

人間の巧みな両手運動を可能にする高臨場感ハプティックインターフェイス の研究開発 (091706002)

Research and Development on a haptic interface enabling dexterous bimanual manipulation

研究代表者

川崎 晴久 岐阜大学

Haruhisa Kawasaki, Gifu University

研究分担者

毛利 哲也[†] 遠藤 孝浩[†]

Tetsuya Mouri[†] Takahiro Endo[†]

[†]岐阜大学

[†]Gifu University

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

概要

人間が遠隔地や仮想環境における両手指を使った繊細・精巧・巧みな作業を行える超臨場感コミュニケーション技術が確立されれば、自動化ニーズの要望が高い製造業分野における組立・物流行程の自動化、医療分野での遠隔触診を含んだ遠隔診断、極限作業分野における遠隔操縦など、人間にしかできなかった巧みな動作が必要な様々な分野での応用が期待できる。そこで本提案課題では、人間の両手指に 3 次元の力覚を高精度に提示する側面設置型の両腕多指ハプティックインターフェイスと遠隔操作/通信技術の研究開発した。

Abstract

A haptic communication technology enabling dexterous bimanual manipulation has a great potential for many applications such as a direct teaching of a bimanual robot in the manufacturing industry, and a remote medical care including remote palpation. For establishing the haptic communication technology, we developed a side-faced-type multi-fingered bimanual haptic interface which allows us to manipulate a small virtual object with multiple fingers, a haptic data communication technology, and teleoperation technology.

1. まえがき

遠隔地や仮想環境における人や物とのインタラクションには触力覚の通信が重要であり、これを実現するための入出力デバイスであるハプティックインターフェイスは、次世代通信の大きな課題である。本課題では、人間が遠隔地や仮想環境における両手指を使った繊細・精巧・巧みな作業をおこなえる超臨場感コミュニケーション技術の確立を目指し、基礎技術として、人間の両手指に 3 次元の任意の力覚を高精度に提示する両腕多指ハプティックインターフェイスの設計、データ量低減化や技能伝達法を含むハプティックデータ通信技術、人間のような手指運動が可能な 5 本指ヒューマノイドロボットハンドの遠隔操作技術を研究開発した。これまで人間にしかできなかった巧みな作業をロボット等に教示/指示できるハプティックインターフェイスが開発されれば、自動化ニーズの要望が高い製造業分野における組立・物流行程の自動化、医療分野での遠隔触診を含んだ遠隔診断、極限作業分野における遠隔操縦など様々な分野において応用が期待できる。

2. 研究内容及び成果

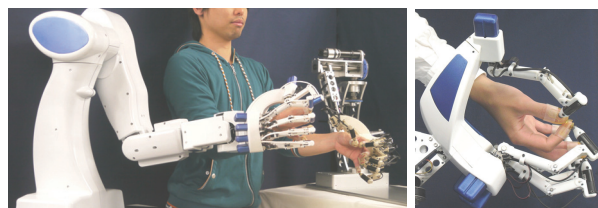
2. 1 両腕多指ハプティックインターフェイス

人間の 5 本指に 3 次元の力覚を提示しつつ、既存のデバイスでは実現が極めて困難な、小物体の把持操りを可能とする、両腕多指ハプティックインターフェイスの開発を目的とした。小さい仮想物体の把持操りが可能となるよう、操作者の手を包み込むかたちでハプティックインターフェイスを設置する側面設置型多指ハプティックインターフェイスという概念を提案し、研究開発を行った。特に、操作者の操作空間とハプティックインターフェイスの操

作空間の積空間を最大とする最適設計法を確立した。開発した側面設置型ハプティックインターフェイスを図 1 に示す。本デバイスは 4 関節 3 自由度の触覚指 5 本および 6 自由度のアームから構成される。本デバイスにより、1 辺が 1cm という小物体の把持操りを達成した。なお工業デザインの観点から、ハプティックインターフェイスの外観には、操作者にとってやさしい感じを与えられる R 曲面を多用し、凹凸を無くし全体が丸みを帯びた形状とした。

また、Power PC と FPGA を用いた、浮動小数点演算機能付き制御基板を開発し、ハプティックインターフェイスの力提示制御の制御ループを、10kHz の高更新率とした。壁へのステップ応答では、制御ループが 1kHz の場合に比べ、力誤差が半分（絶対値誤差平均 0.04N）という高精度化を達成した。

なお両手を用いて物体を操作する場合、ハプティックインターフェイスの両腕が交差して衝突する危険性がある。他方、人間と直接結びつくデバイスでは、操作者に不安を与えることなく、かつ安全である必要がある。この観点から、操作者の心理（操作者が指先を少し動かしただけでもハプティックインターフェイスのアーム部が大きく動く



(a) 全体像

(b) 操作者とデバイスの接続

図 1. 側面設置型両腕多指ハプティックインターフェイス

と、操作者は不安を感じる)を考慮した可操作性最適化制御法に、衝突回避制御法を加えた制御法を新たに開発した。

2. 2 ハプティックデータ通信技術

手先を使って作業をする場合、人間が手先で感じる力は、方向ベクトルとその大きさで表される。そこで、人間の指先での、力の大きさおよび方向に関する知覚特性を計測した。力の大きさに関する知覚特性は、提示される力の方向によらず、ほぼ同じであり、力の方向は、提示される力の角度によって違いがあることが示された。また、計測した知覚能力を用いた力覚データの通信量低減化として、技能伝達法における教示情報の低減化を達成した。データ解析による定量的評価より、提示データ量が最大で 1/8 に低減されており、目標のデータ低減量 1/5 を大幅に更新できた。

また、ハプティックデータの提示問題として、熟練者の作業や技能を初学者に伝達するための技能伝達法を開発した。特に、没入型 3D ディスプレイを開発し、熟練者の手の映像と力覚提示を組み合わせた技能伝達システムを開発した。これにより、5 本の指先における力の大きさ、方向、位置情報の技能伝達を達成した。他方、遠隔地間で手指の力や位置情報を双方向でやりとりする遠隔型技能伝達方式を確立し、それに基づく遠隔技能伝達システムを開発した。

2. 3 遠隔操作技術

災害現場、水中等における無人化施行では、重機やロボットの遠隔操作が行われている。しかし、その多くの操縦インターフェイスはジョイスティック等であり、遠隔地にあるロボットはグリッパー等により、単純な形状の物体を把持できるものの、人間のような任意形状の物体を把持するなどの繊細な動作を行わせることはできない。そこで、5 指ハプティックインターフェイスを用いた、5 本指ロボットハンドの遠隔操作システムを開発し、球状物体の把持・操り操作が達成できることを示した。なお、高臨場感通信においては、遅延を考慮したハプティックデータ通信の検討は必須である。そこで、ネットワークを介した遠隔作業において通信遅延の耐性を向上する手法を提案した。

他方、医療における触診訓練システムのプロトタイプ開発を目指し、GPU および TLED に基づく有限要素法を用い、実時間柔軟物変形反力計算アルゴリズムを開発し、これを用いた触診訓練システムを開発した。また、高出力ロボットハンドと軽量ロボットハンドを組み合わせた両手ロボットハンドと側面設置型両腕多指ハプティックインターフェイスを用い、両手ロボットハンドの遠隔操作システムを構築した。今後、側面設置型両腕多指ハプティックインターフェイスおよび生体モデルのハプティックレンダリングと併せ、柔軟物体の遠隔操作の検討を実施する。

また、人間型両腕ハンドロボットへの教示技術の確立を目指し、2 台の多指ハプティックインターフェイスを用いた両腕ハプティックインターフェイスを構成し、VR 環境で教示が行える「両腕 VR ロボット教示システム」の基本技術を開発した。人間の実演動作から動作意図を解析しロボットへのタスクと基本動作を導出し、その結果からロボットコマンドを自動生成する。生成したコマンドの有効性を仮想環境上で確認し、確認後にロボット教示し、ロボットを動作させる。動作意図解析では、片手操作と両腕操作を認識し、両腕操作では物体と両手の接触状態と把持状態から操作者の意図を解析する方法を提案し、その有効性が確認できた。本システムは、複雑な作業に対しても機能追加の拡張性がある動作意図解析システムとしている。

3. むすび

本課題では、側面設置型両腕多指ハプティックインター

フェイスという独創的なデバイスを研究開発した。本デバイスは人間の 5 指に 3 次元の力覚を提示でき、これまでのハプティックインターフェイスでは実現が困難だった小さい物体の把持操り操作を可能とする。このため本デバイスは、人間が遠隔地や仮想環境における両手指を使った繊細・精巧・巧みな作業をおこなえる超臨場感コミュニケーション技術の確立へ大きく貢献すると考える。

さらに、人間の指先での力に関する知覚特性に基づく教示データ量低減化、遠隔技能伝達システム、5 本指ヒューマノイドロボットハンドの遠隔操作技術を研究開発した。これにより、人間の巧みな両手運動が必要だった製造業分野における両腕ロボットへの直接教示、遠隔触診を含めた遠隔医療、両手を用いた自然な操縦が可能な遠隔極限作業等と広範囲に応用が期待でき、力覚を利用する通信の普及、ひいてはライフイノベーションの推進に大きく貢献する。

【誌上発表リスト】

- [1]H. Aoyama, H. Kawasaki, T. Endo, S. Nakagawa, “Design and Simulation of a Side-Faced-Type Multi-Fingered Haptic Interface”, Proc. of IEEE IECON2011, pp.3162-3167 (2011.11.7)
- [2]T. Endo, H. Kawasaki, T. Mouri, Y. Ishigure, H. Shimomura, M. Matsumura, K. Koketsu, “Five-Fingered Haptic Interface Robot: HIRO III”, IEEE Trans. on Haptics Vol.4 No.1 pp14-27 (2011.3.10)
- [3]H. Kawasaki, Y. Ohtuka, S. Koide, T. Mouri, “Perception and Haptic Rendering of Friction Moments”, IEEE Trans. on Haptics Vol.4 No.1 pp28-38 (2011.3.10)

【申請特許リスト】

- [1]川崎晴久、毛利哲也、原達也、下村尚之、人間型電動ハンド、日本、特願 2010-214578、2010 年 9 月 24 日
- [2]川崎晴久、遠藤孝浩、毛利哲也、青山尚史、側面設置型力覚提示インターフェイス、日本、特願 2010-281856、2010 年 12 月 17 日
- [3]川崎晴久、遠藤孝浩、毛利哲也、青山尚史、側面設置型力覚提示インターフェイス、申請国 PCT、出願番号 PCT/JP2011/077660、2011 年 11 月 30 日

【登録特許リスト】

- [1]川崎晴久、毛利哲也、石樽康彦、下村尚之、触覚インターフェイス、申請国 日本、申請 平成 18 年 5 月 25 日、登録 平成 23 年 12 月 9 日、特許第 04877937 号

【受賞リスト】

- [1]川崎晴久、石樽康彦、松村雅人、第 8 回産学官連携功労者表彰『総務大臣賞』、“ネットワーク触覚インターフェイスの実用化”、2010 年 6 月 5 日
- [2]川崎晴久、毛利哲也、伊藤聡、第二十五回小野木科学技術振興財団表彰「最優秀賞」、「触覚インターフェイス及びその制御方法」、2010 年 11 月 1 日
- [3]T. Endo, S. Tanimura, H. Kawasaki, IEEE/SICE SII2011 Young Author Award, “Development of a Tweezers-type Device for a Multi-fingered Haptic Interface Robot”, 2011 年 12 月 21 日

【報道発表リスト】

- [1]“3D 画像にタッチ”、東京テレビ「ワールドビジネスサテライト トレンドたまご」、2010 年 6 月 16 日
- [2]HIRO III, IEEE Trans. on Haptics, Vol.4, No.1, 2011
- [3]5 指タイプの力覚提示ロボ披露、日刊工業新聞、平成 24 年 6 月 22 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- [1]<http://robo.mech.gifu-u.ac.jp/>