

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	内視鏡把持ロボットのためのモーションセンサを用いた非接触型操縦 インタフェースの提案
Title(English)	
著者(和文)	宮崎良兼, 菅野貴皓, 遠藤玄, 只野耕太郎, 川嶋健嗣
Authors(English)	Ryoken Miyazaki, Takahiro Kanno, Gen Endo, Kotaro Tadano, Kenji Kawashima
出典(和文)	日本ロボット学会学術講演会, , , 3H1-01
Citation(English)	, , , 3H1-01
発行日 / Pub. date	2014, 9
Note	このファイルは著者（最終）版です。 This file is author (final) version.

内視鏡把持ロボットのためのモーションセンサを用いた非接触型操縦インタフェースの提案

○宮崎良兼(医科歯科大) 菅野貴皓(医科歯科大) 遠藤玄(医科歯科大)

只野耕太郎(東工大) 川嶋健嗣(医科歯科大)

1. はじめに

内視鏡外科手術の件数が近年増加している。内視鏡外科手術とは、患者の腹部に小さな穴を空け、そこに体内を見るための内視鏡と施術をおこなうための鉗子を挿入して手術をおこなう。これは従来の開腹手術に比べて低侵襲であるため、患者への負担も少なく、入院期間も短縮される。

この手術では、鉗子で施術をする手術者と内視鏡の操作を専任するスコピストの2名が連携して手術をおこなう。スコピストは内視鏡を手で把持する必要があるため、手ブレによって映像が乱れる、患者の周辺に人が密集する、スコピストの疲労蓄積等の問題点が挙げられており、改善策が求められている。

これらを解決するために、内視鏡をスコピストの代わりにロボットが把持して操作するシステムが既に提案されている。Computer Motion 社 [1] は、コントローラで内視鏡把持ロボットを操作することを提案した。ロボットが内視鏡を把持することで、手ブレの補正や挿入部付近で人が密集する問題は解消されている。しかし、内視鏡を操作する際に、不潔部であるコントローラを持つ必要があり、衛生面に課題が残る。また、ボタンによる操作では等速運動しかできず直感的に操作することが難しい。

只野ら [2] は手術者が装着するヘッドマウントディスプレイに加速度センサを取り付けることで、手術者の頭の動きに合わせて内視鏡カメラを操作するシステムを提案した。手ブレ等の問題を解決していることに加えて、手術者が内視鏡を操作できるため、スコピストが不要になるという面では優れている。しかし、手術者の体にセンサを付ける必要があることや、内視鏡を操作する際にフットペダルでモードを切り替える必要があることから、手術者の作業が増えてしまう。

そこで、本研究では助手による内視鏡操作が可能となるシステムを検討する。通常、外科手術においては、スコピスト以外にも出血の吸引作業等を担当する医師が助手としてサポートする。そのため、手術者は施術に専念して、この助手がロボットを用いた内視鏡操作と他のサポート作業の両方を担うことで、手ブレなどの解消のほか、医師不足などの課題にも対処できると考えられる。

先に挙げた関連研究から、ロボットによって内視鏡を把持する手法は有効であるものの操作性の面で課題が残る。そこで本研究では、内視鏡システムにおいて操作者の清潔性を確保し、かつ直感的に操作できることを目的に、モーションセンサを用いた

非接触型インタフェースを提案する。操作にモーションセンサを用いることで、非接触性と手の動作に合わせ内視鏡を操作できる直感性を実現する。

2. 提案システムの概要

本提案システムは、マスタを操作者の手、スレーブを内視鏡保持ロボットとするマスタスレーブシステムであり、通信にはUDPを用いる。この概略図を図1に示す。3章・4章でそれぞれスレーブ側とマスタ側のシステムについて述べる。また、本システムの基本仕様は下記の通りとする。

- 内視鏡手術に必要な4自由度動作および一時停止を右手で制御する。
- 人間の手の可動域内で操作する。
- 緊急時対策以外には、フットペダルスイッチ等の外部スイッチを使用しない。
- 動作を切り替える際にジェスチャーのような特別な動作を必要としない。
- 微細な制御を可能とする。

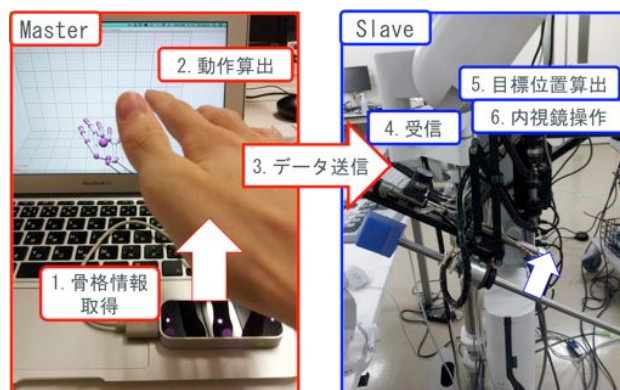


図1 提案システム概略図

3. スレーブ：内視鏡把持ロボット

スレーブには図2に示すような著者らの研究室で開発されている内視鏡把持ロボットを用いる。このロボットは、内視鏡操作に必要な上下、左右、前後、回転の4自由度を有している。各関節の可動範囲を表1に示す。また、空圧制御であるため滑らかな動作が可能である。

提案システムのブロック線図を図3に示す。本システムではマスタから送信された目標速度を積分し、内視鏡先端の目標位置を導出する。これを把持アームの逆運動学演算によって各関節変位の目標値に変換し、逆動力学的フィードフォワード補償を加えたPD制御によって各関節が発生すべき目標トルクを計算する。目標トルクを空気圧アクチュエー

タ変位から関節変位までのヤコビアンを用いて、空気圧アクチュエータの目標駆動力に変換する。さらに、目標駆動力を目標圧力に変換し、空気圧センサの値との誤差をフィードバックし、PID制御則によってサーボバルブを操作することで目標駆動力を実現する。

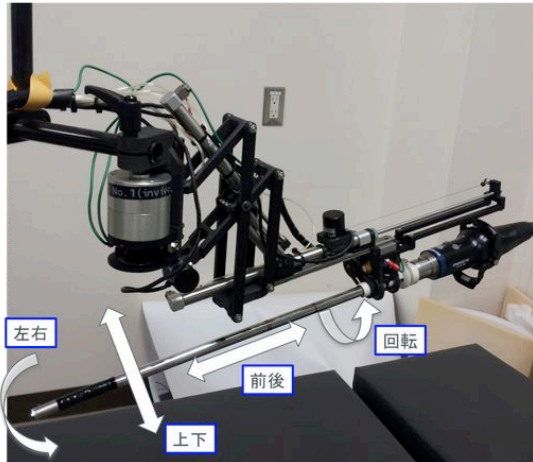


図2 内視鏡把持ロボット

表1 内視鏡把持ロボットの可動範囲

動作	可動範囲
上下	$-50^{\circ} \sim +10^{\circ}$
左右	$\pm 60^{\circ}$
前後	$\pm 70 \text{ mm}$
回転	$\pm 170^{\circ}$

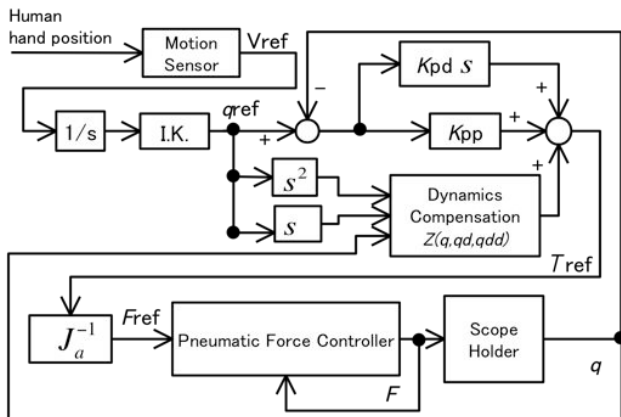


図3 内視鏡把持ロボットのブロック線図

4. マスタ：モーションセンサ

モーションセンサから取得した手の情報の差分から速度を導出し、目標速度としてスレーブへ送ることで、スレーブの4自由度と一時停止を制御する。図4にフローチャートを示す。センサで取得したデータに対して平滑化をおこなった後に、スレーブへデータを送る。

4.1 モーションセンサ

本研究では、モーションセンサに Leap Motion 社の Leap Motion [3] (図5) を使用する。本センサ

の仕様を表2に示す。

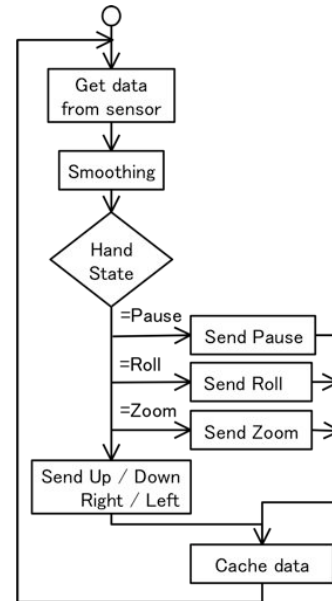


図4 マスタのフローチャート

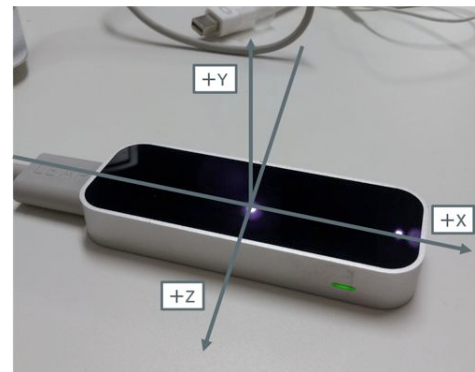


図5 Leap Motion

表2 センサの主な仕様

項目	値
ソフトウェアバージョン	2.0.3+17004
搭載センサ	3 IR LEDs & 2 Cameras
フレームレート	120[fps]
解像度	0.01[mm]
高さ×幅×奥行き	12.7×30.4×76.2[mm]
重量	45.3[g]

センサの中心を原点として、検出範囲内の指の各関節・掌の中心・手首の XYZ 座標を取得することができる。また、滅菌シートで覆った場合でもセンシングが可能であることを著者らは実験的に確認しており、衛生管理が必要な手術室でも利用可能である。

4.2 右手との連動

スレーブの動作と対応する手の動作を定義する。スレーブへは UDP を用いて目標値を送信する。図6は本提案システムで利用する右手の骨格位置を示しており中指の先端 Mt, 中指の MP 関節 Mm, 親指の先端 Tt, 小指の先端 Pt, 掌の中心 Pa, 手首 W として、これらはセンサ中心部を原点 0 とする検知範囲内で、それぞれ XYZ 座標を取得することができる。

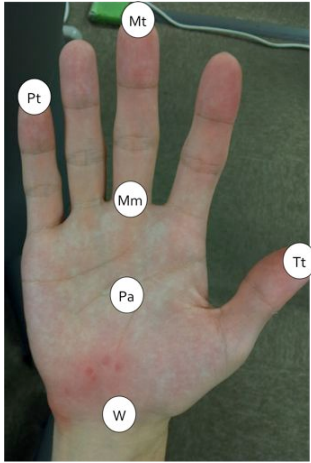


図 6 右手の骨格位置

これらのデータに対して 10 フレーム(約 0.083 秒)分の単純移動平均を求めることで平滑化する。回転動作の後に、前後動作をおこなうなど動作が変わる場合には、20 フレーム(約 0.167 秒)分を読み捨てることで誤作動が生じるのを回避する。次節ではスレーブの各々の関節の動作と対応する手の動作の関係を定義する。

4.2.1 一時停止

一時停止には、図 7 のような手を握った場合とセンサが手を見失った場合を割り当てる。このとき、回転、前後、上下、左右の目標速度を 0 とすることで、スレーブを一時停止させる。

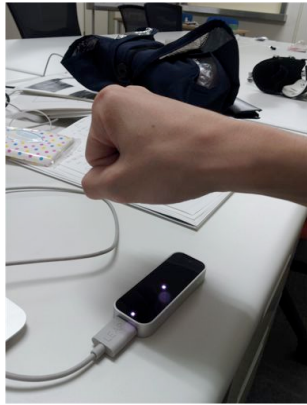


図 7 右手の一時停止動作

4.2.2 回転

回転の制御には、図 8 のような手を左右に傾かせた状態を割り当てる。判定条件として、掌のなす Roll 角 Φ と、点 Tt の Y 座標と点 Pt の Y 座標の差が閾値を超えた場合に動作させる。しかし、手の傾きだけで表 2 の回転の可動範囲を補うにはアップスケーリングが必要となり、微細な制御ができなくなる。そこで手の Roll 角の正負に合わせた、一定の速度値を目標速度とする。



図 8 右手の回転動作

4.2.3 前後

前後の制御には図 9 のようなセンサ空間内で手を傾けた状態で、手の Z 軸方向への動作を割り当てる。判定条件として、掌のなす Pitch 角 θ が閾値を超えていて、かつ点 Mt の Y 座標と点 W の Y 座標の差が、点 Mt と点 Mm の距離より長い場合に動作させる。このとき、点 W の Z 座標の変位から求めた移動距離を時間で微分したものを目標速度とする。



図 9 右手の前後動作

4.2.4 上下・左右

上下、左右制御には図 10 のようなセンサ空間内での手の Y 軸方向、X 軸方向への動作をそれぞれ割り当てる。他の動作がおこなわれていない場合に動作させる。点 Pa の XY 座標の変位から求めた移動距離を時間で微分したものを目標速度とする。



図 10 右手の上下・左右動作

5. 評価実験

本システムが従来のシステムと比較して優位性があるか評価実験をおこなう。

5.1 実験方法

視界を遮ったドライボックス内に、番号が書かれた目標1と目標2を設置し、内視鏡を奥まで挿入する(図11)。被験者はディスプレイに映された内視鏡の映像を頼りに、この目標を番号順に探す。実際の手術では状況に合わせて目標を見やすくするために内視鏡を近づける必要があることから、本実験では各番号がディスプレイ幅の1/3以上を占めたときに目標を捉えたとする。このときの所要時間を操作方法ごとに比較する。また、本実験では直感性を評価するために被験者には十分な操作トレーニングをおこなわないものとする。

本実験では下記の操作方法の比較をおこなう。

- ・手動で内視鏡を操作した場合。
- ・頭に装着したジャイロセンサで操作した場合。
- ・本提案システムで操作した場合。

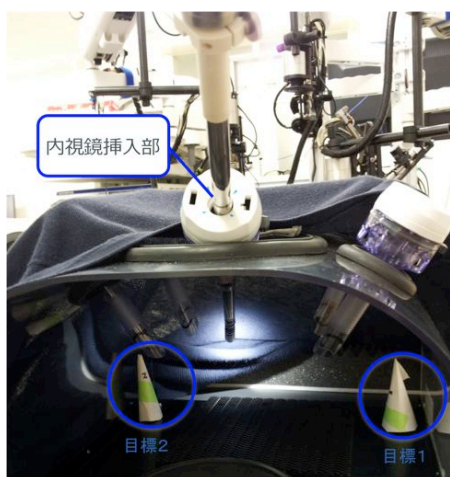


図11 実験環境

5.2 結果

図12に被験者A-Eの5名による評価実験の結果である。縦軸が所要時間を、横軸に被験者ごとの結果を示す。

衛生面の問題を考慮しなければ、自分の手で内視鏡を直接操作するのが最も操作性が良いのは自明である。また、個人差はあるものの、本提案システムとジャイロセンサを比べた場合では同程度の結果を得ることができた。個別の結果を見ると、被験者Bがジャイロセンサを用いた場合、フットペダルスイッチによる動作の切り替えがうまくできなかったため、他者よりも悪い結果となった。同様に、被験者Dが提案システムを用いた場合、前後の操作方法と上下・左右の操作方法を混在してしまったため、他者よりも悪い結果となり、これらは操作への慣れに起因するものだと考えられる。本実験では直感性を評価するために十分な操作トレーニングを

おこなわなかった。このことから十分なトレーニングをおこなった場合では、提案システムとジャイロセンサを用いたときでは同程度の結果が得られることが期待できる。

この結果は、体にセンサを取り付けずに非接触で内視鏡把持ロボットを操作する手法としては、有効であると考えられる。

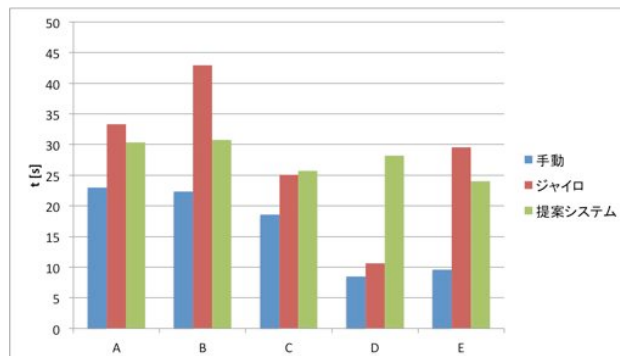


図12 実験結果

6. まとめ

本論文では、内視鏡外科手術における内視鏡把持ロボットの操作における問題点を解決するため、衛生面と操作の直感性に優れたモーションセンサを利用した操作を提案し、評価実験を行って他の操作方法との比較をした。結果として、時間的に優位な結果を得ることができなかったものの、提案システムで従来のものと同程度の結果を得られたことから、本提案が有効であると結論付けた。今後の課題として、トレーニングを行った被験者による実験、操作性向上のために操作者の右手の情報を視覚的に提示することやスレーブ側の可動範囲の拡大・挿入部の位置決めをの単純化があげられる。

参考文献

- [1] Sackier JM, Wang W: "Robotically assisted laparoscopic surgery; From concept to development." *Surgical Endoscopy*, 8, 63-66, 1994.
- [2] 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 田中直文, 小嶋一幸: "空気圧駆動ロボットアームとヘッドマウントディスプレイを用いた立体内視鏡操作システム", 日本医工学治療学会, Vol.24, No.3, pp.177-184, 2012.
- [3] "Leap motion Developer Portal", <https://developer.leapmotion.com/>