

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630109

研究課題名(和文) 周囲環境を知覚可能なステアバイワイヤシステムの開発

研究課題名(英文) Development of Steer-By-Wire System Capable of Sensory Recognition of Environment

研究代表者

下野 誠通 (Shimono, Tomoyuki)

横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90513292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、ロボットによる五感に基づいた遠隔環境センシング実現に向けた基礎技術を開発することを目的として研究を行った。二年間の研究期間において、モバイルロボットのための感覚フィードバック機能を有する遠隔制御に関する基礎理論を構築することができた。さらには、カメラやレーザ式側域センサといった外界センサを実装し、力として周囲環境情報を複合的にフィードバックする手法の開発を併せて行った。ミニモデル実験機を試作し、実験により各種手法の有用性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This research project has focused on the development of fundamental robotic technology for remote-sensing of the environment. The basic theory about teleoperation of mobile robot with sensory feedback has been established. In addition, the environmental recognition method by sensors such as camera and laser sensor has also been developed. The presented method could achieve force-dimension feedback based on environmental information obtained by the sensor. The utility of the methods was confirmed by the actual experiments.

研究分野：メカトロニクス

キーワード：ハプティクス モーションコントロール 制御工学 遠隔操作 ネットワークロボット 移動ロボット
リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

近年、我が国は未曾有の自然災害や大規模なプラント事故を経験したことで、安全安心な社会基盤をより強固に構築する必要に迫られており、その実現に向けた革新的な科学技術を開発することが喫緊の課題となっている。特に、災害地や事故現場など、人間が直接介入することが極めて困難な状況であっても、代わりに周囲環境の情報収集と診断監視、さらには環境に対する遠隔での直接的かつ物理的な作用を可能とするシステムの実現が希求されている。このようなシステムの実現には、高度な環境認識技術が不可欠となることは想像に難くないが、緊急な行動が要求される非日常的環境下においては、経験と知識を有する熟練者に特化した複雑な環境認識よりも、むしろ誰もが直感的に理解可能な直接的な環境認識が望まれる。すなわち、これは人間の「五感」に基づいた環境認識技術を開発する必要があることを意味している。

五感に基づく科学技術のうち、視覚と聴覚に関する技術は既に著しい発展を遂げており、これが巨大な産業を生み出してきたことは周知の事実である。しかしながら、視覚や聴覚が制限される災害地や事故現場などでは、これら既往の技術に基づく環境認識のみでは不十分である。このとき、第三の感覚情報である力触覚が非日常的環境の知覚と理解に対して非常に有用なものとなる。これは、暗闇を手探りで歩く状況を想像すれば理解し易い。この力触覚に関する学問はハプティクスと呼ばれ、世界中で開発研究に鎬を削っているが、産業応用など実用に至っている例は未だ少なく、安全安心支援も含めてこれからの様々な発展が強く期待される状況にある。

このような学術的背景の下、これまでの研究実績からハプティクス技術は革新的な安全安心支援に向けた鍵技術になり得るとの知見を得たため、その萌芽に挑戦するべく本研究課題の提案に至った。

2. 研究の目的

本課題においては、以下の二つの研究計画を遂行し、五感に基づく遠隔環境認識技術の基礎を構築することを目的とする。

(1) 研究計画A：視覚と力触覚に基づく複合的な環境情報のリモートセンシング技術の基礎研究

(2) 研究計画B：遠隔環境の情報収集と複合感覚フィードバックを実現するステアバイワイヤシステムの試作

研究計画Aは、本研究課題で実現を目指す五感情報に基づいた遠隔環境センシングのための理論研究であり、主にソフトウェア面での研究内容である。それに対し、研究計画Bは構築した理論を具現化するためのハードウェアプラットフォーム開発であり、試作したステアバイワイヤシステムを用いて評

価実験を行う。

3. 研究の方法

本研究課題では、五感情報に基づいた遠隔環境センシングの実現を目指した全体の研究内容を、基礎理論研究(研究計画A)と理論を具現化し開発技術の有用性を実証するためのシステム開発研究(研究計画B)との二つの研究計画に分類し、二年間の研究期間内においてこれらを並行して遂行する。また研究組織としては、関連技術についての専門的な知識を有する若手研究者3名に研究分担者として参画してもらい、有機的に連携することで効果的かつ効率的に開発研究を遂行する。

(1) 平成26年度の研究の計画・方法

平成26年度では、研究計画Aにおいて力触覚に基づく遠隔環境の情報抽出理論についての研究を行う。この際、遠隔環境の接触情報には環境からの反力情報のほかにも、摩擦等の外乱やネットワーク部における通信遅延による影響などが含まれてしまう。したがって、純粋な環境情報としての反力情報を抽出するために、外乱の精密なモデル化、分離、および補償について特に検討を深める。さらに、外界センサを通じて得られる情報に基づいた遠隔環境認識に関する研究も実施し、ネットワークを介した力触覚との同期フィードバックの実現に向けた基礎研究を行う。研究計画Bにおいては、次年度に開発技術を実装し実証実験を行うための遠隔操縦モバイルロボットを設計試作する。そして、運動制御の基礎実験を実施する。

(2) 平成27年度の研究の計画・方法

平成27年度では、前年度から継続して研究計画Aの理論研究を行う。さらに、抽出した力触覚に基づく環境情報の信号処理研究を実施し、力触覚に基づいた遠隔環境の構造理解のための基礎理論の確立を目指す。そして研究計画Bでは、研究期間を通じて得られた成果を、遠隔操縦モバイルロボットに統合実装し、開発技術の有用性の評価実験を行う。

4. 研究成果

(1) 平成26年度の成果

研究期間初年度である平成26年度では、まず研究計画Aにおいて、モバイルロボットの遠隔運動制御についての理論研究に着手した。過去の研究事例を参考に、操縦インターフェースとモバイルロボットとの間の遠隔制御理論としてトランスフォーマ・ジャイレータ統合型の双方向制御理論を採用し、操縦インターフェース側に仮想力発生機構を追加実装するなど、操作性向上に向けた改良研究を行った。また、力触覚に基づく遠隔環境の情報抽出理論についての基礎研究も開始した。環境の接触情報を正確に抽出するためには、接触力以外の外乱の影響や、環境との接触状態の変化による影響などを十分に考慮する必要がある。そこで、特に力制御系

を対象として、環境が変化する場合においても接触力を精密に制御するための手法や、接触力情報から環境のインピーダンスを推定し積極的に力制御系の性能向上に活用する手法を開発した。これらの力制御技術については、ステアバイワイヤシステムのみならず接触集電システムといった他の産業応用も十分に可能であるとの知見を得た。さらに、複数のモバイルロボットの遠隔制御への応用まで想定し、協調的な隊列制御理論の研究も実施した。研究計画Bにおいては、次年度に開発技術を実装し実証実験を行うための簡易実験機(図1)を設計試作した。そして、今年度に研究計画Aで開発した制御理論を実装し、基礎実験を実施した。



図1 試作した簡易実験機

(2) 平成 27 年度の成果

平成 27 年度では、モバイルロボットの遠隔制御理論に関する研究を前年度から継続してさらに推進した。特に、トランスフォーマ型バイラテラル制御とジャイレータ型バイラテラル制御の特徴機能を抽出し、モード空間で選択的に統合する新しい制御理論を構築した(図2)。前年度に試作したペダル型操縦インターフェースとモバイルロボットとを用いて遠隔操縦系を構成し、実験を行った。実験データ(図3および図4)から、本手法の有用性を確認した。

また、研究分担者らと協力することで、レーザ式側域センサを用いて周囲環境を認識し、その情報を力次元でフィードバックすることにより操作性を向上させる手法や、低分解能センサの量子化誤差に起因する反力フィードバック性能の劣化を低減する制御手法などの開発も併せて行った。

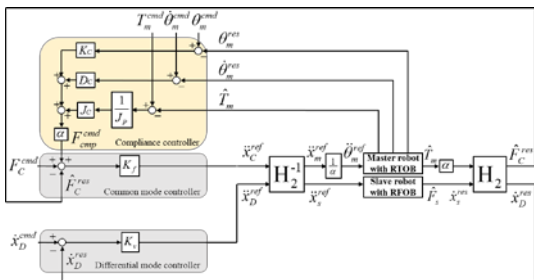
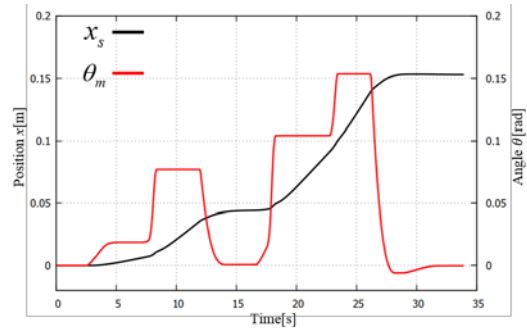
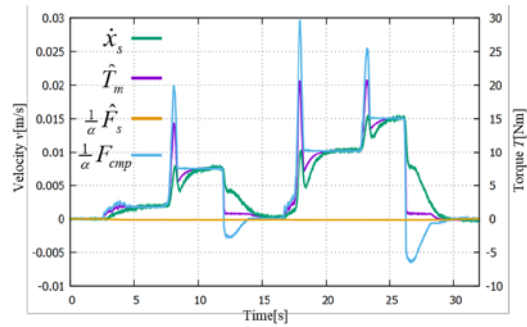


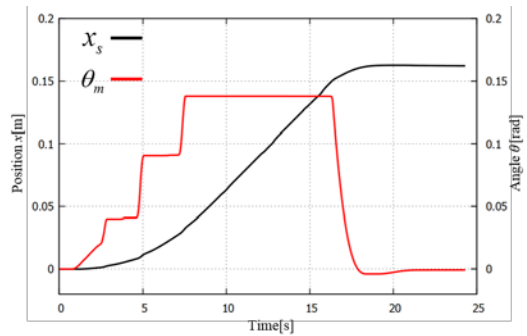
図2 提案した遠隔制御手法のブロック図



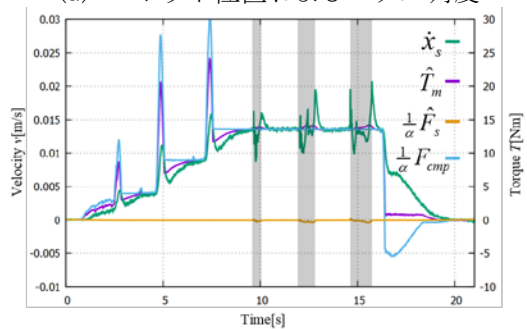
(a) ロボット位置およびペダル角度



(b) ロボット速度・力およびペダルトルク
図3 実験結果(自由走行時)



(a) ロボット位置およびペダル角度



(b) ロボット速度・力およびペダルトルク
図4 実験結果(接触時)

(3) 研究期間全体での成果のまとめ

二年間の研究期間において、遠隔操縦型モバイルロボットのための感覚フィードバック機能を有する遠隔制御に関する基礎理論を構築することができた。さらに、カメラや

レーザ式側域センサといった外界センサを実装し、力として周囲環境情報を複合的にフィードバックする手法の開発を併せて行った。そして、ステアバイワイヤシステムのミニモデル実験機を試作し、実験から各手法の有用性を示すことができた。以上から、当初予定した計画通りに研究成果を収めることができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

①伊藤和晃, 杉浦直人, 犬塚勝美, “低分解能位置センサを有する力センサレスバイラテラル制御系の性能向上に関する一考察”, 高速信号処理応用技術学会誌, 査読有, 2016. (掲載決定)
<http://www.sspatj.jp/index.html>

[学会発表] (計 8 件)

①So Tanaka, Tomoyuki Shimono, Takahiro Mizoguchi, and Yosuke Asano, “Transformer-Gyrator-Mixed Bilateral Control for Mobile Robot”, 2016 IEEE 14th International Workshop on Advance Motion Control, AMC2016, 2016年4月22日~24日, オークランド (ニュージーランド)

②杉本憲, 伊藤和晃, 横田隼人, 犬塚勝美, “2 慣性系における負荷状態量推定とバイラテラル制御への応用”, 第 58 回自動制御連合講演会, 2015 年 11 月 14 日~15 日, 神戸大学 (兵庫県)

③田中創, 下野誠通, 浅野洋介, 溝口貴弘, “移動ロボットとアクセルペダル間の仮想的なばね要素を含むジャイレータ型バイラテラル制御”, 平成 27 年電気学会産業応用部門大会, 2015 年 9 月 2 日~4 日, 大分大学 (大分県)

④木村隼人, 元井直樹, 山本茂広, “移動ロボットにおける力覚情報による周囲環境認知のための遠隔操作システムの研究”, 平成 27 年電気学会産業応用部門大会, 2015 年 9 月 2 日~4 日, 大分大学 (大分県)

⑤ Masato Ohori and Tomoyuki Shimono, “Suppression of Contact Force Fluctuation by Using Multiple Motors with Force Feedforward,” The 1st IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, and Motion Control, SAMCON2015, 2015 年 3 月 9 日~10 日, 名古屋工業大学 (愛知県)

⑥守恒典, 大堀真聖, 下野誠通, “環境インピーダンスを含むフィードフォワード力制御”, 2014 年度第 4 回電気学会東京支部神奈川支所研究会, 2015 年 2 月 16 日, 横浜国立大学 (神奈川県)

⑦ Masaki Wada and Tomoyuki Shimono, “Formation Control of Multiple Mobile Robots Based on Modal Decomposition by Discrete Fourier Series Expansion,” The

7th International Conference on Information and Automation for Sustainability, ICIAFS2014, 2014 年 12 月 22 日~24 日, Galadari Hotel (Colombo, Sri Lanka)

⑧ Masato Ohori and Tomoyuki Shimono, “Force Control of a Semi Active Current Collector Shoe for Electric Railways,” The 7th International Conference on Information and Automation for Sustainability, ICIAFS2014, 2014 年 12 月 22 日~24 日, Galadari Hotel (Colombo, Sri Lanka)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ

<http://www.tsl.ynu.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下野 誠通 (SHIMONO, Tomoyuki)
横浜国立大学・工学研究院・准教授
研究者番号: 90513292

(2) 研究分担者

伊藤 和晃 (ITO, Kazuaki)
豊田工業高等専門学校・電気・電子システム工学科・准教授
研究者番号: 10369986

浅野 洋介 (ASANO, Yosuke)
木更津工業高等専門学校・電気電子工学科・准教授
研究者番号: 70390416

元井 直樹 (MOTOI, Naoki)
神戸大学・海事科学研究科・准教授
研究者番号: 10611270

(3) 連携研究者

なし