

# ネットワーク触覚インターフェイスの研究開発 (052306001)

## Research and Development on Network Haptic Interface

### 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<sup>†</sup> 遠藤 孝浩<sup>†</sup> 下村 尚之<sup>††</sup> 佐口文康<sup>†††</sup>

石樽 康彦<sup>†††</sup> 松村 雅人<sup>††††</sup> 松原 啓泰<sup>††††</sup>

Tetuya Mouri<sup>†</sup> Takahiro Endo<sup>†</sup> Hisayuki Shimomura<sup>††</sup> Fumiyasu Saguchi<sup>††</sup>

Yasuhiko Ishigure<sup>†††</sup> Masato Matumura<sup>††††</sup> Hiroyasu Matubara<sup>††††</sup>

<sup>†</sup>岐阜大学 <sup>††</sup>(株)ダイニチ <sup>†††</sup>(株)丸富精工 <sup>††††</sup>イー・バレイ(株)

<sup>†</sup>Gifu University, <sup>††</sup>Co. Ltd. Dainichi, <sup>†††</sup>Marutomi Seico Co. Ltd., <sup>††††</sup>e-Valley Ltd.

研究期間 平成 17 年度～平成 19 年度

## 本研究開発の概要

触覚の通信は次世代通信の大きな課題である。人間の複数の指や掌に力覚を提示できるネットワーク触覚インターフェイス技術の確立により、人間型ロボットの遠隔操作、製造業における触感 3 次元 CAD、製造現場における熟練技能の記録と伝達、医学教育における触診訓練システム、医療における遠隔検診・治療、福祉における遠隔介護と様々な分野で応用が期待できる。多指触覚インターフェイスは、インターフェイス機構、制御装置、インターフェイスソフトウェアから構成される。そこで、基本技術として、多指触覚インターフェイス機構の最適設計技術、人間の感性を考慮した冗長多自由度制御、FPGA を用いた省配線制御装置、遠隔間での触覚の共有技術、触覚バーチャル環境技術を研究開発した。

## Abstract

Haptics communication is one of great issues in next-generation communications. Establishing network haptic interface technology provides applications in various areas such as telemanipulation of humanoid robot, 3D CAD with tactile technology for manufacturing, diagnosis and transmission of experienced operator's skill, palpation training system in medical education, medical tele-treatment and tele-care in welfare. Developed multi-fingered haptic interface consists of arm mechanism, hand mechanism, controller, and interface software. For establishing network haptic interface technologies, we have developed optimal design method of the multi-fingered haptic interface, redundant force control taking human sensitivity into consideration, wire saving control system using FPGA, haptics shared technology between remote places, and haptics virtual reality technology.

## 1. まえがき

触覚の通信は次世代通信の大きな課題である。これまでの通信は文字、音声、映像など人間の視覚と聴覚の情報を社会の隅々まで行き渡らせてきたが、多指触覚インターフェイスの研究開発により、触覚通信が大きく発展すると期待できる。多指触覚インターフェイスは、アーム機構、ハンド機構、制御装置、インターフェイスソフトウェアから構成される。基本技術として、多指触覚インターフェイス機構の最適設計技術、人間の感性を考慮した冗長多自由度制御、省配線制御装置、遠隔間での触覚の共有技術、触覚バーチャル環境技術、ネットワーク触覚通信技術等を研究開発してきた。本稿では、その概要を紹介する。

## 2. 研究内容及び成果

バーチャルリアリティ (VR) 環境において、触覚インターフェイスはリアリティを創造する上でキーとなるデバイスである。本研究では図 1 に示す、人間の 5 本指に重量感を含めリアルな力覚を提示できる、安全な対向型 5 指触覚インターフェイス HIRO III を試作し、触覚バーチャル環境技術やネットワーク触覚通信技術等を開発した。

### (1) 多指触覚インターフェイス

アームは上腕と前腕から構成され、肩部に 3 自由度、肘部に 1 自由度、手首に 2 自由度の合計 6 自由度ある。人

間の卓上での作業にほぼ対応できるように設計されており、アームの運動により、ハンドの位置・姿勢を人間の手の位置・姿勢に追従させることができる。

ハンドには 5 本の触覚指があり、触覚指は根元に内外転と前後屈の 2 自由度と中間部に前後屈の 1 自由度の合計 3 自由度ある。操作者は指フォルダーをつけ、ハンドと連結する。操作者の指先力は触覚指の先端にある 3 軸力覚センサにより計測される。指先のみ拘束する構成のため、操作者の手に対する圧迫感はなく、かつ仮想物体の重量感も提示できる。このような触覚インターフェイスは世界初の開発である。

このインターフェイスのハンド制御部として、FPGA を用いた省配線インターフェイス回路、15 ch のモータドライバ回路、及び 3 軸力覚センサ増幅回路からなる省配線制御装置を開発し、ハンドの掌に収納し、主 CPU との



図 1 対向型 5 指触覚インターフェイス HIRO III

LANによる通信機能を実現した。従来方式では100本を超えるケーブルを必要とし機構の運動の妨げとなっていたが、省配線制御装置により電源ケーブルを含め8本と大幅に省配線化を実現し、システム信頼度化と力覚提示の高精度化を図ることができた。

多指触覚インターフェイスは21自由度の超冗長自由度機構である。操作者が指先を少し動かしたときにアームが大きく動くと、操作者は不安を感じる。そこで、機構の冗長性を活用して、操作する人間にとって安心を与える人間の感性を考慮したインターフェイス制御を開発した。

### (2) 触覚 VR 環境技術

仮想環境での物体操作では、物理法則にもとづく実時間シミュレーションと力覚レンダリングの技術が必要である。物体を操作するときの感触のリアリティを高めるため、静摩擦から動摩擦への状態遷移を含む、物体と手の接触で生じる摩擦力と摩擦モーメントのレンダリング法を開発し、仮想物体の操作において、摩擦モーメントの提示を世界で初めて実現している。

また、医療での手術訓練システムでは、鉗、メス、ピンセット、注射器等のデバイスを用いてその手技を学ぶ必要がある。種類の多いデバイスを実環境で訓練することは、容易でなく効率も良くない。仮想環境で訓練システムを構築できれば、安全であり、様々な状況での訓練が可能となる。こうした訓練システムでは、皮膚や臓器などの柔軟物体の切断や切除のモデリング、そのときの抗力や変形の計算を実時間で処理する必要がある。そこで、道具を用いた医療訓練シミュレーションの開発に向けて、柔軟物体の切断、切除による変形と抗力の計算の高速計算アルゴリズムを開発し、図2に示すように、触覚インターフェイスと鉗デバイスを用いて仮想環境でシート状の物体の切断作業をリアリティをもって実現できることを示した。

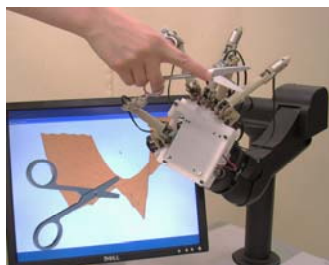


図2 鉗デバイスによるシート切断シミュレーション

### (3) 触覚通信技術

触覚インターフェイスの制御には、物体の変形や抗力計算を1ms程度で実現することが求められる。しかし、柔軟物体の操作では、物体の変形や抗力計算に数十msオーダーの計算時間を要し、さらに通信の遅れが生じる。このため、触覚インターフェイスの制御のために触覚インターフェイス側で中間モデルを用いて抗力計算のみを1m程度で実現し、物体の変形を数十msオーダーでフルモデルによりVR専用計算機で処理し、ローカルネットワークを介して通信する負荷分散法を開発し、未来科学百科事典システムと乳癌触診シミュレーションシステムを対象にシステムを構成しその有効性を示した。

仮想空間での共同作業を実現するクライアント・サーバシステムでは、対象物体の空間運動をサーバで一括管理し、各クライアントに情報を送信することで、遠隔にいる複数のクライアントがあたかも同一仮想空間で共同作業を行っていると感じるシステムが提案されている。しかしこの方法では、ネットワークで発生する通信遅延の影響により力覚提示の特性が劣化し違和感を与え、さらには不安定にもなる。そこで、力覚提示特性の改善を目的に、サーバの

みならずクライアントでも対象物体の運動を計算し、応答性の向上を図る手法を開発している。従来法と比較した結果、開発した手法は遅延時間が2倍となっても従来と同程度の操作感であり、本手法の有効性を確認した。

## 3. むすび

多指触覚インターフェイスは、触感3次元CAD、熟練技能の保存と伝承、ヒューマノイドロボットの遠隔操作、医学における触診訓練システム等と広範囲に応用が期待できる。今年度HIRO IIIの商品化を計画しており、今後さらに本触覚インターフェイスを利用した応用システムを開発する計画である。

### 【誌上发表リスト】

- [1] H. Kawasaki and T. Mouri, "Design and Control of Five-Fingered haptic Interface Opposite to Human Hand", IEEE Transaction on Robotics, Vol. 23, No.5, pp. 909-918, (2007.10)
- [2] T. Mouri, H. Kawasaki, K. Kigaku, and Y. Ohtsuka, "Novel Control Methods for Multi-fingered Haptic Interface Robot", Proc. of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2006), pp. 1576-1581, (2006.10.11)
- [3] O. Halabi, V. Daniulatis, H. Kawasaki, T. Mouri and Y. Ohtsuka, Future Haptic Science Encyclopedia: Realistic Stable Haptic Interaction with Highly Deformable Objects Using HIRO-II, Jour. of Robotics and Mechatronics, Vol.18, No.4, pp. 409-417, (2006.8)

### 【申請特許リスト】

- [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及びその制御方法、日本、出願日平成18年5月25日
- [2] 横山哲也、山田俊郎、棚橋英樹、川崎晴久、物体の変位シミュレーション方法及び物体の変位シミュレーション装置、日本、出願日平成17年6月28日

### 【登録特許リスト】

- [1] H. Kawasaki, T. Mouri, S. Ito, Touch Sense Interface and method for Controlling Touch Sense Interface, USA, date July 8, 2003, date of Patent Apr. 11, 2006, Patent No. US 7,027,031 B2+
- [2] 川崎晴久、毛利哲也、伊藤聡、触覚インターフェイス及びその制御方法、日本、出願日平成15年2月6日、登録日平成18年8月25日、特許第3843319号

### 【受賞リスト】

- [1] 川崎晴久、下村尚之、松波俊宣、毛利哲也、東輝明、平成18年度文部科学大臣表彰(科学技術賞)、「人間型ロボットハンドGifu Handの開発」、2006.4.18
- [2] H. Kawasaki, T. Mouri, and S. Ito, Best Paper Award at Sixth Bilingual World Automation Congress (WAC 2006), Toward Next Stage of Kinematic Humanoid Hand, 2006.7.2

### 【報道発表リスト】

- [1] “感じて動く 進化する「手」”、朝日新聞 Be on Sunday、2008年1月20日
- [2] “ロボット産業育成 中部経済産業局産学官で新組織作り”、読売新聞朝刊、2007年5月16日
- [3] “指先を通じ実感、岐阜大が手型ロボ開発”、日本経済新聞 朝刊、2006年12月15日

### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

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