先は独立した自由度を持ち、その上部に電気刺激装置を配置できる。これにより、指の腹と電気刺激装置の接触を保った状態で所望の方向への力覚提示が可能である。以上のことから 2 章で検討した、マスタハンドの要求性能を持つと言える。

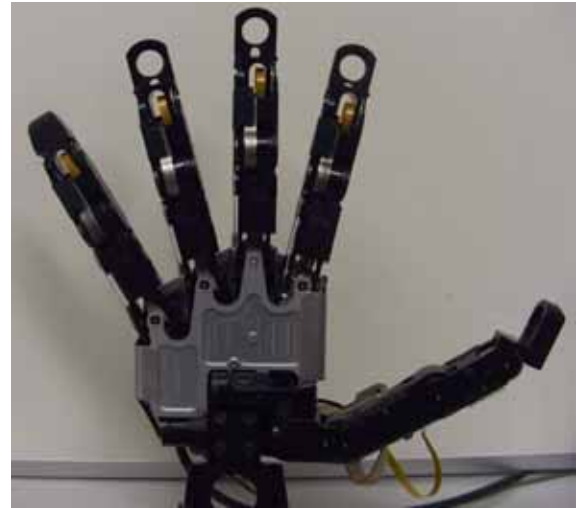


図 5 今回用いたロボットハンド [7]

4. テレイグジスタンスシステムの構成

触覚のテレイグジスタンスシステムとして、ロボットハンドのマスタスレーブシステムを構築した。

4.1 システム構成

マスタとスレーブの構成を図 6 に示す。ロボットハンド先端関節を光学式触覚センサに置換している。光学式触覚センサは指先形状の弾性体部と小型 CCD カメラから構成される。マスタハンドの各指上面には、力センサと電気刺激装置を取り付ける。力センサの情報はバイラテラル制御に用いた。

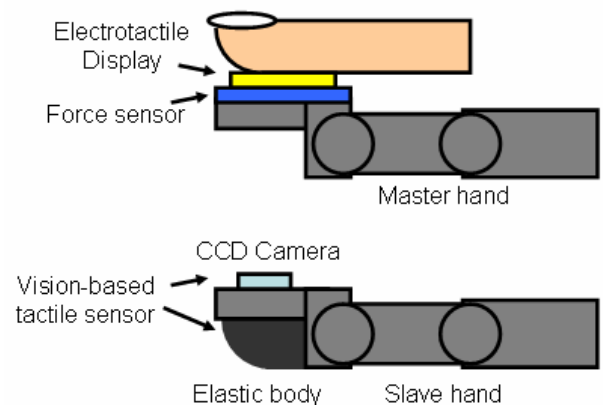


図 6 ロボットハンドを用いた双対な指先型マスタスレーブシステム

4.2 制御情報と触覚情報の伝達

マスタスレーブシステムの制御ループおよび触覚情報の伝達の流れを図 7 に示す。青色の実線が制御情報を，赤色の破線が触覚情報の伝達を表す。

マスタとスレーブのロボットハンドは，内部のエンコーダにより得られる位置・速度情報と，マスタ側の力センサおよびスレーブ側の触覚センサにより得られるカベクトル情報に基づいて，バイラテラル制御を行う。触覚センサが得た情報は，合計したカベクトルと力分布に分けられそれぞれ提示される。

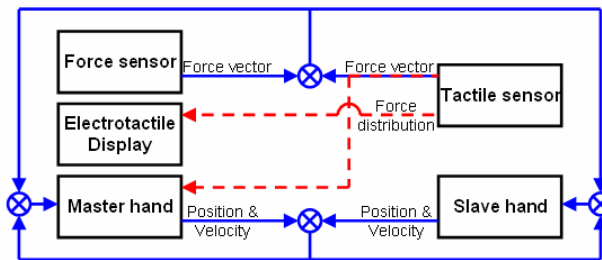


図 7 制御情報と触覚情報の伝達

4.3 システムの構築

予備実験システムとして，ロボットハンド一台で指一本のマスタスレーブシステムを構築した（図 8）。今回は中指をマスタ，人差し指をスレーブとした。力センサとして，1軸力センサの FlexiForce（ニッタ製）を用いた。このため，力のバイラテラル制御は指先上下の1方向に限定されている。実際には3軸方向の力を測定する必要があるため，将来的にはこの力センサを3軸力センサ，もしくは光学式触覚センサに置き換える。

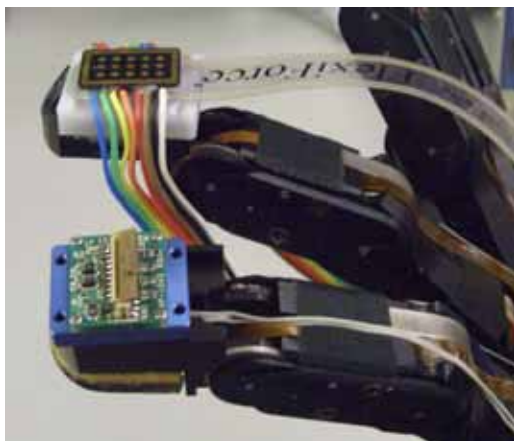


図 8 (上)電気刺激装置を搭載したマスタハンド。
(下)光学式触覚センサを搭載したスレーブハンド

5. おわりに

本稿では，力覚情報と皮膚感覚情報を同時に伝達できる，指1本のマスタスレーブシステムを開発した。このシステムでは，光学式触覚センサ付きスレーブハンドが得た触覚情報を，電気刺激装置を搭載したマスタハンドにより提示する。

今後はこのシステムを用いて，スレーブ側で実際に得られたさまざまな触覚情報を提示していく。

参考文献

- [1]H. Iwata: Force Display for Virtual Worlds, Proc. Of International Conference on Artificial reality and Telexistence, pp. 111-116, 1991.
- [2]藤本英雄, 佐野明人, 小崎貴史, 西恒介, 宮西英樹: 力触覚を考慮した多指ハンドによる遠隔把持, 計測自動制御学会第2回 SI 部門学術講演会予稿集, 2001.
- [3]池井寧, 白鳥雅史, 堀江宏像: “触覚力覚提示システム TextureExplorer に関する研究”, 日本バーチャルリアリティ学会第7回大会論文集, pp. 503-506, 2002.
- [4]N. S. Methil, Y. Shen, D. zhu, C. A.Pomeroy, R. Mukherjee, N. Xi, and M. Mutka: “Development of Supermedia Interface for Teliagnosis of Breast Pathology”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3911-3916, 2006.
- [5]神山和人, 梶本裕之, 稲見昌彦, 川上直樹, 館暉: 触覚カメラ - 弾性を持った光学式 3次元触覚センサの作成 -, 電気学会論文誌 E, Vol. 123, No. 1, pp. 16-22, 2003.
- [6]Kamiyama, Mizota, Vlack, Kajimoto, Kawakami, Tachi: “GelForce: Applying traction field sensation to Robot Finger”, 1st Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (World Haptics), 2005.
- [7]K. Hoshino, Y. Kawabuchi: “Pinching at finger tips for humanoid robot hand”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 17, No. 6, pp. 655-663, 2005.
- [8]R.Kawamura, H.Yano, and H.Iwata: “Development of surface type haptic interface for presentation of rigidity distribution”, Proceedings of the Virtual Reality Society of Japan, 5, pp. 51-54, 2000.
- [9]H.Kajimoto, N.Kawakami, T.Maeda, and S.Tachi: “Tactile Feeling Display using Functional Electrical Stimulation”, The Ninth International Conference on Artificial reality and Telexistence, pp. 107-114, 1999.