

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-100677
(P2015-100677A)

(43) 公開日 平成27年6月4日(2015.6.4)

| | | |
|-------------------------|---------------------|-------------|
| (51) Int.Cl. | F 1 | テーマコード (参考) |
| A 6 1 B 19/00 (2006.01) | A 6 1 B 19/00 5 0 2 | 3 C 7 0 7 |
| B 2 5 J 13/08 (2006.01) | B 2 5 J 13/08 Z | |
| B 2 5 J 19/02 (2006.01) | B 2 5 J 19/02 | |

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2013-245948 (P2013-245948)
(22) 出願日 平成25年11月28日 (2013.11.28)

(出願人による申告)平成24年度、文部科学省、イノベーションシステム整備事業、大学発新産業創出拠点プロジェクト (START)、「気体の超精密制御技術を基盤とした低侵襲手術支援ロボットシステムの開発」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 304021417
国立大学法人東京工業大学
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
(74) 代理人 100064414
弁理士 磯野 道造
(72) 発明者 見上 慧
東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人東京工業大学内
(72) 発明者 只野 耕太郎
東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人東京工業大学内
Fターム(参考) 3C707 AS35 KS31 KS33 KW01 KX05
KX06 KX10 MS07

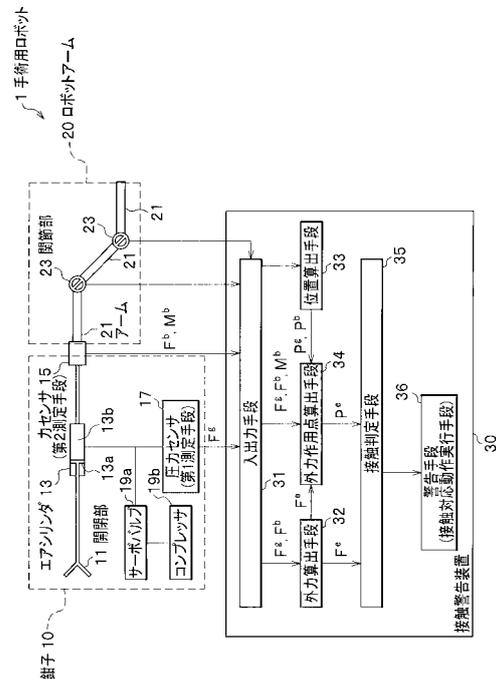
(54) 【発明の名称】 手術用ロボット

(57) 【要約】

【課題】本願発明は、鉗子10の先端以外でも物体の接触を検知できる手術用ロボット1を提供する。

【解決手段】手術用ロボット1は、鉗子10の先端及びベースに加わる力に基づいて、鉗子10の合力がゼロとなるように外力を算出する外力算出手段32と、鉗子10の先端に加わる力と、鉗子10のベースに加わる力及びモーメントと、鉗子10の先端位置及びベース位置とに基づいて、鉗子10のモーメントの合計がゼロとなるように外力作用点を算出する外力作用点算出手段34と、外力又は外力作用点の少なくとも一方に基づいて、鉗子10の先端からベースまでの間に物体が接触したか否かを判定する接触判定手段35と、接触判定手段35で接触したと判定された場合、鉗子10の接触を警告する警告手段36と、を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

手術器具と、前記手術器具が装着されたロボットアームとを備える手術用ロボットであって、

前記手術器具の先端に加わる力を測定する第 1 測定手段と、

前記ロボットアームに装着された前記手術器具の基端に加わる力及びモーメントを測定する第 2 測定手段と、

前記手術器具の先端及び基端に加わる力に基づいて、前記手術器具の合力がゼロとなるように、前記手術器具の先端から基端までの間に加わる外力を算出する外力算出手段と、

前記手術器具の先端に加わる力と、前記手術器具の基端に加わる力及びモーメントと、前記手術器具の先端及び基端の位置とに基づいて、前記手術器具のモーメントの合計がゼロとなるように、前記外力算出手段で算出した外力が加わった外力作用点を算出する外力作用点算出手段と、

前記外力算出手段が算出した外力、又は、前記外力作用点算出手段が算出した外力作用点の少なくとも一方に基づいて、前記手術器具の先端から基端までの間に物体が接触したか否かを判定する接触判定手段と、

前記接触判定手段で接触したと判定された場合、前記手術器具の接触を警告する、又は、前記手術器具が前記物体に接触しないように前記ロボットアームを制御する接触対応動作を実行する接触対応動作実行手段と、

を備えることを特徴とする手術用ロボット。

【請求項 2】

前記外力算出手段は、式(2)を用いて、前記手術器具の先端から基端までの間に加わる外力 F^e として、前記手術器具の先端に加わる力 F^g と、前記手術器具の基端に加わる力 F^b との合計値の反数を算出し、

【数 1】

$$F^e = -(F^g + F^b)$$

…式(2)

前記外力作用点算出手段は、前記手術器具の先端位置 P^g 及び前記手術器具の基端位置 P^b が含まれる式(3)を用いて、前記手術器具の先端におけるモーメント $F^g \times (P^g - P^b)$ と、前記手術器具の外力作用点におけるモーメント $F^e \times (P^e - P^b)$ と、前記手術器具の基端におけるモーメント M^b との合計がゼロとなるように、前記外力作用点 P^e を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の手術用ロボット。

【数 2】

$$F^g \times (P^g - P^b) + F^e \times (P^e - P^b) + M^b = 0$$

…式(3)

【請求項 3】

前記接触判定手段は、

前記外力作用点の変化量が予め設定された閾値を超えたか否かを判定し、

前記外力作用点の変化量が前記閾値を超えた場合、前記手術器具の先端から基端までの間に物体が接触したと判定することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の手術用ロボット。

【請求項 4】

前記手術器具は、鉗子であり、

前記鉗子を開閉させるエアシリンダと、

前記エアシリンダを加圧又は減圧するサーボバルブと、をさらに備え、

前記第 1 測定手段は、前記エアシリンダの圧力変化により、前記鉗子の先端に加わる力を測定する圧力センサであることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 の何れか一項に記載

10

20

30

40

50

の手術用ロボット。

【請求項 5】

前記外力作用点算出手段は、前記ロボットアームが配置された空間の基底平面毎に、前記基底平面上の直線と前記外力作用点の基底平面上の写像との交点に前記手術器具の姿勢を示す重み付けを行って、前記外力作用点の推定値をさらに算出し、

前記接触判定手段は、前記外力作用点の代わりに前記外力作用点の推定値を用いて、前記手術器具の先端から基端までの間に物体が接触したか否かを判定することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載の手術用ロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本願発明は、鉗子、内視鏡等の手術器具が装着されたロボットアームを備える手術用ロボットに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、外科手術において、患者の痛みの低減、入院期間の短縮や傷跡の縮小といった QOL (Quality Of Life) 重視の観点から、腹腔鏡下手術が広く行なわれている。腹腔鏡下手術とは、術者が細い筒 (トロツカール) から鉗子を入れ、腹腔鏡の映像を観察しながら手術を行うものである。この内視鏡手術は、開腹手術より傷口が小さくて済むことから、患者への負担が少ない。

20

【0003】

ここで、腹腔鏡下手術では、鉗子、内視鏡等の手術器具を保持するロボットアームを備えた手術用ロボット (鉗子ロボット) が広く利用されている (例えば、特許文献 1 参照)。従来、手術用ロボットは、鉗子の先端に備えられたセンサ、カメラ等の接触検知手段により、患者体内に挿入された鉗子と、患者の血管、筋肉、臓器等の物体との接触を検知する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2013 - 132747 号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、従来、手術用ロボットは、鉗子の先端にしか接触検知手段が設けられていないので、鉗子の先端以外では物体の接触を検知できず、患者を傷つけてしまう恐れがある。

【0006】

そこで、本願発明は、前記した問題を解決し、手術器具の先端以外でも物体の接触を検知できる手術用ロボットを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

40

前記した課題に鑑みて、本願第 1 発明に係る手術用ロボットは、手術器具と、前記手術器具が装着されたロボットアームとを備える手術用ロボットであって、前記手術器具の先端に加わる力を測定する第 1 測定手段と、前記ロボットアームに装着された前記手術器具の基端に加わる力及びモーメントを測定する第 2 測定手段と、前記手術器具の先端及び基端に加わる力に基づいて、前記手術器具の合力がゼロとなるように、前記手術器具の先端から基端までの間に加わる外力を算出する外力算出手段と、前記手術器具の先端に加わる力と、前記手術器具の基端に加わる力及びモーメントと、前記手術器具の先端及び基端の位置とに基づいて、前記手術器具のモーメントの合計がゼロとなるように、前記外力算出手段で算出した外力が加わった外力作用点を算出する外力作用点算出手段と、前記外力算出手段が算出した外力、又は、前記外力作用点算出手段が算出した外力作用点の少なくと

50

も一方に基づいて、前記手術器具の先端から基端までの間に物体が接触したか否かを判定する接触判定手段と、前記接触判定手段で接触したと判定された場合、前記手術器具の接触を警告する、又は、前記手術器具が前記物体に接触しないように前記ロボットアームを制御する接触対応動作を実行する接触対応動作実行手段と、を備えることを特徴とする。

【0008】

かかる構成によれば、手術用ロボットは、手術器具の先端から基端までの間に接触検知手段を備えることなく、槌子の原理により、手術器具の先端から基端までの間に加わる外力及び外力作用点を算出することができる。

【0009】

また、本願第2発明に係る手術用ロボットは、前記外力算出手段が、後記する式(2)を用いて、前記手術器具の先端から基端までの間に加わる外力 F^e として、前記手術器具の先端に加わる力 F^s と、前記手術器具の基端に加わる力 F^b との合計値の反数を算出し、前記外力作用点算出手段が、前記手術器具の先端位置 P^s 及び前記手術器具の基端位置 P^b が含まれる式(3)を用いて、前記手術器具の先端におけるモーメント $F^s \times (P^s - P^b)$ と、前記手術器具の外力作用点におけるモーメント $F^e \times (P^e - P^b)$ と、前記手術器具の基端におけるモーメント M^b との合計がゼロとなるように、前記外力作用点 P^e を算出することが好ましい。

かかる構成によれば、手術用ロボットは、簡易な演算式で外力及び外力作用点を算出することができる。

【0010】

また、本願第3発明に係る手術用ロボットは、前記接触判定手段が、前記外力作用点の変化量が予め設定された閾値を超えたか否かを判定し、前記外力作用点の変化量が前記閾値を超えた場合、前記手術器具の先端から基端までの間に物体が接触したと判定することが好ましい。

【0011】

ここで、手術器具は、手術器具を患者体内に挿入するためのポートと接触していることが多い。このため、外力作用点算出手段が算出する外力作用点は、通常、手術器具が接触するポート位置になり、あまり変化しない。従って、手術用ロボットは、外力作用点が大きく変化した場合、手術器具の先端から基端までの間に物体が接触した可能性が高いので、接触があったと判定する。

【0012】

また、本願第4発明に係る手術用ロボットは、前記手術器具が、鉗子であり、前記鉗子を開閉させるエアシリンダと、前記エアシリンダを加圧又は減圧するコンプレッサと、をさらに備え、前記第1測定手段が、前記エアシリンダの圧力変化により、前記鉗子の先端に加わる力を測定する圧力センサであることが好ましい。

かかる構成によれば、手術用ロボットは、鉗子を空気圧駆動すると共に、この鉗子に加わる力を空気圧による力覚応答から求めることができる。

【0013】

また、本願第5発明に係る手術用ロボットは、前記外力作用点算出手段が、前記ロボットアームが配置された空間の基底平面毎に、前記基底平面上の直線と前記外力作用点の基底平面上の写像との交点に前記手術器具の姿勢を示す重み付けを行って、前記外力作用点の推定値をさらに算出し、前記接触判定手段が、前記外力作用点の代わりに前記外力作用点の推定値を用いて、前記手術器具の先端から基端までの間に物体が接触したか否かを判定することが好ましい。

かかる構成によれば、手術用ロボットは、手術器具の姿勢の影響を受けにくく、外力作用点を高い精度で推定することができる。

【発明の効果】

【0014】

本願発明によれば、以下のような優れた効果を奏する。

本願第1発明によれば、槌子の原理により、手術器具の先端から基端までの間に加わる

10

20

30

40

50

外力及び外力作用点を算出し、手術器具の先端以外でも物体の接触を検知することができる。さらに、本願第1発明によれば、手術器具の先端から基端までの間にセンサを備える必要がないので、簡易な構成を実現し、低コスト化を図ることができる。

【0015】

本願第2発明によれば、簡易な演算式で外力及び外力作用点を算出できるので、演算負荷を軽減し、演算処理の高速化を図ることができる。

本願第3発明によれば、手術器具の先端から基端までの間に物体が接触したことを、正確に検知することができる。

本願第4発明によれば、鉗子を空気圧駆動し、手術用ロボットの操作者にリアルな力覚提示を行うことができるので、手術用ロボットの操作性を向上させることができる。

本願第5発明によれば、外力作用点を高い精度で推定できるので、手術器具の先端から基端までの間に物体が接触したことを、より正確に検知することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本願発明の実施形態に係る手術用ロボットの構成を示すブロック図である。

【図2】図1の接触判定手段による判定手法を説明するための説明図であり、(a)は鉗子がポートに接触している状態を示し、(b)は鉗子が臓器に接触している状態を示す。

【図3】本願発明の実施形態において、鉗子に作用する外力及び外力作用点を模式的に表した模式図である。

【図4】本願発明の実施形態において、外力作用点の算出を説明するための説明図である。

【図5】本願発明の実施形態において、鉗子に作用する外力の3次元成分を模式的に表した模式図である。

【図6】図1の接触警告装置の動作を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

[手術用ロボットの構成]

図1を参照し、本願発明の実施形態に係る手術用ロボット1の構成について、詳細に説明する。

図1に示すように、手術用ロボット1は、腹腔鏡下手術に用いられる鉗子ロボットであり、鉗子10と、ロボットアーム20と、接触警告装置30とを備える。

また、手術用ロボット1は、図示を省略した操作手段(例えば、マスタマニピュレータ)に接続されている。この操作手段は、手術用ロボット1の操作者(例えば、医師)が鉗子10及びロボットアーム20を操作するためのインターフェースである。

そして、手術用ロボット1は、操作手段からの操作信号に応じて、鉗子10及びロボットアーム20が駆動する。このとき、鉗子10が患者の体内で血管、筋肉又は臓器に接触した場合、鉗子10が患者を傷つける恐れがある。そこで、接触警告装置30が、この接触を検知して、操作者に警告する。

【0018】

< 鉗子 >

鉗子10は、患者に取り付けられたポート90から、患者の腹腔92に挿入される手術器具である(図2)。この鉗子10は、空気圧駆動式であり、開閉部11と、エアシリンダ13と、力センサ(第2測定手段)15と、圧力センサ(第1測定手段)17と、サーボバルブ19aと、コンプレッサ19bとを備える。

【0019】

開閉部11は、物体(例えば、患者の血管、筋肉、臓器)を掴む、抑える、牽引するためのものである。この開閉部11は、開閉可能な構造を有しており、鉗子10の先端に設けられている。また、開閉部11は、エアシリンダ13とワイヤ(不図示)を介して、接続されている。

【0020】

10

20

30

40

50

エアシリンダ 13 は、開閉部 11 を開閉させるものである。例えば、エアシリンダ 13 は、円筒形で内壁が滑らかに形成され、エアシリンダ 13 の長手方向に移動可能なピストン 13 a を備える。また、エアシリンダ 13 は、このエアシリンダ 13 の内壁及びピストン 13 a により、空気が満たされた気密室 13 b を形成する。また、エアシリンダ 13 は、この気密室 13 b を加圧及び減圧できるように、サーボバルブ 19 a に接続されている。

【0021】

力センサ 15 は、鉗子 10 のベース（基端）に加わる力 F^b 及びモーメント M^b を測定し、後記する接触警告装置 30 に出力するものである。例えば、力センサ 15 として、歪ゲージを用いた力センサ、又は、圧電効果を利用した力センサがあげられる。

10

なお、ベースとは、鉗子 10 をロボットアーム 20 に取り付けられた場所のことである。

【0022】

圧力センサ 17 は、エアシリンダ 13 の圧力変化により、鉗子 10 の先端に加わる力 F^s を測定し、接触警告装置 30 に出力するものである。例えば、圧力センサ 17 として、歪ゲージ又は圧電効果を利用したものがあげられる。

【0023】

サーボバルブ 19 a は、エアシリンダ 13 を加圧又は減圧するものである。

例えば、サーボバルブ 19 a は、操作手段から、開閉部 11 を開くことを示す操作信号（不図示）が入力されると、エアシリンダ 13 の気密室 13 b を加圧する。これによって、ピストン 13 a が開閉部 11 に近づいてワイヤが伸び、開閉部 11 が開く。

20

一方、サーボバルブ 19 a は、操作手段から、開閉部 11 を閉じることを示す操作信号が入力されると、エアシリンダ 13 の気密室 13 b を減圧する。これによって、ピストン 13 a が開閉部 11 から遠ざかってワイヤが縮み、開閉部 11 が閉じる。

コンプレッサ 19 b は、外気を圧縮して、サーボバルブ 19 a に供給するものである。

【0024】

<ロボットアーム>

ロボットアーム 20 は、鉗子 10 が装着されたシリアルリンクマニピュレータである。このロボットアーム 20 は、複数のアーム 21 と、アーム 21 同士を接続する関節部 23 とで構成されている。また、ロボットアーム 20 は、図示を省略したホルダに、腹腔鏡下手術が行いやすい向き及び位置で保持されている。

30

【0025】

また、ロボットアーム 20 は、エンコーダ付き駆動モータ（不図示）が関節部 23 に内蔵されている。このエンコーダ付き駆動モータは、操作手段からの操作信号が入力されると、この操作信号に従ってアーム 21 を駆動する。また、エンコーダ付き駆動モータは、関節部 23 の角度を示す計測信号を接触警告装置 30 に出力する。この計測信号は、鉗子 10 のベース位置 P^b 及び先端位置 P^s を算出するために利用される。

【0026】

<接触警告装置>

接触警告装置 30 は、鉗子 10 と物体（例えば、患者の血管、筋肉、臓器）との接触を検知し、接触を検知したときに警告するものである。この接触警告装置 30 は、入出力手段 31 と、外力算出手段 32 と、位置算出手段 33 と、外力作用点算出手段 34 と、接触判定手段 35 と、警告手段（接触対応動作実行手段）36 とを備える。

40

【0027】

入出力手段 31 は、鉗子 10 から、接触警告装置 30 での演算に必要な各種パラメータとして、力 F^b 、 F^s と、モーメント M^b が入力され、ロボットアーム 20 から計測信号が入力されるものである。

【0028】

この入出力手段 31 は、力 F^b 、 F^s を外力算出手段 32 に出力する。また、入出力手段 31 は、計測信号を位置算出手段 33 に出力する。さらに、入出力手段 31 は、力 F^b 、 F^s と、モーメント M^b とを外力作用点算出手段 34 に出力する。

50

【 0 0 2 9 】

外力算出手段 3 2 は、入出力手段 3 1 から入力された力 F^b , F^g に基づいて、鉗子 1 0 の合力がゼロとなるように、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に加わる外力 F^e を算出するものである。この外力算出手段 3 2 は、算出した外力 F^e を外力作用点算出手段 3 4 及び接触判定手段 3 5 に出力する。

なお、外力算出手段 3 2 による外力 F^e の算出は、詳細を後記する。

【 0 0 3 0 】

位置算出手段 3 3 は、入出力手段 3 1 から入力された計測信号に基づいて、鉗子 1 0 の先端位置 P^g と、鉗子 1 0 のベース位置 P^b とを算出するものである。例えば、位置算出手段 3 3 は、ベース位置 P^b を、ロボットアーム 2 0 のリンク長と、関節部 2 3 の角度を示す計測信号とから、幾何学演算により算出できる。また、ロボットアーム 2 0 の先端に取り付けられた鉗子 1 0 の長さ及び方向が既知である。従って、位置算出手段 3 3 は、鉗子 1 0 の長さ及び方向と、ベース位置 P^b とから、先端位置 P^g を幾何学演算により算出できる。そして、位置算出手段 3 3 は、鉗子 1 0 のベース位置 P^b と、先端位置 P^g とを外力作用点算出手段 3 4 に出力する。

10

【 0 0 3 1 】

外力作用点算出手段 3 4 は、力 F^b , F^g 及びモーメント M^b と、鉗子 1 0 のベース位置 P^b 及び先端位置 P^g とに基づいて、鉗子 1 0 のモーメントの合計がゼロとなるように、外力 F^e が加わった外力作用点 P^e を算出するものである。

ここで、外力作用点算出手段 3 4 は、入出力手段 3 1 から力 F^b , F^g 及びモーメント M^b が入力され、外力算出手段 3 2 から外力 F^e が入力され、位置算出手段 3 3 からベース位置 P^b 及び先端位置 P^g が入力される。

20

そして、外力作用点算出手段 3 4 は、算出した外力作用点 P^e を接触判定手段 3 5 に出力する。

なお、外力作用点算出手段 3 4 による外力作用点 P^e の算出は、詳細を後記する。

【 0 0 3 2 】

接触判定手段 3 5 は、外力算出手段 3 2 から入力された外力 F^e 、又は、外力作用点算出手段 3 4 から入力された外力作用点 P^e の少なくとも一方に基づいて、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触したか否かを判定するものである。

【 0 0 3 3 】

以下、図 2 を参照し、接触判定手段 3 5 による判定手法について、具体的に説明する（適宜図 1 参照）。

30

図 2 (a) に示すように、腹腔鏡下手術では、患者の腹腔 9 2 に挿入された鉗子 1 0 は、患者の体表 9 1 に取り付けられたポート 9 0 と接触していることが多い。このため、外力作用点算出手段 3 4 は、外力作用点 P^e として、鉗子 1 0 が接触するポート 9 0 の位置を算出する。従って、腹腔鏡下手術中、外力作用点 P^e は、あまり変化しない。

【 0 0 3 4 】

ここで、図 2 (b) に示すように、鉗子 1 0 が患者の臓器 9 3 に接触した場合を考える。この場合、外力作用点算出手段 3 4 は、外力作用点 P^e として、鉗子 1 0 が患者の臓器 9 3 に接触した位置を算出する。つまり、図 2 (a) 及び図 2 (b) のように、外力作用点 P^e が大きく変化した場合、鉗子 1 0 が患者の臓器 9 3 に接触した可能性が高い。

40

【 0 0 3 5 】

具体的には、接触判定手段 3 5 は、予め設定された時間内における外力作用点 P^e の変化量 ΔP^e を算出する。そして、接触判定手段 3 5 は、算出した変化量 ΔP^e が、予め設定された閾値 t_{h1} を超えたか否かを判定する。

【 0 0 3 6 】

そして、接触判定手段 3 5 は、変化量 ΔP^e が閾値 t_{h1} を超えた場合、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触したと判定する。この場合、接触判定手段 3 5 は、警告（接触対応動作）の実行を、警告手段 3 6 に指令する。

【 0 0 3 7 】

50

図 1 に戻り、手術用ロボット 1 の構成について、説明を続ける。

警告手段 3 6 は、接触判定手段 3 5 から警告の実行を指令された場合、鉗子 1 0 の接触を警告するものである。この警告手段 3 6 は、警告手法が特に制限されず、例えば、操作手段の振動、警告音の出力又は警告メッセージの表示を行うことができる。さらに、警告手段 3 6 は、前記した警告手法を複数組み合わせてもよい。

【 0 0 3 8 】

< 外力の算出 >

図 3 を参照し、外力算出手段 3 2 による外力 F^e の算出について、具体的に説明する（適宜図 1 参照）。

図 3 の鉗子 1 0 では、下記の式 (1) で表されるように、鉗子 1 0 の先端に加わる力 F^g と、外力作用点 P^e に加わる外力 F^e と、鉗子 1 0 のベースに加わる力 F^b との合力がゼロになる。

【 0 0 3 9 】

【 数 1 】

$$F^g + F^e + F^b = 0$$

…式 (1)

【 0 0 4 0 】

従って、外力算出手段 3 2 は、式 (2) を用いて、外力作用点 P^e に加わる外力 F^e として、鉗子 1 0 の先端に加わる力 F^g と、鉗子 1 0 のベースに加わる F^b との合計値の反数を算出する。

【 0 0 4 1 】

【 数 2 】

$$F^e = -(F^g + F^b)$$

…式 (2)

【 0 0 4 2 】

< 外力作用点の算出 >

図 3 ~ 図 5 を参照し、外力作用点算出手段 3 4 による外力作用点 P^e の算出について、具体的に説明する（適宜図 1 参照）。

図 3 では、鉗子 1 0 の外周面に位置する外力作用点 P^e が鉗子 1 0 の中心軸上に位置するとみなしている。

【 0 0 4 3 】

外力作用点算出手段 3 4 は、下記の式 (3) を用いて、外力作用点 P^e を算出できる。この式 (3) は、鉗子 1 0 の先端位置 P^g におけるモーメント $F^g \times (P^g - P^b)$ と、外力作用点 P^e におけるモーメント $F^e \times (P^e - P^b)$ と、鉗子 1 0 のベース位置 P^b におけるモーメント M^b との合計がゼロとなることを表している。

【 0 0 4 4 】

【 数 3 】

$$F^g \times (P^g - P^b) + F^e \times (P^e - P^b) + M^b = 0$$

…式 (3)

【 0 0 4 5 】

ここで、鉗子 1 0 が配置された空間に、 x 軸、 y 軸及び z 軸からなる 3 次元座標系を設定する。この場合、式 (3) のモーメント M^b は、下記の式 (4) に示すように、モーメント M^b の x 軸まわり成分 M^b_x 、 y 軸まわり成分 M^b_y 及び z 軸まわり成分 M^b_z に分解することができる。

【 0 0 4 6 】

10

20

30

40

【数 4】

$$M^b = \begin{pmatrix} M_x^b \\ M_y^b \\ M_z^b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -F_y^g(P_z^g - P_z^b) + F_z^g(P_y^g - P_y^b) - F_y^e(P_z^e - P_z^b) + F_z^e(P_y^e - P_y^b) \\ -F_z^g(P_x^g - P_x^b) + F_x^g(P_z^g - P_z^b) - F_z^e(P_x^e - P_x^b) + F_x^e(P_z^e - P_z^b) \\ -F_x^g(P_y^g - P_y^b) + F_y^g(P_x^g - P_x^b) - F_x^e(P_y^e - P_y^b) + F_y^e(P_x^e - P_x^b) \end{pmatrix}$$

…式 (4)

【0047】

ここで、 F_x^g 、 F_y^g 、 F_z^g は、それぞれ、力 F^g の x 軸成分、 y 軸成分及び z 軸成分である。

また、 F_x^e 、 F_y^e 、 F_z^e は、それぞれ、力 F^e の x 軸成分、 y 軸成分及び z 軸成分である。

また、 P_x^g 、 P_y^g 、 P_z^g は、それぞれ、先端位置 P^g の x 軸座標、 y 軸座標及び z 軸座標である。

また、 P_x^b 、 P_y^b 、 P_z^b は、それぞれ、ベース位置 P^b の x 軸座標、 y 軸座標及び z 軸座標である。

また、 P_x^e 、 P_y^e 、 P_z^e は、それぞれ、外力作用点 P^e の x 軸座標、 y 軸座標及び z 軸座標である。

【0048】

この式 (4) から、下記の式 (5) のように、外力作用点 P^e の x 軸座標 P_x^e と z 軸座標 P_z^e との関係を表すことができる。また、外力作用点 P^e の x 軸座標 P_x^e と y 軸座標 P_y^e との関係は、下記の式 (6) で表すことができる。

【0049】

【数 5】

$$P_x^e = \frac{-F_z^g(P_x^g - P_x^b) + F_x^g(P_z^g - P_z^b) + (F_x^g + F_x^b)P_z^b - M_y^b}{-(F_z^g + F_z^b)} + P_x^b + \left(\frac{F_x^g + F_x^b}{F_z^g + F_z^b} \right) P_z^e$$

…式 (5)

【0050】

【数 6】

$$P_y^e = \frac{F_x^g(P_y^g - P_y^b) - F_y^g(P_x^g - P_x^b) + (F_x^g + F_x^b)P_y^b + M_z^b}{-(F_x^g + F_x^b)} + P_y^b + \left(\frac{F_x^g + F_x^b}{F_y^g + F_y^b} \right) P_y^e$$

…式 (6)

【0051】

また、外力作用点 P^e の y 軸座標 P_y^e と x 軸座標 P_x^e との関係は、下記の式 (7) で表すことができる。さらに、外力作用点 P^e の y 軸座標 P_y^e と z 軸座標 P_z^e との関係は、下記の式 (8) で表すことができる。

【0052】

【数 7】

$$P_y^e = \frac{-F_x^g(P_y^g - P_y^b) + F_y^g(P_x^g - P_x^b) + (F_y^g + F_y^b)P_x^b - M_z^b}{-(F_x^g + F_x^b)} + P_y^b + \left(\frac{F_y^g + F_y^b}{F_x^g + F_x^b} \right) P_x^e$$

…式 (7)

【0053】

10

20

30

40

【数 8】

$$P_y^e = \frac{-F_y^g(P_z^g - P_z^b) + F_z^g(P_y^g - P_y^b) + (F_y^g + F_y^b)P_z^b - M_x^b}{-(F_z^g + F_z^b)} + P_y^b + \left(\frac{F_y^g + F_y^b}{F_z^g + F_z^b}\right)P_z^e$$

…式 (8)

【0054】

また、外力作用点 P^e の z 軸座標 P_z^e と y 軸座標 P_y^e との関係は、下記の式 (9) で表すことができる。さらに、外力作用点 P^e の z 軸座標 P_z^e と x 軸座標 P_x^e との関係は、下記の式 (10) で表すことができる。

【0055】

【数 9】

$$P_z^e = \frac{-F_x^g(P_y^g - P_y^b) + F_z^g(P_y^g - P_y^b) + (F_z^g + F_z^b)P_y^b - M_x^b}{-(F_y^g + F_y^b)} + P_z^b + \left(\frac{F_z^g + F_z^b}{F_y^g + F_y^b}\right)P_y^e$$

…式 (9)

【0056】

【数 10】

$$P_z^e = \frac{-F_z^g(P_x^g - P_x^b) + F_x^g(P_z^g - P_z^b) + (F_z^g + F_z^b)P_x^b - M_y^b}{-(F_x^g + F_x^b)} + P_z^b + \left(\frac{F_z^g + F_z^b}{F_x^g + F_x^b}\right)P_x^e$$

…式 (10)

【0057】

外力作用点 P^e は、鉗子 10 のベース位置 P^b から先端位置 P^g までを結ぶ直線の上に位置することから、求められる。つまり、式 (5) から、 x 軸 - z 軸平面での鉗子 10 のベース位置 P^b から先端位置 P^g までを結ぶ直線と、 x 軸 - z 軸平面での外力作用点 P^e の写像との交点から、外力作用点 P^e の x 軸座標 P_x^e を求められる。このとき、外力作用点 P^e の x 軸座標 P_x^e の算出には、5 つのパラメータ (F_x^g , F_x^b , F_z^g , F_z^b , M_y^b) が必要である。

【0058】

図 4 に示すように、式 (5) から、ベース位置 P^b を原点とした x 軸 - z 軸平面において、傾き a 及び切片 b の直線を定義した式 (11) を導き出すことができる。図 4 では、この直線を符号 94 で図示した。また、 x 軸 - z 軸平面において、ベース位置 P^b から先端位置 P^g までを結ぶ直線を定義した式 (12) を導き出すことができる。図 4 では、この直線を符号 95 で図示した。つまり、図 4 では、ベース位置 P^b から直線 94, 95 の交点までの x 軸方向の長さ l が外力作用点 P^e の x 軸座標 P_x^e を表すので、この長さ l を求めればよい。

【0059】

10

20

30

40

【数 1 1】

$$P_x^e = aP_z^e + b,$$

$$a = \left(\frac{F_x^g + F_x^b}{F_z^g + F_z^b} \right),$$

$$b = \frac{-F_z^g(P_x^g - P_x^b) + F_x^g(P_z^g - P_z^b) + (F_x^g + F_x^b)P_z^b - M_y^b}{-(F_z^g + F_z^b)}$$

…式 (1 1)

10

【0 0 6 0】

【数 1 2】

$$P_x = cP_z$$

…式 (1 2)

【0 0 6 1】

図 4 の $F_x = F_x^b$ と、 $F_z = F_z^b$ と、モーメント $M = M^b$ が測定されているので、長さ l は、下記の式 (1 3) で求められる。

$$P_x^e = a \cdot P_z^e + b = c \cdot P_z^e$$

$$P_z^e = b / (c - a)$$

$$l = b \cdot c / (c - a) \quad \dots \text{式 (1 3)}$$

20

【0 0 6 2】

式 (5) と同様、式 (6) から、 x 軸 - y 軸平面上で力 F_x^g 、 F_x^b の和と同じ傾きを有する直線と、 x 軸 - y 軸平面への外力作用点 P^e の写像との交点から、外力作用点 P^e の x 軸座標 P_x^e を求められる。図 5 に示すように、 x 軸 - y 軸平面であれば、外力作用点算出手段 3 4 は、5 つのパラメータ (F_x^g 、 F_x^b 、 F_y^g 、 F_y^b 、 M_z^b) が既知なので、式 (6) を用いて、外力作用点 P^e の x 軸座標 P_x^e を算出することができる。

【0 0 6 3】

前記と同様、 y 軸 - x 軸平面において、式 (7) を用いて、外力作用点 P^e の y 軸座標 P_y^e を算出するには、5 つのパラメータ (F_y^g 、 F_y^b 、 F_x^g 、 F_x^b 、 M_z^b) が必要である。

30

前記と同様、 y 軸 - z 軸平面において、式 (8) を用いて、外力作用点 P^e の y 軸座標 P_y^e を算出するには、5 つのパラメータ (F_y^g 、 F_y^b 、 F_z^g 、 F_z^b 、 M_x^b) が必要である。

【0 0 6 4】

前記と同様、 z 軸 - y 軸平面において、式 (9) を用いて、外力作用点 P^e の z 軸座標 P_z^e を算出するには、5 つのパラメータ (F_z^g 、 F_z^b 、 F_y^g 、 F_y^b 、 M_x^b) が必要である。

前記と同様、 z 軸 - x 軸平面において、式 (10) を用いて、外力作用点 P^e の z 軸座標 P_z^e を算出するには、5 つのパラメータ (F_z^g 、 F_z^b 、 F_x^g 、 F_x^b 、 M_y^b) が必要である。

40

【0 0 6 5】

以上のように、外力作用点算出手段 3 4 は、異なるパラメータから外力作用点 P^e (P_x^e 、 P_y^e 、 P_z^e) を算出することができる。

なお、鉗子 1 0 に複数の外力が加わった場合、外力算出手段 3 2 が算出する外力 F^e 、及び、外力作用点算出手段 3 4 が算出する外力作用点 P^e は、鉗子 1 0 に加わった外力を合成したものとなる。

【0 0 6 6】

[接触警告装置の動作]

50

図6を参照し、接触警告装置30の動作について、説明する(適宜図1参照)。

接触警告装置30は、入出力手段31によって、各種パラメータとして、鉗子10から力 F^b 、 F^s が入力され、モーメント M^b と、ロボットアーム20から計測信号が入力される(ステップS1)。

【0067】

接触警告装置30は、外力算出手段32によって、ステップS1で入力された力 F^b 、 F^s に基づいて、鉗子10の合力がゼロとなるように、鉗子10の先端からベースまでの間に加わる外力 F^e を算出する(ステップS2)。

【0068】

接触警告装置30は、位置算出手段33によって、ステップS1で入力された計測信号に基づいて、鉗子10の先端位置 P^s と、鉗子10のベース位置 P^b とを算出する(ステップS3)。

10

【0069】

接触警告装置30は、外力作用点算出手段34によって、ステップS1で入力された力 F^b 、 F^s 及びモーメント M^b と、ステップS3で算出したベース位置 P^b 及び先端位置 P^s とに基づいて、鉗子10のモーメントの合計がゼロとなるように、外力が加わった外力作用点 P^e を算出する(ステップS4)。

【0070】

接触警告装置30は、接触判定手段35によって、ステップS4で算出した外力作用点 P^e の変化量 ΔP^e が、閾値 t_h1 を超えたか否かを判定する(ステップS5)。

20

変化量 ΔP^e が閾値 t_h を超えた場合(ステップS5でYes)、接触警告装置30は、ステップS6の処理に進む。

【0071】

接触警告装置30は、警告手段36によって、鉗子10の接触を警告する。例えば、警告手段36は、操作手段の振動、警告音の出力又は警告メッセージの表示といった警告を行う(ステップS6)。

変化量 ΔP^e が閾値 t_h を超えない場合(ステップS5でNo)、又は、ステップS6の後、接触警告装置30は、処理を終了する。

【0072】

以上のように、手術用ロボット1は、梃子の原理により、鉗子10の先端からベースまでの間に加わる外力 F^e 及び外力作用点 P^e を算出し、鉗子10の先端以外でも物体の接触を検知することができる。これによって、手術用ロボット1は、鉗子10の先端からベースまでの間にセンサを備える必要がなく、簡易な構成を実現し、低コスト化を図ることができる。さらに、手術用ロボット1は、鉗子10の接触を警告できるので、腹腔鏡下手術の安全性を向上させることができる。

30

【0073】

さらに、手術用ロボット1は、式(2)及び式(3)のような簡易な演算式により、外力 F^e 及び外力作用点 P^e を算出できるので、演算負荷を軽減し、演算処理の高速化を図ることができる。

さらに、手術用ロボット1は、鉗子10を空気圧駆動し、手術用ロボット1の操作者にリアルな力覚提示を行うことができるので、手術用ロボット1の操作性を向上させることができる。

40

【0074】

(変形例1)

本願発明に係る手術用ロボット1は、前記した実施形態に限定されず、その趣旨を逸脱しない範囲で変形を加えることができる。

【0075】

前記した式(6)で外力作用点 P^e を算出すると、外力作用点 P^e の精度が鉗子10の姿勢の影響により低下し、鉗子10がy軸に平行な場合、外力作用点 P^e の算出が困難になる。

50

【 0 0 7 6 】

そこで、外力作用点算出手段 3 4 は、ロボットアーム 2 0 が配置された空間の基底平面毎に、基底平面上の直線と外力作用点 P^e の基底平面上の写像との交点に鉗子 1 0 の姿勢を示す重み付けを行って、外力作用点 P^e の推定値 $P^e \wedge$ を算出することが好ましい。具体的には、外力作用点算出手段 3 4 は、下記の式 (1 4) を用いて、外力作用点 P^e の推定値 $P^e \wedge$ を算出する。

【 0 0 7 7 】

【 数 1 3 】

$$\hat{P}^e = \hat{P}_{xz}^e \frac{|P^r| - |P_y^r|}{2|P^r|} + \hat{P}_{yx}^e \frac{|P^r| - |P_z^r|}{2|P^r|} + \hat{P}_{zy}^e \frac{|P^r| - |P_x^r|}{2|P^r|} \quad 10$$

…式 (1 4)

【 0 0 7 8 】

この式 (1 4) では、 $P^e_{x z \wedge}$ が、式 (5) で求めた外力作用点 P^e の x 軸座標 P^e_x である。また、 $P^e_{y x \wedge}$ が、式 (7) で求めた外力作用点 P^e の y 軸座標 P^e_y である。また、 $P^e_{z y \wedge}$ が、式 (9) で求められる外力作用点 P^e の z 軸座標 P^e_z である。

【 0 0 7 9 】

また、 $(|P^r| - |P_y^r|) / 2|P^r|$ 、 $(|P^r| - |P_z^r|) / 2|P^r|$ 、及び、 $(|P^r| - |P_x^r|) / 2|P^r|$ は、それぞれ、鉗子 1 0 の姿勢を示す重み付けである。

【 0 0 8 0 】

以上のように、本願発明の変形例 1 に係る手術用ロボット 1 によれば、鉗子 1 0 の姿勢に影響を抑え、外力作用点 P^e の推定値 $P^e \wedge$ が高い精度になる。従って、手術用ロボット 1 によれば、外力作用点 P^e の代わりにその推定値 $P^e \wedge$ を用いることで、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触したことを、正確に検知することができる。

【 0 0 8 1 】

(変形例 2)

接触判定手段 3 5 は、外力 F^e が予め設定された閾値 t_{h2} を超えたか否かにより、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触したか否かを判定してもよい。

【 0 0 8 2 】

また、接触判定手段 3 5 は、予め設定された時間内における外力 F^e の変化量 F^e を算出する。そして、接触判定手段 3 5 は、算出した外力 F^e の変化量 F^e が予め設定された閾値 t_{h3} を超えたか否かにより、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触したか否かを判定してもよい。

【 0 0 8 3 】

さらに、接触判定手段 3 5 は、外力 F^e と外力作用点 P^e とを組み合わせ、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触したか否かを判定してもよい。

例えば、接触判定手段 3 5 は、外力作用点 P^e の変化量 P^e が閾値 t_{h1} を超え、かつ、外力 F^e の変化量 F^e が閾値 t_{h3} を超えた場合、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触したと判定する。

一方、接触判定手段 3 5 は、外力作用点 P^e の変化量 P^e が閾値 t_{h1} を超えないか、又は、外力 F^e の変化量 F^e が閾値 t_{h3} を超えない場合、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触していないと判定する。

【 0 0 8 4 】

また、接触判定手段 3 5 は、外力作用点 P^e の変化量 P^e が閾値 t_{h1} を超えるか、又は、外力 F^e の変化量 F^e が閾値 t_{h3} を超えた場合、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触したと判定してもよい。

10

20

30

40

50

一方、接触判定手段 3 5 は、外力作用点 P^e の変化量 P^e が閾値 t_{h1} を超えず、かつ、外力 F^e の変化量 F^e が閾値 t_{h3} を超えない場合、鉗子 1 0 の先端からベースまでの間に物体が接触していないと判定してもよい。

【 0 0 8 5 】

(その他変形例)

前記した実施形態では、ロボットアーム 2 0 をモータ駆動として説明したが、本願発明は、これに限定されない。例えば、ロボットアーム 2 0 は、鉗子 1 0 と同様、空気圧駆動としてもよい。

また、ロボットアーム 2 0 は、その構造が特に制限されず、パラレルリンクマニピュレータであってもよい。

【 0 0 8 6 】

前記した実施形態では、接触対応動作として、警告手段 3 6 が警告を行うとして説明したが、本願発明は、これに限定されない。

つまり、手術用ロボット 1 は、接触対応動作実行手段として、鉗子 1 0 が物体に接触しないようにロボットアーム 2 0 を制御する制御手段(不図示)を備えてもよい。例えば、この制御手段は、接触判定手段 3 5 が鉗子 1 0 の接触を判定した場合、前記したロボットアーム 2 0 の制御を行う。

【符号の説明】

【 0 0 8 7 】

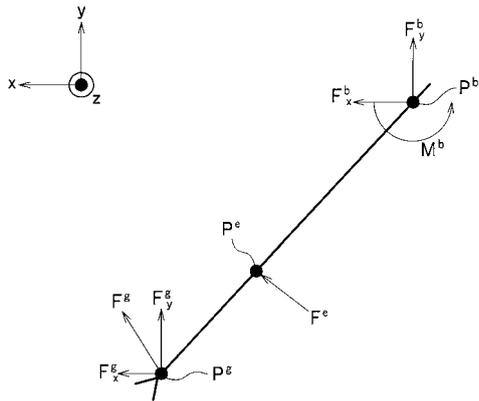
- 1 手術用ロボット
- 1 0 鉗子
- 1 1 開閉部
- 1 3 エアシリンダ
- 1 5 力センサ(第 2 測定手段)
- 1 7 圧力センサ(第 1 測定手段)
- 1 9 a サーボバルブ
- 1 9 b コンプレッサ
- 2 0 ロボットアーム
- 2 1 アーム
- 2 3 関節部
- 3 0 接触警告装置
- 3 1 入力手段
- 3 2 外力算出手段
- 3 3 位置算出手段
- 3 4 外力作用点算出手段
- 3 5 接触判定手段
- 3 6 警告手段(接触対応動作実行手段)

10

20

30

【 図 5 】



【 図 6 】

