

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360093

研究課題名(和文) 生体信号による操作者の特性を考慮した力覚提示機能を有する遠隔操作システム

研究課題名(英文) Teleoperation system with force perception considering the condition of operator using biological signals

研究代表者

川嶋 健嗣 (Kawashima, Kenji)

東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・教授

研究者番号：40300553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：遠隔操作において、力覚提示の感度を高めることで安全性と作業効率の向上を目指し、操作者の力み具合を生体信号からリアルタイムに測定し、その特性に合わせて提示する反力を可変に制御する方法を提案した。提案手法をマスタスレーブ型手術支援ロボットに実装し、複数の被験者実験によってその有効性を評価した。さらに力の方向を提示するデバイスとして、操作者の人差し指に正圧と負圧が発生できる空気噴流が発生するものを試し、その有効性を実験によって確認した。

研究成果の概要(英文)：A force scaling strategy of teleoperation system is proposed using biological signals to improve the safety and efficiency. An EMG sensor is attached to the operator's hand and the force scale is increased while the operator is straining, so that the decrease of human force perception can be canceled and keep the applied force to the environment constant. Experiments are conducted to verify the effectiveness of the proposed with the surgical robot developed by the authors. An operator can feel the force with high accuracy by changing scaling ratio between the master and the slave; the sensitivity of force direction cannot be improved by the scaling. Therefore, we have proposed a device to display the force direction in addition to the sense of force by giving air jet stimulation to the operator's fingertip. The effectiveness of the device is proved experimentally using the surgical robot.

研究分野：人間機械システム

キーワード：遠隔操作 手術ロボット 力覚提示 バイラテラル制御 生体信号

1. 研究開始当初の背景

遠隔手術、遠隔診断、災害復旧等の遠隔操作システムにおいて、スレーブ側での接触力をマスタ側の操作者に伝えることは、作業効率、安全性向上の観点から重要である。特に遠隔手術ロボットでは、力覚提示機能の付加を目指した研究が活発に行われている。申請者らも、スレーブ側に空気圧駆動を採用し、直接駆動の利点を活かして、力センサを用いずに接触力を推定し、操作者の手に反力を伝える遠隔手術ロボットシステムを開発している。

従来、通信での遅延を含む遠隔制御の研究において、スレーブ側の接触力を正確に操作者に反力として提示することに主眼をおいた研究がほとんどである。しかし、操作者が脳で知覚する接触力は手にかえる反力と同じとは限らない。よって、遠隔操作システムの操作性と安全性向上のために、最適な力覚提示の方法が求められている。

2. 研究の目的

遠隔操作において、力覚提示の感度を高めることで作業効率と安全性向上を目指し、操作者の力み具合を生体信号からリアルタイムに測定、その特性を考慮するなどの新たな力覚提示方法を提案する。特に、報告者らがスレーブ側に空気圧駆動を用いた力覚提示機能を有するマスタスレーブ型の手術支援ロボットを開発している強みを活かし、本手術ロボットを用いて提案する力覚提示方法の有効性を実験による定量的に評価することを目指した。

3. 研究の方法

報告者らが開発した遠隔手術ロボットの操作において、マスタ側操作者への力覚提示の方法を提案、実装し、複数の被験者に対して、①スレーブ側での反力測定 ②操作者の筋電、把持力等の生体信号の測定 ③操作者が感じた力のアンケート調査の3項目を実施し、有効な方法を探求する。

4. 研究成果

はじめに力覚提示の有効性を評価する実験として、報告者らが開発したスレーブ側の駆動に空気圧アクチュエータを採用した力覚提示機能を有する手術支援ロボットシステム(図1)を用いて、模擬縫合作業を5名の被験者に対して実施した。



図1 力覚提示機能付き手術支援ロボット

その際にスレーブ側にかかる外力をマスタ側に反力として提示する力のスケール比を 0 (マスタに反力が返らない)、0.3, 0.5, 0.7 および 1.0 (スレーブの外力と等しい力が反力として操作者に提示される) の 5 種類の場合について、作業中のスレーブ側での外力の時間変化を測定した。

その結果 0.5 以上のスケール比において、作業にかかる最大力が低下することが明らかとなった。これは被験者が知覚できる最小の力と相関があることを確認し、手術作業における力覚提示の有効性が明らかとなった。

次に、一般に人は力むと力の知覚感度が落ちることから、これを防ぐ方法を提案した。図2に提案したシステムの概略図を示す。生体信号として筋電に着目し、筋電信号から操作者の力み具合を判定して、スケール比を可変にする制御する方法を提案した。つまり、力んでいる度合いが強いほどスケール比を大きくし、スレーブ側での接触力をより大きな値として操作者に提示した。上記ロボットシステムに提案方法を実装し、5名の被験者でその有効性を評価した。具体的には操作者の親指つけ根部分の筋電を測定し、操作者の力み具合を把握して、力みが見られた場合にスケール比を線形的増加させる方法である。その傾きなどを変えて実験を行い最適値の導出を実験的に試みた。

1Nの外力をスレーブ側に与える実験を行った場合の実験結果のある被験者の結果を図3に示す。リラックスした状態と力んだ状態を操作者に意識してもらい、スケール比固定、スケール比を可変、ただし傾きを変えた2パターンの合計3つのケースをそれぞれ10回実施した結果をまとめたものである。図3左図より、リラックスした状態では、力のスケール比を1.0に固定でもほぼ正確に外力を与えられる。しかし、力んだ状態ではより大きな力を与えてしまうことがわかる。

一方、図3中図と右図に示すように、力み具合によって、力のスケール比を可変にした場合には、操作者らリラックスした状態および力んだ状態いずれにおいても、ほぼ正確に1Nを与えることができている。特に、より傾きを強くした右図では、ほぼ1Nの力を与えることができた。

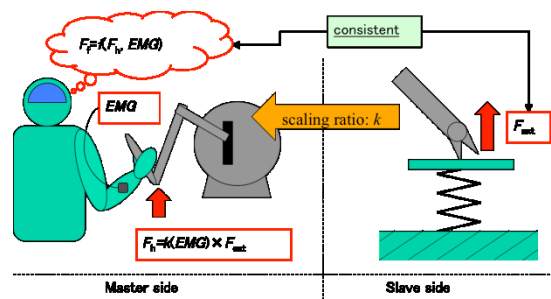


図2 筋電信号を用いた操作者の力み具合に応じた反力提示方法

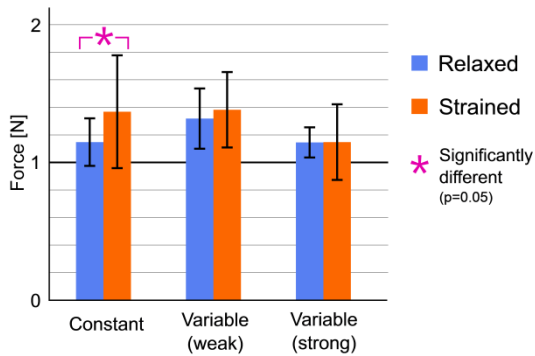


図3 筋電を用いた可変力覚提示の実験結果

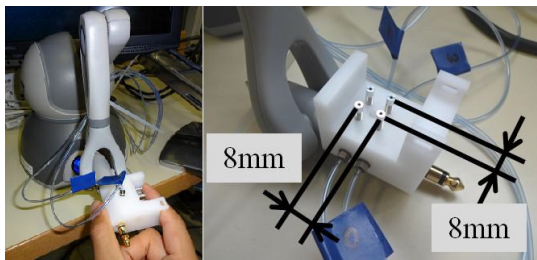


図4 空気噴流を用いた正圧，負圧による力の方向提示デバイス

被験者 5 名のうち 4 名において有効性を確認した。また残りの 1 名については力みによる力覚特性の変化が他の 4 名と逆であったことから、スケーリング比を線形的に増加させるのではなく、減少させることでその有効性を確認した。これはかんだ方が力の感度が高まる人が 2 割程度いることが先行研究で知られており、それに合致したものである。力の知覚には個人差があり、各被験者の特性を事前に把握することで、提案する方法は有効であることがわかった。

また、操作者に単に反力として力覚提示を行うだけでなく、力の方向を提示できるデバイスを提案し、手術支援ロボットのマスタ側に実装した。

図4に示すように、力の方向をより操作者により明確に提示することを目指し、人差し指に4つの孔から空気噴流を与える方法である。孔の側面にノズルを配置することで、正圧だけでなく旋回流による負圧も発生可能としている点に特徴がある。空気噴流は力の大きさによってその流量を空気圧サーボ弁でフィードバック制御した。

手術支援ロボットにおいて、マスタ側の把持部に試作したデバイスを搭載し、スレーブ側で図5に示すように模擬臓器上の目標位置へ針を通す実験を行い、その位置精度を測定した。

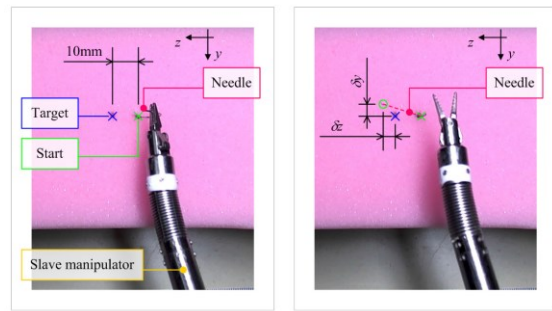
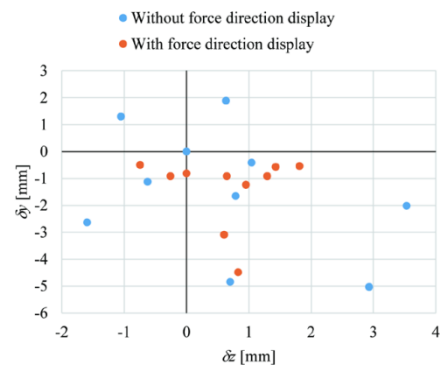


図5 空気噴流デバイスを用いた針の刺入実験



- ③ Li Hongbing, Kenji Kawashima, Kotaro Tadano, Guangly. Shameek, Sumire Nakano, Achieving Haptic Perception in Forceps Manipulator using Pneumatic Artificial Muscle, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (TMEch), 査読有, Vol. 18, No. 1, 2014, pp. 74-85
DOI:10.1109/TMECH.2011.2163415
- ④ 原口大輔, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 柔軟関節を用いた空気圧駆動鉗子マニピュレータの開発(関節構造および理論モデルの改善による性能向上), 日本フルードパワーシステム学会論文集, 査読有, Vol.44, No.6, 2013, pp.8-15
<http://ci.nii.ac.jp/naid/130004700373>
- ⑤ Yu Okamoto, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, A basic study on biological signal of operator during master- slave system control, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.24, No.5, 2012, pp.908-916
<http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=ROBOT002400050020.xml>
- [学会発表] (計 11 件)
- ① Ryoken Miyazaki, Takahiro Kanno, Gen Endo, Kenji Kawashima, Pneumatically Driven Handheld Forceps with Force Display Operated by Motion Sensor, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2015.5.27, 米国シアトル
- ② 寺田朋央, 菅野貴皓, 辻俊明, 遠藤玄, 川嶋健嗣, 空気圧ベローズアクチュエータを用いた把持力提示インタフェースの開発, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2014.12.19, 東京都江東区
- ③ 佐々部敦, 赤星経一, 伴大輔, 菅野貴皓, 川嶋健嗣, 腹腔鏡下手術支援ロボットの作業性の評価, 日本コンピュータ外科学会大会, 2014.11.9, 大阪府吹田市
- ④ In Kim, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, Surgical Robot Using Force Input Type Operation Interface, The 9th JFPS International Symposium on Fluid Power, Shimane, 2014.10.30, Shimane, Matsue City
- ⑤ Takahiro Kanno, Daisuke Haraguchi, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, Force Projection Type Bilateral Control of a Pneumatic Surgical Robot, The 9th JFPS International Symposium on Fluid Power, 2014.10.30, Shimane, Matsue City
- ⑥ HangJie Jaing, Hiroyuki Yoshida, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima, A Study of Force Display Using Visual Information and EMG on Surgical Robot, 12th International Conference on Fluid Control, Measurement and Visualization, OS4-02-4, 2013.11.19, Nara, City of Nara
- ⑦ J. ttirattana, T. Kato, R. Balasubramanian, Kotaro Tadano, Daisuke Haraguchi, Kenji Kawashima, Interoperability in Telerobotics with Force Perception, 12th International Conference on Fluid Control, Measurement and Visualization, OS4-02-3, 2013.11.19, Nara, City of Nara
- ⑧ 川嶋健嗣, 力覚を有する手術支援ロボットシステム IBIS, 第 26 回日本内視鏡外科学会総会, 2013.11.28, 福岡県福岡市
- ⑨ 吉田浩之, 原口大輔, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 手術ロボットにおける視覚情報および筋電を利用した力覚提示方法の研究, 精密工学会春季大会, 2013.3.15, 東京都八王子市
- ⑩ 吉田浩之, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 遠隔操作システムにおいて力のスケーリングが操作性に与える影響の考察, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2012.5.28, 静岡県浜松市
- ⑪ 川嶋健嗣, 力覚に焦点を当てた日本製ロボットの現状, 第 100 回日本泌尿器科学会総会, 2012.4.23, 神奈川県横浜市
- [図書] (計 0 件)
- [産業財産権]
- 出願状況 (計 1 件)
- 名称: 指先刺激システム
発明者: 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 矢島拓実
権利者: 国立大学法人東京工業大学
種類: 特許
番号: 特願 2013-228100
出願年月日: 2013 年 11 月 1 日
国内外の別: 国内
- 取得状況 (計 1 件)
- 名称: Maneuvering system having inner force sense presenting function
発明者: Kenji Kawashima, Kotaro Tadano
権利者: Tokyo Institute of Technology
種類: US patent
番号: US8,897,916 B2,
出願年月日: 2013 年 3 月 15 日
取得年月日: 2014 年 11 月 25 日
国内外の別: 国外
- [その他]
- <http://www.tmd.ac.jp/i-mde/www/bmc/bmc.html>
6. 研究組織
- (1)研究代表者
川嶋 健嗣 (KAWASHIMA, Kenji)
東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・教授
研究者番号: 40300553
- (2)研究分担者
只野 耕太郎 (TADANO, Kotaro)
東京工業大学・精密工学研究所・准教授
研究者番号: 90523663