

**テレハプティクス実現のための実世界触覚情報の
マルチラテラル通信技術に関する研究開発 (072104001)**
Research Development on Multilateral Communication Techniques
of Real-World Haptic Information for Realization of Tele-Haptics

研究代表者

桂 誠一郎 慶應義塾大学
Seiichiro Katsura Keio University

研究期間 平成 19 年度～平成 21 年度

概要

本研究は、情報通信技術の分野をはじめとして様々な分野で切望されている触覚情報の記録・再生のための基盤技術を開発し、「テレハプティクス」による触覚通信・放送といった新しいテレコミュニケーションの実現を目的として行われた。本研究の成果により、従来の力覚センサの性能をはるかに凌駕したアクチュエータ制御による超広帯域触覚センシング技術、触覚情報の加工・圧縮・保存のためのハプティックプロセッサ技術といった革新的な要素技術の開発に成功した。さらに、各要素技術を統合した世界初となるマルチラテラル（多方向）通信技術として確立した。

Abstract

The aim of this research is to attain novel telecommunication such as haptic communication and haptic broadcasting by “tele-haptics” based on development of fundamental techniques for preservation and reproduction of haptic information that is required in the field of information-communication techniques. By this research achievement, we succeeded in realization of innovative element technologies, such as super wide-band haptic sensing technique by actuator control, haptic processing technique for process, compression and preservation of haptic information, and so on. In addition, we developed the world's first multilateral communication technique by integration of the element technologies.

1. まえがき

視覚情報（画像、映像）や聴覚情報（音声）は人間の目や耳を通じて獲得される単方向性の環境情報である。これを人工的に記録、再生することは伝統的な通信工学の根幹であった。これに対して、触覚情報はニュートンの「作用・反作用の法則」に支配される双方向性を有する環境情報であるがゆえ、忠実に取得し伝達するシステムは未だ実現されていない。しかし、新たなマルチメディア情報の一つとして触覚情報を扱う技術の確立が期待されており、特に近年、生産分野における熟練者の技術保存や低侵襲性外科医療などの分野では、そのようなシステムの実現が強く望まれている。

そこで本研究では、触覚放送による伝送を見据えた触覚獲得技術の基本原則の導出ならびに基盤技術の開発を目的とする。従来はマスタ・スレーブシステムにみられるように 1 対 1 のバイラテラルシステムにおいて触覚伝送技術が開発されてきたのに対し、本研究では 1 台のスレーブに対して複数台のマスタが存在する場合や、複数のマスタ間で触覚情報の通信を行うようなマルチラテラル（多方向）システムにおける「テレハプティクス」技術の開発を行った。開発した「テレハプティクス」のプラットフォームを図 1 に示す。

2. 研究内容及び成果

2. 1 超広帯域触覚センシング技術の開発

従来の力覚センサなどを用いた触覚センシングでは、センサ自身の持つ機械的共振点の存在により、数十～百 Hz 程度の検出帯域しか持たなかった。触覚検出の周波数帯域は再現される触覚の感度に非常に大きな影響を与えるため、その広帯域化が不可欠である。本研究では、人間の感じる触覚帯域全てをカバーする世界最高性能の超広帯域触覚センシング技術を開発することに成功した。

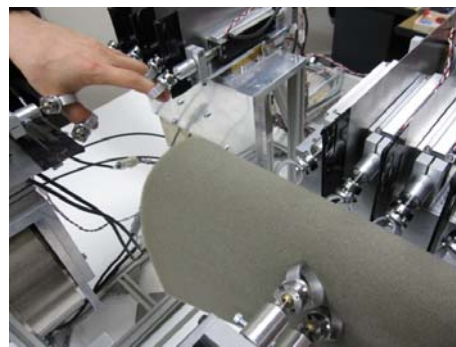


図 1 開発した「テレハプティクス」

具体的には、性能向上の面から力覚センサを使用せずにアクチュエータの制御情報から超広帯域な触覚情報を推定する位置・加速度統合型外乱オブザーバ技術を開発した。これにより、従来の力覚センサをはるかに凌駕した 1 kHz 以上の帯域を有する触覚センシングが可能になった。

2. 2 触覚情報加工・圧縮・保存技術の開発

従来の視聴覚情報と同様に触覚情報をマルチメディア情報として扱うためには、抽出された触覚情報を効率よく保存し、加工再現を行う技術の開発が必要である。本研究では、さらに人間の動作や環境からの情報の特徴周波数成分のみ増幅させた感度の高い触覚情報通信を行うために必要不可欠となる触覚プロセッシングに関する各要素技術を開発することに成功した。具体的には、「ハプトグラフ」を触覚保存データのフォーマットとして使い、モーションコピー技術によりその圧縮・加工データの再現を行うという手法を開発した。これにより、従来の音声や画像データと同様に実世界触覚データをデジタル保存・加工・再生する世界初の技術の開発に成功した。

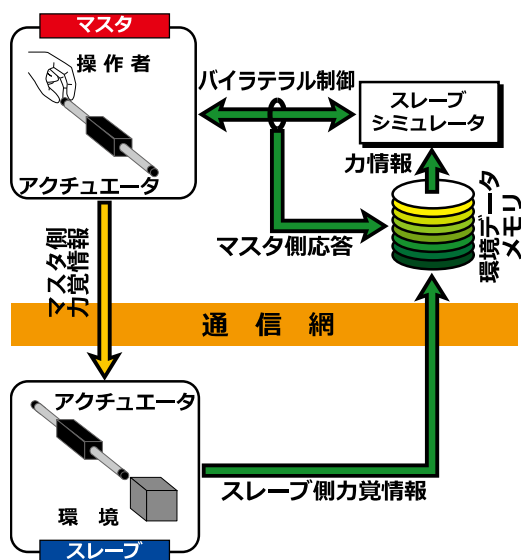


図2 触覚放送のための通信遅延補償技術

2.3 マルチラテラル（多方向）触覚放送技術の開発

「テレハプティクス」によるマルチラテラル触覚放送においては、ネットワーク上に多数存在する操作者間の干渉が存在するため、クロストークの除去が必要となる。本研究では、この触覚放送におけるクロストークを除去するための手法として、アイデンティティ比を利用したマルチラテラル制御手法の開発を行った。アイデンティティ比とは、全ての操作者の入力に対する個人ごとの入力の割合を示すものであり、この割合に応じて触覚情報を分配することで操作者間における干渉を除去することができる。したがって、多数存在する操作者それぞれが他の操作者の影響を受けることなく、接触環境そのものからの触覚情報を得ることが可能になる。本技術の有用性は2マスター1スレーブシステムからなるマルチラテラル触覚放送システムを用いた検証実験より、マスター間でのクロストーク除去が可能になることを明らかにした。

2.4 触覚放送のための通信遅延補償技術の開発

実時間におけるマルチラテラル触覚情報通信の実現のためには、ネットワークにおける通信遅延の補償が必要不可欠である。本研究では、「環境データメモリ」の構築に基づいた通信遅延を補償するための新しい触覚通信技術の開発を行った。図2に「環境データメモリ」に基づいた触覚放送のための通信遅延補償技術の概念図を示す。開発技術は、接触する実世界環境よりその特徴量を時々刻々計算し、メモリに動的保存を行う。マスター側とスレーブ側は「環境データメモリ」によって間接的に接続されているため、通信遅延が生じた場合においても安定して力覚情報を伝送することができる。

本研究により開発した各要素技術を統合した試験を行い、インターネットを模擬した10秒の往復通信遅延や通信損失が存在する環境下において実世界触覚データを多方向に放送する世界初の技術の開発に成功した。

3. むすび

本研究では、情報通信技術の分野をはじめとして様々な分野で切望されている触覚情報の記録・再生のための基盤技術を開発し、マルチラテラル触覚通信による「テレハプティクス」の開発に成功した。本研究で開発を行った「テ

レハプティクス」のための触覚技術は、これまでの視覚、聴覚による情報通信に触覚を含めた新たなヒューマンコミュニケーション形態を創成するもので、ネットワーク社会へ与える影響は大変大きい。このことは、1876年にベルが発明した電話や1927年に高柳健次郎が開発に成功したテレビ、1928年に丹羽保次郎が開発したFAXと同等のインパクトを持つ可能性がある。

また、熟練者のスキル獲得や高度技能保存に基づいた次世代技術創成も視野に入れており、産業分野に革新的な成果が期待できると予想される。また、画像や音声を伝える共通プロトコルは既に存在しているが、このような標準化プロトコルを触覚情報通信においても獲得する意義は大きい。本研究で開発した触覚伝送プロトコルの標準化は、インターネットにおける触覚情報配信の基礎となり得る。

【誌上発表リスト】

- [1] Seiichiro Katsura, Toshiyuki Suzuyama, Kiyoshi Ohishi, "A Realization of Multilateral Force Feedback Control for Cooperative Motion," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 54, No. 6, pp. 3298-3306, (2007年12月)
- [2] Seiichiro Katsura, Kouhei Irie, Kiyoshi Ohishi, "Wideband Force Control by Position-Acceleration Integrated Disturbance Observer," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 4, pp. 1699-1706, (2008年4月)
- [3] Seiichiro Katsura, Kiyoshi Ohishi, "Task Preservation of Multi-Degree-of-Freedom Motion Using Interaction Mode Control," European Power Electronics and Drives Journal, Vol. 18, No. 1, pp. 16-24, (2008年5月)

【申請特許リスト】

- [1] 桂 誠一郎, 大石 潔, 触覚の解析方法および触覚の解析装置, 日本, 2007年8月17日
- [2] 桂 誠一郎, 大石 潔, 横倉 勇希, 触覚の解析方法および触覚の解析装置, 日本, 2007年8月17日
- [3] 桂 誠一郎, 山之内 亘, 永瀬 一貴, 移動体遠隔操作システム、環境情報収集システム, 日本, 2010年3月12日

【受賞リスト】

- [1] 桂 誠一郎, 電気学会 産業応用部門大会第20回記念論文賞, "インタラクションモード制御に基づくモーションアキジションシステムの実現", 2007年8月21日
- [2] Seiichiro Katsura, The Best Paper Award of the 13th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC '08, "Wideband Force Sensing for Haptic Energy Transmission Utilizing FPGA," 2008年9月2日
- [3] 桂 誠一郎, 財団法人 矢崎科学技術振興記念財団 矢崎学術賞 奨励賞, "触覚放送のためのマルチラテラル触覚伝送技術の研究開発", 2009年3月12日

【報道発表リスト】

- [1] "遠くの物の感触がわかる！？世にも不思議な装置「テレハプト」が登場！", BS ジャパン 「世の中進歩堂」, 2010年2月28日
- [2] "感覚伝送ネットワークがもたらす人間支援空間", かわさき FM 「かわさき DOWNSTREAM」, 2010年3月19日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.katsura.sd.keio.ac.jp/>