

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	力入力型手術ロボット用マスタマニピュレータに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	キムイン
Author(English)	In Kim
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9861号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:川嶋 健嗣,香川 利春,小俣 透,高山 俊男,只野 耕太郎
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9861号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

力入力型手術ロボット用マスタマニピュレータに関する研究

東京工業大学 総合理工学研究科 メカノマイクロ工学専攻
金 寅

近年、医療分野で低侵襲手術のため、マスタスレーブ型手術支援ロボットシステムの研究開発が進んでいる。それに使用されるマスタマニピュレータは位置入力型操作インタフェースが用いられている。直観的な操作感を持ち、操作者に術側の外力を力覚で提示させることができる。その一方、スレーブ側でより精密な作業を実現するためマスタに対してスレーブの移動量を縮小する際に、マスタマニピュレータの可動範囲が不足し、頻繁なクラッチ操作が必要となる。そこで本研究では、この課題の解決を目指して、並進方向に力入力型操作インタフェース、回転方向に位置入力型操作インタフェースを用いたマスタマニピュレータを提案・試作し、その有効性を評価することを目的とした。

力入力型操作インタフェースは操作範囲の制限がないため、並進方向に力入力型、回転方向に位置入力型の操作インタフェースを用いるマスタマニピュレータを提案・試作した。回転方向の 3 自由度は各軸に角度センサを配置したジンバル機構で実現し、その回転中心に力センサを設置することで並進方向の 3 自由度の力入力を検出できるようにした。力センサの先にグリップ部が搭載され、操作者は親指、人差し指、中指の 3 本でグリップ部を把持操作する構成にした。回転方向には十分な可動範囲を確保し、コンパクト化を実現した。回転方向は角度センサで検出した値をスレーブ側に目標角度として与え、並進方向は力センサで検出した値に閾値フィルタおよびローパスフィルタをかけ、さらにスケール比を調整する比例ゲインを乗じた値をスレーブ側に目標速度として与える制御系を構築した。比例ゲインが小さいほど操作者に重い操作感を提示できることを示した。

試作した操作インタフェースをマスタとし、外力推定機能を有する空気圧駆動の鉗子マニピュレータをスレーブとした、マスタスレーブ型手術支援ロボットシステムを構築した。評価実験として、はじめに制限時間内に搬送したブロック数を競う実験および並進 1 軸方向の位置決め誤差を測定する実験を実施し、重い操作感においてブロック搬送数が増え、位置決め精度が向上することを確認した。さらに、従来の位置入力型操作インタフェースとほぼ同等の操作性が得られることを明らかにした。

提案試作したマスタマニピュレータが並進駆動のアクチュエータを有しないことから、位置入力型操作インタフェースで可能な反力の提示ができない問題点があることを明らかにした。この解決のために疑似力覚を用いる方法を提案した。閾値フィルタを通過した入力からスレーブ側で検出した反力を引いた値を新たな目標の力とし、スレーブ側で接触がある場合には、より大きな操作入力が必要とすることで、疑似的に力覚を提示するものである。縫合糸の引っ張り実験を実施し、従来の位置入力型操作インタフェースで反力を提示した場合とほぼ同等の性能が得られることを確認した。

疑似力覚を用いた力覚提示だけでなく、力の方向を提示するために、操作者の人差し指に空気噴流で刺激を与えるデバイスを提案試作した。4つの吹き出し孔から空気噴流を与えるデバイスを試作し、先端のグリップ部に搭載している。吹き出し孔から正圧を発生させるだけでなく、吹き出し孔内で旋回流を発生させ負圧を形成する方法を提案している。これによって押し付け力だけでなく、引っ張り力の提示も可能とした。スレーブ側鉗子を模擬臓器に刺入する実験を実施し、針の位置決め精度の向上を確認した。

以上で本論文では、マスタスレーブ型手術支援ロボットシステムのマスタマニピュレータとして、並進方向に力入力を採用した新たな操作インタフェースを提案・試作した。さらに、力提示ができない課題を解決するために、疑似力覚を用いる方法と先端に空気噴流を用いて力の方向を提示するデバイスを提案し、上記の有効性を実験によって明らかにした。