

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7589263号
(P7589263)

(45)発行日 令和6年11月25日(2024.11.25)

(24)登録日 令和6年11月15日(2024.11.15)

(51)国際特許分類

A 6 1 B 34/35 (2016.01)
B 2 5 J 3/00 (2006.01)

F I

A 6 1 B 34/35
B 2 5 J 3/00

Z

請求項の数 18 (全36頁)

(21)出願番号 特願2022-580285(P2022-580285)
(86)(22)出願日 令和3年6月30日(2021.6.30)
(65)公表番号 特表2023-533922(P2023-533922)
A)
(43)公表日 令和5年8月7日(2023.8.7)
(86)国際出願番号 PCT/CN2021/103725
(87)国際公開番号 WO2022/002155
(87)国際公開日 令和4年1月6日(2022.1.6)
審査請求日 令和4年12月25日(2022.12.25)
(31)優先権主張番号 202010627477.8
(32)優先日 令和2年7月1日(2020.7.1)
(33)優先権主張国・地域又は機関
中国(CN)

(73)特許権者 519069305
北京術銳機器人股 ふん 有限公司
中華人民共和国北京市海淀区永泰庄北路
1号天地麟楓2号楼106
Room 106, Building 2
, Tiandilinfeng, 1 Y
ong Tai Zhuang North
Road, Haidian Beiji
ng China
(74)代理人 110002262
TRY国際弁理士法人
(74)代理人 100205936
弁理士 崔 海龍
(74)代理人 100132805
弁理士 河合 貴之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 主従運動の制御方法、ロボットシステム、設備および記憶媒体

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

視覚用ツールのフレキシブルアーム体の遠位端に設けられたカメラの視野を調整するように、前記視覚用ツールのフレキシブルアーム体の運動を制御することと、
手術ツールの現在姿勢と一致する目標姿勢に到達するように主操作器を移動させることと、
複数の制御サイクルを所定の周期で実行することによって前記主操作器による前記手術ツールの主従制御を実行することと、を含む主従運動の制御方法であって、
複数の制御サイクルを所定の周期で実行することによって前記主操作器による前記手術ツールの主従制御を実行することは、

前記複数の制御サイクルの各々ごとに、

現在位置と現在姿勢とを含む前記主操作器の現在位置姿勢を特定することと、
前記主操作器の前記現在位置姿勢および前記手術ツールと前記主操作器との位置姿勢関係に基づいて、前記手術ツールの目標位置姿勢を特定することと、

前記手術ツールの前記目標位置姿勢に基づいて、前記手術ツールを前記目標位置姿勢に運動させるように前記手術ツールのフレキシブルアーム体の運動を制御するための前記手術ツールの制御信号を生成することと、を含む

主従運動の制御方法。

【請求項2】

前記位置姿勢関係は、参照座標系に対する前記手術ツールの位置姿勢または参照座標系に対するディスプレイ内の前記手術ツールの画像の位置姿勢と、前記参照座標系に対する

前記主操作器の位置姿勢との関係を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の制御方法。

【請求項 3】

前記位置姿勢関係は、

前記参照座標系に対する前記手術ツールまたはディスプレイ内の前記手術ツールの画像の位置変化量が、前記参照座標系に対する前記主操作器の位置変化量に比例すること、あるいは、

前記参照座標系に対する前記手術ツールまたは前記ディスプレイ内の前記手術ツールの画像の姿勢変化量が、前記参照座標系に対する前記主操作器の姿勢変化量と一致することと、のいずれか 1 つを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の制御方法。

【請求項 4】

主操作器ベース座標系に対する前記主操作器のハンドルの現在位置を特定することと、
主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去位置を特定することと、

手術ツールベース座標系に対する前記手術ツールの末端デバイスの現在位置を特定することと、

前記主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去位置および現在位置と、前記手術ツールベース座標系に対する前記末端デバイスの現在位置とに基づいて、前記手術ツールベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定することと、

を含むことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の制御方法。

【請求項 5】

前記手術ツールベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定することは、
前記主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去位置および現在位置と、前記主操作器ベース座標系とディスプレイの座標系との変換関係と、カメラの座標系と前記手術ツールベース座標系との変換関係と、前記手術ツールベース座標系に対する前記末端デバイスの現在位置とに基づいて、前記手術ツールベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定すること、

を含むことを特徴とする請求項 4 に記載の制御方法。

【請求項 6】

前記手術ツールベース座標系とカメラの座標系との変換関係は、前記手術ツールベース座標系とカメラベース座標系との変換関係と、カメラの座標系と前記カメラベース座標系との変換関係とに基づいて特定されることを特徴とする請求項 5 に記載の制御方法。

【請求項 7】

前記ディスプレイの座標系と前記カメラの座標系とは、視野方向に関する定義が一致であることを特徴とする請求項 5 に記載の制御方法。

【請求項 8】

前記手術ツールベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定することは、
前記主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去位置および現在位置と、前記主操作器ベース座標系と前記手術ツールベース座標系との変換関係と、前記手術ツールベース座標系に対する前記末端デバイスの現在位置とに基づいて、前記手術ツールベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定することを含むことを特徴とする請求項 4 に記載の制御方法。

【請求項 9】

主操作器ベース座標系に対する前記主操作器のハンドルの現在姿勢を特定することと、
主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去姿勢を特定することと、

手術ツールベース座標系に対する前記手術ツールの末端デバイスの現在姿勢を特定することと、

前記主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去姿勢および現在姿勢と、前記手術ツールベース座標系と前記主操作器ベース座標系との変換関係と、前記手術ツールベース座標系に対する前記手術ツールのエンドエフェクタの現在姿勢とに基づいて、前記手術ツールベース座標系に対する前記末端デバイスの目標姿勢を特定することと、

をさらに含むことを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の制御方法。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

前記手術ツールベース座標系と前記主操作器ベース座標系との変換関係は、前記手術ツールベース座標系とカメラの座標系との変換関係と、前記カメラの座標系とディスプレイの座標系との変換関係と、前記ディスプレイの座標系と前記主操作器ベース座標系との変換関係に基づいて特定されることを特徴とする請求項 9 に記載の制御方法。

【請求項 11】

前記手術ツールベース座標系とカメラの座標系との変換関係は、前記手術ツールベース座標系とカメラベース座標系との変換関係と、カメラの座標系と前記カメラベース座標系との変換関係に基づいて特定されることを特徴とする請求項 10 に記載の制御方法。 10

【請求項 12】

手術ツールベース座標系は、前記カメラベース座標系に対して所定の変換関係を有することを特徴とする請求項 11 に記載の制御方法。

【請求項 13】

前記カメラは、駆動可能なフレキシブルアーム体の末端に設置され、前記カメラの座標系と前記カメラベース座標系との変換関係は、前記フレキシブルアーム体の駆動情報に基づいて特定されることを特徴とする請求項 11 に記載の制御方法。

【請求項 14】

前記主操作器の少なくとも 1 つの関節の現在関節情報を受信することと、

前記少なくとも 1 つの関節の関節情報に基づいて、前記主操作器の現在位置姿勢を特定することと、をさらに含むことを特徴とする請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載の制御方法。 20

【請求項 15】

前記手術ツールの制御信号を生成することは、前記手術ツールの前記目標位置姿勢に基づいて、前記手術ツールを駆動するための少なくとも 1 つの駆動装置の駆動信号を生成すること、を含むことを特徴とする請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項に記載の制御方法。

【請求項 16】

前記主操作器の少なくとも 1 つの関節の過去関節情報を受信することと、

前記少なくとも 1 つの関節の過去関節情報に基づいて、過去位置および過去姿勢を含む前記主操作器の過去位置姿勢を特定することと、

前記手術ツールのフレキシブルアーム体を駆動するための、前記手術ツールの少なくとも 1 つの駆動装置の現在駆動情報を受信することと、 30

前記少なくとも 1 つの駆動装置の現在駆動情報に基づいて、現在位置および現在姿勢を含む前記手術ツールの現在位置姿勢を特定することと、をさらに含むことを特徴とする請求項 5 に記載の制御方法。

【請求項 17】

ロボットアーム、前記ロボットアームに設けられるハンドル、前記ロボットアームの少なくとも 1 つの関節に設けられて前記少なくとも 1 つの関節の関節情報を得るための少なくとも 1 つの主操作器センサを備える主操作器と、

前記主操作器を駆動するための少なくとも 1 つの主操作器駆動装置と、
フレキシブルアーム体および末端デバイスを備える手術ツールと、 40

前記手術ツールのフレキシブルアーム体を駆動するための少なくとも 1 つの手術ツール駆動装置と、

前記少なくとも 1 つの手術ツール駆動装置に結合されて、前記少なくとも 1 つの手術ツール駆動装置の駆動情報を得るために用いられる少なくとも 1 つの手術ツール駆動装置センサと、

フレキシブルアーム体およびカメラを備える視覚用ツールと、
前記視覚用ツールのフレキシブルアーム体を駆動するための少なくとも 1 つの視覚用ツール駆動装置と、

前記少なくとも 1 つの視覚用ツール駆動装置に結合されて、前記少なくとも 1 つの視覚用ツール駆動装置の駆動情報を得るために用いられる少なくとも 1 つの視覚用ツール駆動 50

装置センサと、

前記主操作器、前記少なくとも1つの主操作器駆動装置、前記少なくとも1つの手術ツール駆動装置および前記少なくとも1つの視覚用ツール駆動装置に通信可能に接続される制御装置であって、請求項1～16のいずれか1項に記載の制御方法を実行するように構成されている制御装置と、

を備えるロボットシステム。

【請求項18】

ロボットシステムに請求項1～16のいずれか1項に記載の制御方法を実行させるためにコンピュータによって実行される少なくとも1つの指令を記憶するコンピュータ読取可能な記憶媒体。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

<関連出願の相互参照>

本願は、2020年7月1日に出願された出願番号が2020106274778で、発明名称が「遠隔操作主従マッピング運動制御システムおよび方法」である中国特許出願の優先権を要求し、当該出願の全文は、参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本開示は、ロボットの分野に関わるものであり、特に主従運動の制御方法、ロボットシステム、設備および記憶媒体に関わるものである。

20

【背景技術】

【0003】

科学技術の発展に伴い、医療ロボットによる医療スタッフの手術支援は、急速に発展し、医療ロボットは、医療スタッフのさまざまな医療診断と補助治療を支援するだけでなく、医療資源の不足問題を効果的に緩和することができる。

【0004】

一般的に、医療ロボットは、操作を実行するための従動工具と、従動工具の運動を制御するための主操作器とを備える。実際のシーンでは、従動工具は、操作領域に入ることができるよう設けられ、医療スタッフは、主操作器を遠隔操作することにより、操作領域における従動工具の運動を制御し、医療操作を実現する。一般的に、医療ロボットは、主操作器と従動工具との間の運動変換により、主操作器による従動工具の運動制御を実現する。

30

【0005】

手術ロボットは、操作精度とマンマシンインターフェースの体験に対する要求が高い。例えば、手術ロボットは、従動工具の画像をカメラで採取し、ディスプレイで表示してもよい。操作者（例えば、手術医）は、ディスプレイ内の画像から従動工具の位置および姿勢を取得し、主操作器を遠隔操作して従動工具の位置および姿勢を制御する。このように、カメラとディスプレイの位置および姿勢は、操作者の次の操作方向と距離に影響を与える。このため、手術ロボットの主従運動制御の精度を向上させて、主操作器と従動工具との主従運動制御の目標結果と操作者の感官意欲との一致性を実現する必要がある。

40

【発明の概要】

【0006】

いくつかの実施例において、本開示は、現在位置と現在姿勢とを含む主操作器の現在位置姿勢を特定することと、主操作器の現在位置姿勢および主操作器と従動工具との位置姿勢関係に基づいて、従動工具の目標位置姿勢を特定することと、従動工具の目標位置姿勢に基づいて、従動工具の制御信号を生成することと、を含む主従運動の制御方法を提供する。

【0007】

いくつかの実施例において、本開示は、ロボットアーム、ロボットアームに設けられるハンドル、ロボットアームの少なくとも1つの関節に設けられて少なくとも1つの関節の

50

関節情報を得るための少なくとも1つの主操作器センサを備える主操作器と、フレキシブルアーム体と末端デバイスを備える従動工具と、従動工具のフレキシブルアーム体を駆動するための少なくとも1つの駆動装置と、少なくとも1つの駆動装置に結合されて、駆動情報を取得するための少なくとも1つの駆動装置センサと、主操作器および少なくとも1つの駆動装置に通信可能に接続される制御装置であって、現在位置と現在姿勢とを含む主操作器の現在位置姿勢を特定し、主操作器の現在位置姿勢および主操作器と従動工具との位置姿勢関係に基づいて、従動工具の目標位置姿勢を特定し、従動工具の目標位置姿勢に基づいて、従動工具の制御信号を生成するように構成されている制御装置と、を備えるロボットシステムを提供する。

【0008】

10

いくつかの実施例において、本開示は、少なくとも1つの指令を記憶するためのコンピュータ読取可能な記憶媒体を提供し、少なくとも1つの指令は、コンピュータによって実行されるときに、ロボットシステムに主従運動の制御方法を実行させ、前記制御方法は、現在位置と現在姿勢とを含む主操作器の現在位置姿勢を特定することと、主操作器の現在位置姿勢および主操作器と従動工具との位置姿勢関係に基づいて、従動工具の目標位置姿勢を特定することと、従動工具の目標位置姿勢に基づいて、従動工具の制御信号を生成することと、を含む。

【図面の簡単な説明】

【0009】

20

以下、本開示の実施例における技術案をより明確に説明するために、本開示の実施例の説明において必要とされる図面について簡単に説明するが、以下に説明する図面は、本開示のいくつかの実施例のみを示しており、当業者にとって、創造的な労働を行わずに、本開示の実施例の内容およびこれらの図面に基づいて他の実施例を得ることもできる。

【図1】本開示のいくつかの実施例に係る主従運動の制御方法のフローチャートを示す。

【図2】本開示のいくつかの実施例に係るロボットシステムの構成概略図を示す。

【図3】本開示のいくつかの実施例に係る主従運動マッピングにおける座標系の概略図を示す。

【図4】本開示のいくつかの実施例に係るロボットシステムの概略図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0010】

30

以下、本開示により解決された技術課題、採用された技術案および達成された技術効果をより明確にするために、添付図面と併せて本開示の実施例における技術案をさらに詳細に説明するが、勿論、説明される実施例は、本開示の例示的な実施例に過ぎず、実施例の全体ではない。

【0011】

40

なお、本開示の説明において、「中心」、「上」、「下」、「左」、「右」、「鉛直」、「水平」、「内」、「外」という用語が示す方位または位置関係は、図面に示す方位または位置関係に基づくものであり、本開示の説明を容易にして説明を簡略化することのみを目的としており、指す装置または素子が特定の方位を有して特定の方位で構造・操作しなければならないことを示す又は暗示するものではないので、本開示に対する制限として理解されない。さらに、「第1」、「第2」という用語は、説明の目的にのみ使用され、相対的な重要性を示すまたは暗示するものとして理解されない。なお、本開示の説明において、明確な規定および限定がない限り、「取り付け」、「連結」、「接続」、「カップリング」という用語は、広義に捉えるべきであり、例えば、固定的な接続であってもよいし、取り外し可能な接続であってもよいし、機械的接続であってもよいし、電気的接続であってもよいし、直接的に接続してもよいし、中間媒体を介して間接的に接続してもよいし、2つの素子内部の連通であってもよい。当業者にとって、上記用語の本開示での具体的な意味は、具体的な状況に応じて理解され得る。本開示において、操作者（例えば医師）に近接する一端を近位端、近位部または後端、後部と定義し、手術の患者に近接する一端を遠位端、遠位部または前端、前部と定義する。当業者であれば、本開示の実施例は、

50

医療設備または手術ロボットに用いてもよいし、他の非医療装置に用いてもよいことが理解される。

【 0 0 1 2 】

本開示において、「位置」という用語は、三次元空間におけるオブジェクトまたはオブジェクトの一部の位置決めを意味する（例えば、デカルト X 軸、Y 軸および Z 軸のそれぞれに沿った 3 つの平行移動自由度のような 3 つの平行移動自由度は、デカルト X、Y および Z 座標の変化を用いて説明してもよい）。本開示において、「姿勢」という用語は、オブジェクトまたはオブジェクトの一部の回転設定を意味する（例えば、3 つの回転自由度に対して、これら 3 つの回転自由度をローリング、ピッティングおよびヨーイングを用いて説明してもよい）。本開示において、「位置姿勢」という用語は、オブジェクトまたはオブジェクトの一部の位置および姿勢の組み合わせを意味し、例えば、上述した 6 つの自由度のうちの 6 つのパラメータを用いて説明してもよい。本開示において、主操作器のハンドルの位置姿勢は、主操作器の関節の関節情報の集合（例えば、これらの関節情報からなる一次元行列）によって表現されてもよい。従動工具の位置姿勢は、従動工具の駆動情報（例えば、従動工具のフレキシブルアーム体の駆動情報）によって特定してもよい。本開示において、関節の関節情報は、対応する関節の、対応する関節軸に対する回転角度または初期位置に対する移動距離を含んでもよい。

10

【 0 0 1 3 】

図 1 は、本開示のいくつかの実施例に係る主従運動の制御方法のフロー チャート 100 を示し、図 2 は、本開示のいくつかの実施例に係るロボットシステムの構成概略図 200 を示す。方法 100 は、ハードウェア、ソフトウェア、またはファームウェアによって実現または実行してもよい。いくつかの実施例において、方法 100 は、ロボットシステム（例えば、図 2 に示すロボットシステム 200）によって実行してもよい。いくつかの実施例において、方法 100 は、コンピュータ読取可能な指令として実現してもよい。これらの指令は、汎用プロセッサまたは専用プロセッサ（例えば、図 2 に示す制御装置 220）によって読み取られて、実行されてもよい。例えば、ロボットシステム 200 に用いる制御装置は、方法 100 を実行するように配置されるプロセッサを備えてもよい。いくつかの実施例において、これらの指令は、コンピュータ読取可能な媒体に記憶してもよい。

20

【 0 0 1 4 】

いくつかの実施例において、図 2 に示すように、ロボットシステム 200 は、主制御台車 210、手術台車 230 および制御装置 220 を備えてもよい。制御装置 220 は、主制御台車 210 および手術台車 230 と通信可能に接続してもよく、例えば、ケーブル接続、または無線接続によって、主制御台車 210 と手術台車 230 との間の通信を実現してもよい。主制御台車 210 は、操作者が遠隔操作するための主操作器を備え、手術台車 230 は、手術を行うための従動工具を備える。制御装置 220 により、主制御台車における主操作器と手術台車における従動工具との間の主従マッピングが実現され、主操作器による従動工具の運動制御が実現される。いくつかの実施例において、手術台車は、手術台車に設置された少なくとも 1 つの従動工具（例えば、手術ツールまたは視覚用ツール）を備える。また、従動工具は、鞘カバーを介して操作領域に入るように設けられ、鞘カバーは、患者の手術口（例えば、切り口または自然開口）に固定されてもよく、操作領域は、手術を行う領域であってもよい。従動工具は、アーム体および末端デバイスを備えてもよい。従動工具のアーム体は、フレキシブルアーム体であってもよく、末端デバイスは、フレキシブルアーム体の遠位端に設けられてもよい。手術ツールの末端デバイスとしては、手術用クランプ、電気ナイフ、電気フック等が挙げられるが、これらに限定されない。視覚用ツールの末端デバイスとしては、結像装置や照明装置等が挙げられるが、これらに限定されない。いくつかの実施例において、主制御台車は、主操作器、ディスプレイおよびフットペダルを備える。当業者であれば、主制御台車 210 および手術台車 230 は、ベース、プラケット、または建物などの他の構造または形態を採用してもよいことが理解される。

30

【 0 0 1 5 】

40

50

図 3 は、本開示のいくつかの実施例に係る主従運動マッピングにおける座標系の概略図を示す。図 3 における各座標系の定義は、以下の通りである。

【 0 0 1 6 】

{ E b } : 原点が視覚用ツールのベースまたは入腹鞘カバーの出口に位置し、
【 数 1 】

$$\hat{\mathbf{z}}_{Eb}$$

がベース延長線または入腹鞘カバーの軸方向と一致し、

【 数 2 】

10

$$\hat{\mathbf{y}}_{Eb}$$

方向が図 3 に示す通りであるカメラベース座標系。

【 0 0 1 7 】

{ T b } : 原点が従動工具のベースまたは入腹鞘カバーの出口に位置し、
【 数 3 】

$$\hat{\mathbf{z}}_{Tb}$$

がベース延長線または入腹鞘カバーの軸方向と一致し、

【 数 4 】

20

$$\hat{\mathbf{y}}_{Tb}$$

方向が図 3 に示す通りである従動工具ベース座標系。

【 0 0 1 8 】

{ C am } : 原点がカメラの中心に位置し、カメラの軸線方向が
【 数 5 】

$$\hat{\mathbf{z}}_{Cam}$$

30

方向であり、視野を正規にした場合の上方が

【 数 6 】

$$\hat{\mathbf{y}}_{Cam}$$

方向であるカメラ座標。

【 0 0 1 9 】

{ T t } : 原点が従動工具の末端に位置し、
【 数 7 】

$$\hat{\mathbf{z}}_{Tt}$$

40

が末端デバイスの軸線方向と一致し、

【 数 8 】

$$\hat{\mathbf{y}}_{Tt}$$

方向が図 3 に示す通りである従動工具の末端デバイスの座標系。

【 0 0 2 0 】

50

{ I T t } : ディスプレイに表示される末端デバイスの画像に関連付けられている従動工具の末端デバイスの画像座標系。

【 0 0 2 1 】

{ W } : 主操作器が位置する空間の座標系または世界座標系であってもよく、操作者の体感を基準として、操作者がメインコンソールの前に正座したときの体感の上向きを

【 数 9 】

$$\hat{\mathbf{y}}_W$$

方向とし、体感の前向きを

【 数 1 0 】

10

$$\hat{\mathbf{z}}_W$$

方向としてもよい参照座標系。

【 0 0 2 2 】

{ S c r e e n } : 原点がディスプレイの中心にあり、スクリーンの画面に垂直して奥側に向かう方向を

【 数 1 1 】

$$\hat{\mathbf{z}}_{Screen}$$

20

の正方向とし、スクリーンの画面の上方を

【 数 1 2 】

$$\hat{\mathbf{y}}_{Screen}$$

方向とするディスプレイ座標系。

【 0 0 2 3 】

{ C o m b X } : 座標軸方向が図 3 に示す通りである主操作器ベース座標系。

【 0 0 2 4 】

{ H } : 座標軸方向が図 3 に示す通りである主操作器のハンドル座標系。

【 0 0 2 5 】

30

以下、図 3 に示す座標系を例として、主従運動の制御方法 1 0 0 について説明する。しかし、当業者であれば、他の座標系を用いて主従運動を実現するための制御方法 1 0 0 を定義してもよいことが理解される。

【 0 0 2 6 】

図 1 に示すように、ステップ 1 0 1 では、現在位置および現在姿勢を含む主操作器の現在位置姿勢を特定してもよい。いくつかの実施例において、主操作器の現在位置姿勢は、主操作器ベース座標系に対する位置姿勢である。例えば、主操作器の位置姿勢は、主操作器のハンドルまたはその一部で定義された座標系の主操作器ベース座標系（例えば、主操作器が位置するプラケットまたはベースで定義された座標系、または世界座標系）に対する位置姿勢である。いくつかの実施例において、主操作器の現在位置を特定することは、主操作器ベース座標系に対する主操作器のハンドルの現在位置を特定することを含み、主操作器の現在姿勢を特定することは、主操作器ベース座標系に対する主操作器のハンドルの現在姿勢を特定することを含む。

40

【 0 0 2 7 】

いくつかの実施例において、座標変換に基づいて主操作器の現在位置姿勢を特定してもよい。例えば、ハンドルの現在姿勢は、主操作器のハンドルの座標系と主操作器ベース座標系との間の変換関係に基づいて特定してもよい。一般的に、主操作器ベース座標系は、主操作器が位置するプラケットまたはベースに設けられてもよく、かつ、遠隔操作において、主操作器ベース座標系は、変わらない。

【 0 0 2 8 】

50

いくつかの実施例において、主操作器センサに基づいて、主操作器の現在位置姿勢を特定してもよい。いくつかの実施例において、主操作器の少なくとも1つの関節の現在関節情報を受信し、少なくとも1つの関節の現在関節情報に基づいて、主操作器の現在位置姿勢を特定する。例えば、主操作器の現在位置姿勢は、主操作器センサによって得られた少なくとも1つの関節の現在関節情報に基づいて特定される。主操作器センサは、主操作器の少なくとも1つの関節位置に設けられる。例えば、主操作器は、少なくとも1つの関節を備え、少なくとも1つの関節には、少なくとも1つの主操作器センサが設けられる。主操作器センサに基づいて対応する関節の関節情報（位置または角度）を取得し、主操作器の現在位置姿勢を計算する。例えば、順運動学モデルに基づいて、主操作器の現在位置と現在姿勢を計算する。

10

【0029】

いくつかの実施例において、主操作器は、ハンドルの姿勢を制御するための少なくとも1つの姿勢関節を備える。主操作器のハンドルの現在姿勢を特定することは、少なくとも1つの姿勢関節の関節情報を取得し、少なくとも1つの姿勢関節の関節情報に基づいて主操作器の現在姿勢を特定することを含む。主操作器は、ロボットアームを備え、ロボットアームは、位置関節および姿勢関節を備える。姿勢関節は、主操作器の姿勢を調整し、1つまたは複数の姿勢関節によって主操作器を目標姿勢に制御する。位置関節は、主操作器の位置を調整し、1つ又は複数の位置関節によって主操作器を目標位置に制御する。主操作器センサは、姿勢関節および位置関節に対応する関節情報（位置または角度）を取得するために、ロボットアームの姿勢関節および位置関節に設けられる。取得した関節情報に基づいて、主操作器ベース座標系に対する主操作器のハンドルの現在位置姿勢を特定できる。例えば、主操作器は、7つの関節を備え、そのうち、関節5、関節6および関節7は、主操作器のハンドルの姿勢を調整するための姿勢関節である。姿勢関節の主操作器センサが取得した関節情報（例えば、角度）と順運動学モデルに基づいて、主操作器の現在姿勢を計算する。関節1、関節2、関節3は、主操作器のハンドルの位置を調整するための位置関節である。位置関節の主操作器センサが取得した関節情報（例えば、位置）および順運動学モデルに基づいて、主操作器の現在位置を計算する。

20

【0030】

ステップ103では、主操作器の現在位置姿勢および主操作器と従動工具との位置姿勢関係に基づいて、従動工具の目標位置姿勢を特定してもよい。例えば、主操作器と従動工具との主従マッピング関係を確立し、主操作器を遠隔操作して従動工具の位置姿勢を制御する。位置姿勢関係は、参照座標系に対する従動工具またはディスプレイ内の従動工具の画像の位置姿勢と、参照座標系に対する主操作器の位置姿勢との関係を含む。参照座標系は、主操作器が位置する空間の座標系または世界座標系を含む。いくつかの実施例において、参照座標系は、操作者の体感を基準としてもよいので、参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の位置姿勢を考慮する。

30

【0031】

いくつかの実施例において、主操作器と従動工具との間の位置姿勢関係は、主操作器の位置姿勢変化量と従動工具の位置姿勢変化量との関係、例えば等しいかまたは比例することを含む。従動工具の目標位置姿勢の特定は、主操作器の過去位置姿勢を特定することと、従動工具の現在位置姿勢を特定することと、主操作器の過去位置姿勢、現在位置姿勢および従動工具の現在位置姿勢に基づいて、従動工具の目標位置姿勢を特定することと、を含む。主操作器の過去位置姿勢および現在位置姿勢は、主操作器ベース座標系に対する主操作器のハンドルの位置姿勢であってもよい。従動工具の現在位置姿勢および目標位置姿勢は、従動工具ベース座標系に対する従動工具の末端デバイスの位置姿勢であってもよい。

40

【0032】

従動工具は、フレキシブルアーム体と、フレキシブルアーム体の末端に設けられる末端デバイスとを備え、従動工具の位置姿勢は、従動工具ベース座標系に対する従動工具の末端デバイスの姿勢を含む。従動工具ベース座標系は、従動工具が取り付けられたベース（例えば、手術ロボットの運動アーム末端）の座標系、従動工具が通過する鞘管の座標系（

50

例えば、鞘管出口の座標系)、従動工具の遠位運動中心点(Remote Center of Motion , RCM)の座標系等であってもよい。例えば、従動工具ベース座標系は、鞘管出口位置に設けられてもよく、かつ、遠隔操作において、従動工具ベース座標系は、変わらない。末端デバイスの現在姿勢を座標系変換し、他の座標系に対する姿勢を取得してもよい。

【 0 0 3 3 】

いくつかの実施例において、主操作器の少なくとも 1 つの関節の過去関節情報を受信し、少なくとも 1 つの関節の過去関節情報に基づいて、主操作器の過去位置姿勢を特定してもよい。例えば、主操作器センサに基づいて主操作器の過去時間および現在時間での関節情報を読み取り、主操作器のハンドルの過去位置姿勢および現在位置姿勢を特定する。主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去位置および現在位置に基づいて、主操作器のハンドルの位置変化量を特定する。主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去姿勢および現在姿勢に基づいて、主操作器のハンドルの姿勢変化量を特定する。

【 0 0 3 4 】

いくつかの実施例において、従動工具の少なくとも 1 つの駆動装置の現在駆動情報を受信してもよく、そのうち、少なくとも 1 つの駆動装置は、従動工具のフレキシブルアーム体を駆動する。少なくとも 1 つの駆動装置の現在駆動情報に基づいて、従動工具の現在位置姿勢を特定する。いくつかの実施例において、駆動装置センサによって、従動工具の現在駆動情報(例えば、角度)を取得し、現在駆動情報に基づいて従動工具の現在姿勢を特定する。例えば、順運動学モデルによって、従動工具の現在姿勢を計算してもよい。

【 0 0 3 5 】

駆動装置センサは、駆動装置に設けられてもよく、駆動装置は、従動工具のフレキシブルアーム体を駆動するために用いられる。駆動装置センサは、駆動情報を取得するために用いられる。駆動情報に基づいて、従動工具の現在姿勢を特定してもよい。例えば、駆動装置は、少なくとも 1 つの駆動電機を備えてもよく、駆動装置センサは、電機データを記録・出力するように駆動電機に結合される。例えば、電機データは、2 進法または 16 進法の数字を含み、換算すると、従動工具の現在姿勢を得ることができる。駆動装置センサは、ポテンショメータまたはエンコーダを備えてもよい。ポテンショメータやエンコーダで角度などの情報を取得し、さらに従動工具の現在姿勢を特定する。いくつかの実施例において、位置姿勢センサを用いて従動工具の姿勢を得てもよい。例えば、位置姿勢センサは、光ファイバセンサであってもよく、従動工具のアーム体に貫通して設けられ、従動工具の位置や姿勢をセンシングするために用いられる。

【 0 0 3 6 】

いくつかの実施例において、主操作器の過去位置姿勢および現在位置姿勢に基づいて、主操作器の位置姿勢変化量を特定してもよい。主操作器の位置姿勢変化量および主操作器と従動工具との位置姿勢関係に基づいて、従動工具の位置姿勢変化量を特定してもよい。従動工具の現在位置姿勢および従動工具の位置姿勢変化量に基づいて、従動工具の目標位置姿勢を特定してもよい。

【 0 0 3 7 】

位置姿勢関係は、位置関係および姿勢関係を含んでもよい。主操作器と従動工具との位置関係は、主操作器の位置変化量と従動工具の位置変化量との関係を含んでもよく、主操作器と従動工具との姿勢関係は、主操作器の姿勢変化量と従動工具の姿勢変化量との関係を含んでもよい。

【 0 0 3 8 】

いくつかの実施例において、方法 1 0 0 は、主操作器ベース座標系に対する主操作器のハンドルの現在位置を特定することと、主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去位置を特定することと、従動工具ベース座標系に対する従動工具の末端デバイスの現在位置を特定することと、主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去位置と現在位置および従動工具ベース座標系に対する末端デバイスの現在位置に基づいて、従動工具ベース座標系に対する末端デバイスの目標位置を特定することと、をさらに含む。例えば、主操作器

10

20

30

40

50

センサが読み取った主操作器の過去時間に対応する関節情報に基づいて、主操作器の過去位置を特定し、主操作器センサが読み取った主操作器の現在時間に対応する関節情報に基づいて、主操作器の現在位置を特定する。主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去位置および現在位置に基づいて、主操作器の位置変化量を特定する。従動工具センサによって読み取られた従動工具の現在時間の関節情報に基づいて、従動工具の現在位置を特定する。主操作器の位置変化量および主操作器と従動工具との位置姿勢関係に基づいて、従動工具の位置変化量を特定する。従動工具の現在位置および従動工具の位置変化量に基づいて、従動工具の目標位置を特定する。

【0039】

いくつかの実施例において、位置姿勢関係は、参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の位置姿勢と参照座標系に対する主操作器の位置姿勢との関係を含む。従動工具は、手術ツールおよび視覚用ツールを含む。手術において、手術ツールは、患者体内で手術を行い、視覚用ツールは、患者体内の画像を採取し、採取した画像を手術台車に伝送する。画像は、手術台車におけるビデオ処理モジュールにより処理された後、主制御台車のディスプレイに表示される。操作者は、ディスプレイ内の画像を介して、参照座標系に対する従動工具の位置姿勢をリアルタイムで取得する。参照座標系に対する主操作器の位置姿勢は、操作者が実際に感じる姿勢である。操作者が主操作器を遠隔操作して感じる位置姿勢変化と、操作者がディスプレイで感じる従動工具の姿勢変化とは、予め設定された位置姿勢関係を満足するので、主操作器を遠隔操作して、予め設定された位置姿勢関係に基づいて主操作器の位置姿勢を従動工具の位置姿勢変化に変換し、従動工具に対する位置姿勢制御を実現する。

10

【0040】

いくつかの実施例において、位置姿勢関係は、参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の位置変化量が参照座標系に対する主操作器の位置変化量に比例することを含む。このように、操作者が主操作器のハンドルを握って操作すると、直感的な操作の原則に基づいて、操作者が感じる従動工具の末端デバイスの画像の位置変化量と、操作者が感じる主操作器のハンドルの位置変化量とが一定の比例関係を保ち、遠隔操作の精度を向上させる。

20

【0041】

参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の位置変化量は、参照座標系に対する主操作器の位置変化量に比例して、以下のように表すことができる。

30

【数13】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{IT} = k \cdot {}^W \Delta \mathbf{p}_H \quad (1)$$

式(1)において、左側の

【数14】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{IT}$$

は、参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の末端デバイスの画像の位置変化量を示し、右側の

40

【数15】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

は、参照座標系に対する主操作器のハンドルの位置変化量を示す。

【数16】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{IT}$$

と

【数17】

50

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

は、比例関係にあり、比例係数は、kである。

【0042】

いくつかの実施例において、参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の現在位置

【数18】

$${}^W \mathbf{p}_{H(t_0)}$$

および目標位置

10

【数19】

$${}^W \mathbf{p}_H$$

に基づいて、従動工具の位置変化量

【数20】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{Ht}$$

を特定してもよい。参照座標系に対する主操作器の過去位置

【数21】

$${}^W \mathbf{p}_{H(t_0)}$$

20

および現在位置

【数22】

$${}^W \mathbf{p}_H$$

に基づいて、主操作器の位置変化量

【数23】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

30

を特定してもよい。例えば、遠隔操作指令がトリガされた場合や、前回の制御サイクルでは、t0時刻として示され、主操作器センサが取得した主操作器の関節情報に基づいて、参照座標系に対する主操作器のハンドルの過去位置

【数24】

$${}^W \mathbf{p}_{H(t_0)}$$

を特定してもよい。現在の制御サイクルでは、時刻t1として示され、主操作器センサが取得した主操作器の関節情報に基づいて、参照座標系に対する主操作器のハンドルの現在位置

【数25】

$${}^W \mathbf{p}_H$$

40

を特定してもよい。主操作器のt0時刻での過去位置

【数26】

$${}^W \mathbf{p}_{H(t_0)}$$

およびt1時刻での現在位置

【数27】

$${}^W \mathbf{p}_H$$

50

に基づいて、主操作器の位置変化量

【数 2 8】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

を得る。また、 t_0 の時刻で、従動工具の駆動情報に基づいて、ディスプレイ内の従動工具の画像の現在位置

【数 2 9】

$${}^W \mathbf{p}_{IT(t_0)}$$

10

を特定してもよい。ハンドルの位置変化量

【数 3 0】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

およびディスプレイ内の従動工具の画像の現在位置

【数 3 1】

$${}^W \mathbf{p}_{IT(t_0)}$$

に基づいて、ディスプレイ内の従動工具の画像の目標位置

【数 3 2】

20

$${}^W \mathbf{p}_{ITt}$$

を特定してもよい。

【0 0 4 3】

いくつかの実施例において、式(1)の左側では、参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の末端デバイスの画像の位置変化量

【数 3 3】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{ITt}$$

は、ディスプレイ座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の位置変化量

【数 3 4】

$${}^{Screen} \Delta \mathbf{p}_{ITt}$$

30

およびディスプレイ座標系と世界座標系との変換関係

【数 3 5】

$${}^W \mathbf{R}_{Screen}$$

に基づいて特定してもよい。具体的には、式(2)の通りである。

【数 3 6】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{ITt} = {}^W \mathbf{R}_{Screen} {}^{Screen} \Delta \mathbf{p}_{ITt} \quad (2)$$

40

【0 0 4 4】

いくつかの実施例において、ディスプレイ座標系 Screen とカメラ座標系 Cam の視野方向の定義は、一致する。このため、ディスプレイ座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の位置変化量

【数 3 7】

$${}^{Screen} \Delta \mathbf{p}_{ITt}$$

とカメラ座標系に対する従動工具の位置変化量

50

【数38】

$${}^{Cam} \Delta \mathbf{p}_{Tt}$$

は、一致する。具体的には、式(3)を参照する。

【数39】

$${}^{Screen} \Delta \mathbf{p}_{Tt} = {}^{Cam} \Delta \mathbf{p}_{Tt} \quad (3)$$

【0045】

式(2)および式(3)に基づいて、式(4)を得る。

【数40】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{Tt} = {}^W \mathbf{R}_{Screen} {}^{Cam} \Delta \mathbf{p}_{Tt} \quad (4)$$

式(4)において、参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の位置変化量

【数41】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{Tt}$$

は、カメラ座標系に対する従動工具の末端デバイスの位置変化量

【数42】

$${}^{Cam} \Delta \mathbf{p}_{Tt}$$

およびディスプレイ座標系と世界座標系との変換関係

【数43】

$${}^W \mathbf{R}_{Screen}$$

に基づいて特定してもよい。ここで、ディスプレイ座標系は、基準座標系に対して所定の変換関係

【数44】

$${}^W \mathbf{R}_{Screen}$$

を有する。

【0046】

式(4)では、カメラ座標系に対する従動工具の末端デバイスの位置変化量

【数45】

$${}^{Cam} \Delta \mathbf{p}_{Tt}$$

は、式(5)のように、カメラ座標系に対する末端デバイスのt0時刻での位置

【数46】

$${}^{Cam} \mathbf{p}_{Tt(t0)}$$

およびカメラ座標系に対する末端デバイスのt時刻での位置

【数47】

$${}^{Cam} \Delta \mathbf{p}_{Tt}$$

の差に基づいて特定してもよい。

【数48】

$${}^{Cam} \Delta \mathbf{p}_{Tt} = {}^{Cam} \mathbf{p}_{Tt} - {}^{Cam} \mathbf{p}_{Tt(t0)} \quad (5)$$

【 0 0 4 7 】

式(4)および式(5)において、従動工具の末端デバイスのカメラ座標系での位置変化量

【数 4 9】

$${}^{Cam} \Delta \mathbf{p}_{Tt}$$

は、カメラベース座標系とカメラ座標系との間の変化関係

【数 5 0】

$${}^{Cam} \mathbf{R}_{Eb}$$

10

と、カメラベース座標系と従動工具ベース座標との間の変化関係

【数 5 1】

$${}^{Eb} \mathbf{R}_{Tb}$$

と、従動工具ベース座標系に対する従動工具の末端デバイスの位置変化量

【数 5 1】

$${}^{Tb} \Delta \mathbf{p}_{Tt}$$

とに基づいて特定してもよい。具体的には、式(6)を参照する。

【数 5 2】

$${}^{Cam} \Delta \mathbf{p}_{Tt} = {}^{Cam} \mathbf{R}_{Eb} {}^{Eb} \mathbf{R}_{Tb} {}^{Tb} \Delta \mathbf{p}_{Tt} \quad (6)$$

20

ここで、

【数 5 3】

$${}^{Tb} \Delta \mathbf{p}_{Tt}$$

は、従動工具の駆動情報に基づいて特定してもよい。

【 0 0 4 8 】

いくつかの実施例において、式(1)の右側では、参照座標系に対する主操作器のハンドルの位置変化量

30

【数 5 4】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

は、式(7)のように、主操作器ベース座標系と参照座標系との変換関係

【数 5 5】

$${}^W \mathbf{R}_{CombX}$$

および主操作器ベース座標系に対するハンドルの位置変化量

【数 5 6】

$${}^{CombX} \Delta \mathbf{p}_H$$

40

に基づいて特定してもよい。

【数 5 7】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H = {}^W \mathbf{R}_{CombX} {}^{CombX} \Delta \mathbf{p}_H \quad (7)$$

【 0 0 4 9 】

式(7)において、

【数 5 8】

$${}^W \mathbf{R}_{CombX}$$

50

は、主操作器の配置位置関係により特定される。いくつかの実施例において、参照座標系は、主操作器ベース座標系に対して所定の変換関係を有する。

【 0 0 5 0 】

式(7)において、主操作器ベース座標系に対するハンドルの位置変化量

【 数 5 9 】

$${}^{CombX} \Delta \mathbf{p}_H$$

は、主操作器ベース座標系に対する主操作器のハンドルの現在姿勢

【 数 6 0 】

$${}^{CombX} \mathbf{p}_H$$

10

および主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去姿勢

【 数 6 1 】

$${}^{CombX} \mathbf{p}_{H(t0)}$$

に基づいて特定してもよく、具体的には、式(8)を参照する。

【 数 6 2 】

$${}^{CombX} \Delta \mathbf{p}_H = {}^{CombX} \mathbf{p}_H - {}^{CombX} \mathbf{p}_{H(t0)} \quad (8)$$

20

【 0 0 5 1 】

式(1)から式(8)までを纏めると、式(9)のように、遠隔操作での従動工具の目標位置

【 数 6 3 】

$${}^{Tb} \mathbf{p}_{Tt}$$

の表現式を得ることができる。

【 数 6 4 】

$${}^{Tb} \mathbf{p}_{Tt} = {}^{Tb} \mathbf{p}_{Tt(t0)} + k \cdot {}^{Tb} \mathbf{R}_{Cam} {}^{Screen} \mathbf{R}_{CombX} ({}^{CombX} \mathbf{p}_H - {}^{CombX} \mathbf{p}_{H(t0)}) \quad (9)$$

30

【 0 0 5 2 】

式(9)に基づいて、いくつかの実施例において、主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去位置

【 数 6 5 】

$${}^{CombX} \mathbf{p}_{H(t0)}$$

および現在位置

【 数 6 6 】

$${}^{CombX} \mathbf{p}_H$$

40

と、従動工具ベース座標系に対する末端デバイスの現在位置

【 数 6 7 】

$${}^{Tb} \mathbf{p}_{Tt(t0)}$$

と、主操作器ベース座標系とディスプレイ座標系との変換関係

【 数 6 8 】

$${}^{Screen} \mathbf{R}_{CombX}$$

と、カメラ座標系と従動工具ベース座標系との変換関係

50

【数 6 9】

$${}^{Tb}\mathbf{R}_{Cam}$$

とに基づいて、従動工具ベース座標系に対する末端デバイスの目標位置

【数 7 0】

$${}^{Tb}\mathbf{p}_{Tr}$$

を特定してもよい。

【0 0 5 3】

いくつかの実施例において、カメラ座標系と従動工具ベース座標系との変換関係

10

【数 7 1】

$${}^{Tb}\mathbf{R}_{Cam}$$

は、カメラ座標系とカメラベース座標系との変換関係

【数 7 2】

$${}^{Eb}\mathbf{R}_{Cam}$$

およびカメラベース座標系と従動工具ベース座標系との変換関係

【数 7 3】

$${}^{Tb}\mathbf{R}_{Eb}$$

20

に基づいて特定してもよい。

【0 0 5 4】

いくつかの実施例において、主操作器ベース座標系とディスプレイ座標系との変換関係

【数 7 4】

$${}^{Screen}\mathbf{R}_{CombX}$$

は、主操作器ベース座標系と参照座標系との変換関係

【数 7 5】

$${}^W\mathbf{R}_{CombX}$$

30

および参照座標系とディスプレイ座標系との変換関係

【数 7 6】

$${}^{Screen}\mathbf{R}_W$$

に基づいて特定してもよい。

【0 0 5 5】

いくつかの実施例において、参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の姿勢変化量は、参照座標系に対する主操作器の姿勢変化量と一致する。このように、操作者が主操作器ハンドルを握って操作すると、直感的な操作の原則に基づいて、操作者が感じる手術ツールの末端デバイスの画像の姿勢変化量と、操作者が感じる主操作器ハンドルの姿勢変化量とが一致に保ち、遠隔操作の精度を向上させる。

40

【0 0 5 6】

参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の姿勢変化量

【数 7 7】

$${}^W\mathbf{R}_{IT(t0)IT}$$

は、参照座標系に対する主操作器の姿勢変化量

【数 7 8】

$${}^W\mathbf{R}_{H(t0)H}$$

50

と一致し、以下のように表すことができる。

【数 7 9】

$${}^W \mathbf{R}_{IT(t0)ITt} = {}^W \mathbf{R}_{H(t0)H} \quad (10)$$

【0 0 5 7】

いくつかの実施例において、参照座標系に対する主操作器の t_0 時刻での過去姿勢

【数 8 0】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)}$$

10

および t_1 時刻での現在姿勢

【数 8 1】

$${}^W \mathbf{R}_H$$

に基づいて、主操作器の姿勢変化量

【数 8 2】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

20

を特定してもよい。また、姿勢変化量

【数 8 3】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

および参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の t_0 時刻での現在姿勢

【数 8 4】

$${}^W \mathbf{R}_{IT(t0)}$$

30

に基づいて、ディスプレイ内の従動工具の画像の目標姿勢

【数 8 5】

$${}^W \mathbf{R}_{ITt}$$

を特定してもよい。

【0 0 5 8】

例えば、遠隔操作指令がトリガされた場合や、前回の制御サイクルでは、 t_0 時刻として示され、主操作器センサが取得した主操作器の関節情報に基づいて、参照座標系に対する主操作器のハンドルの過去姿勢

【数 8 6】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)}$$

40

を特定してもよい。現在の制御サイクルでは、時刻 t_1 として示され、主操作器センサが取得した主操作器の関節情報に基づいて、参照座標系に対する主操作器のハンドルの現在姿勢

【数 8 7】

$${}^W \mathbf{R}_H$$

を特定する。主操作器の t_0 時刻での過去姿勢

【数 8 8】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)}$$

50

および t_1 時刻での現在姿勢

【数 8 9】

$${}^W \mathbf{R}_H$$

に基づいて、主操作器の姿勢変化量

【数90】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

を得る。また、 t_0 の時刻で、従動工具の駆動情報に基づいて、ディスプレイ内の従動工具の画像の現在姿勢

【数91】

$${}^W \mathbf{R}_{ITr(t0)}$$

10

を特定してもよい。ハンドルの姿勢変化量

【数92】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

およびディスプレイ内の従動工具の画像の現在姿勢

【数93】

$${}^W \mathbf{R}_{ITr(t0)}$$

20

に基づいて、ディスプレイ内の従動工具の画像の目標姿勢

【数94】

$${}^W \mathbf{R}_{ITr}$$

を特定してもよい。

【0059】

いくつかの実施例において、式(10)の左側では、参照座標系に対するディスプレイ内の従動工具の画像の姿勢変化量

【数95】

$${}^W \mathbf{R}_{ITr(t0)ITr}$$

30

は、参照座標系とディスプレイ座標系との間の変換関係

【数96】

$${}^W \mathbf{R}_{Screen}$$

と、ディスプレイ座標系とカメラ座標系との間の変換関係

【数97】

$${}^{Screen} \mathbf{R}_{Cam}$$

と、カメラ座標系に対する従動工具の末端デバイスの過去姿勢

【数98】

$${}^{Cam} \mathbf{R}_{Tr(t0)}$$

40

およびカメラ座標系に対する末端デバイスの現在姿勢

【数99】

$${}^{Cam} \mathbf{R}_{Tr}$$

とに基づいて特定してもよい。具体的には、式(11)を参照する。

【数100】

$${}^W \mathbf{R}_{ITr(t0)ITr} = ({}^W \mathbf{R}_{Screen} {}^{Screen} \mathbf{R}_{Cam} {}^{Cam} \mathbf{R}_{Tr}) ({}^W \mathbf{R}_{Screen} {}^{Screen} \mathbf{R}_{Cam} {}^{Cam} \mathbf{R}_{Tr(t0)})^T \quad (11)$$

50

【 0 0 6 0 】

いくつかの実施例において、式(10)の右側では、参照座標系に対する主操作器の姿勢変化量

【数 1 0 1】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

は、参照座標系と主操作器ベース座標系との間の変換関係

【数 1 0 2】

$${}^W \mathbf{R}_{CombX}$$

10

と、主操作器ベース座標系に対する主操作器のハンドルの過去姿勢

【数 1 0 3】

$${}^{CombX} \mathbf{R}_{H(t0)}$$

および主操作器ベース座標系に対する主操作器のハンドルの現在姿勢

【数 1 0 4】

$${}^{CombX} \mathbf{R}_H$$

とに基づいて特定してもよい。具体的には、式(12)を参照する。

【数 1 0 5】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H} = {}^W \mathbf{R}_{CombX} {}^{CombX} \mathbf{R}_H ({}^W \mathbf{R}_{CombX} {}^{CombX} \mathbf{R}_{H(t0)})^\top \quad (12)$$

20

【 0 0 6 1 】

式(10)から式(12)までを纏めると、式(13)のように、遠隔操作での従動工具の目標姿勢の表現式を得ることができる。

【数 1 0 6】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_{Tr} = {}^{Tb} \mathbf{R}_{CombX} ({}^{CombX} \mathbf{R}_H ({}^{CombX} \mathbf{R}_{H(t0)})^\top) {}^{CombX} \mathbf{R}_{Tb} {}^{Tb} \mathbf{R}_{Tr(t0)} \quad (13)$$

30

【 0 0 6 2 】

式(13)に基づいて、いくつかの実施例において、主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去姿勢

【数 1 0 7】

$${}^{CombX} \mathbf{R}_{H(t0)}$$

および現在姿勢

【数 1 0 8】

$${}^{CombX} \mathbf{R}_H$$

40

と、従動工具ベース座標系に対する従動工具のエンドエフェクタの現在姿勢

【数 1 0 9】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_{Tr(t0)}$$

と、従動工具ベース座標系と主操作器ベース座標系との変換関係

【数 1 1 0】

$${}^{CombX} \mathbf{R}_{Tb}$$

とに基づいて、従動工具ベース座標系に対する末端デバイスの目標姿勢

【数 1 1 1】

50

$$^{Tb} \mathbf{R}_{Tb}$$

を特定してもよい。

【0063】

いくつかの実施例において、従動工具ベース座標系と主操作器ベース座標系との変換関係

【数112】

$$^{CombX} \mathbf{R}_{Tb}$$

は、従動工具ベース座標系とカメラ座標系との変換関係

【数113】

10

$$^{Cam} \mathbf{R}_{Tb}$$

と、カメラ座標系とディスプレイ座標系との変換関係

【数114】

$$^{Screen} \mathbf{R}_{Cam}$$

と、ディスプレイ座標系と主操作器ベース座標系との変換関係

【数115】

$$^{CombX} \mathbf{R}_{Screen}$$

20

に基づいて特定してもよい。

【0064】

いくつかの実施例において、従動工具ベース座標系とカメラ座標系との変換関係

【数116】

$$^{Cam} \mathbf{R}_{Tb}$$

は、従動工具ベース座標系とカメラベース座標系との変換関係

【数117】

$$^{Eb} \mathbf{R}_{Tb}$$

30

と、カメラ座標系とカメラベース座標系との変換関係

【数118】

$$^{Cam} \mathbf{R}_{Eb}$$

に基づいて特定してもよい。ディスプレイ座標系と主操作器ベース座標系との変換関係

【数119】

$$^{CombX} \mathbf{R}_{Screen}$$

は、ディスプレイ座標系と参照座標系との変換関係

【数120】

$$^W \mathbf{R}_{Screen}$$

40

および参照座標系と主操作器ベース座標系との変換関係

【数121】

$$^{CombX} \mathbf{R}_W$$

に基づいて特定してもよい。

【0065】

いくつかの実施例において、カメラは、駆動可能なフレキシブルアーム体の末端に配置されてもよく、カメラ座標系とカメラベース座標系との変換関係は、フレキシブルアーム

50

体の駆動情報に基づいて特定される。

【0066】

いくつかの実施例において、従動工具ベース座標系は、カメラベース座標系に対して所定の変換関係を有する。いくつかの実施例において、視覚用ツールは、主従運動の制御段階に入る前に運動がすでに終了し、カメラの現在姿勢のカメラベース座標系での表現

【数122】

$${}^{E_b} \mathbf{R}_{E_t}$$

は、変化しない。

10

【0067】

いくつかの実施例において、ディスプレイ座標系は、参照座標系に対して所定の変換関係を有する。いくつかの実施例において、参照座標系は、主操作器ベース座標系に対して所定の変換関係を有する。いくつかの実施例において、ディスプレイ座標系は、主操作器ベース座標系に対して所定の変換関係を有する。

【0068】

いくつかの実施例において、参照座標系に対する従動工具の姿勢変化量は、参照座標系に対する主操作器の姿勢変化量と一致する。いくつかの実施例において、参照座標系に対する従動工具の位置変化量は、参照座標系に対する主操作器の位置変化量に比例する。このように、操作者が主操作器のハンドルを握って移動して従動工具を操作すると、直感的な操作の原則に基づいて、操作者が感じる従動工具の末端デバイスの位置変化量と、操作者が感じる主操作器の位置変化量とが一定の比例関係を保ち、遠隔操作の精度を向上させる。

20

【0069】

参照座標系に対する従動工具の位置変化量は、参照座標系に対する主操作器の位置変化量に比例して、以下のように表すことができる。

【数123】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{T_t} = k \cdot {}^W \Delta \mathbf{p}_H \quad (14)$$

30

【0070】

式(14)において、左側の

【数124】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{T_t}$$

は、参照座標系に対する従動工具の位置変化量を示し、右側の

【数125】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

40

は、参照座標系に対する主操作器の位置変化量を示す。また、

【数126】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{T_t}$$

と

【数127】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

は、比例関係にあり、比例係数は、kである。

【0071】

いくつかの実施例において、参照座標系に対する従動工具の過去位置

50

【数128】

$${}^W \mathbf{p}_{T(t0)}$$

および現在位置

【数129】

$${}^W \mathbf{p}_T$$

に基づいて、従動工具の位置変化量

【数130】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_T$$

10

を特定してもよい。参照座標系に対する主操作器の過去位置

【数131】

$${}^W \mathbf{p}_{H(t0)}$$

および現在位置

【数132】

$${}^W \mathbf{p}_H$$

に基づいて、主操作器の位置変化量

【数133】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

20

を特定してもよい。例えば、遠隔操作指令がトリガされた場合や、前回の制御サイクルでは、t0時刻として示され、主操作器センサが取得した主操作器の関節情報に基づいて、参照座標系に対する主操作器のハンドルの過去位置

【数134】

$${}^W \mathbf{p}_{H(t0)}$$

30

を特定してもよい。現在の制御サイクルでは、時刻t1として示され、主操作器センサが取得した主操作器の関節情報に基づいて、参照座標系に対する主操作器のハンドルの現在位置

【数135】

$${}^W \mathbf{p}_H$$

を特定する。主操作器のt0時刻での過去位置

【数136】

$${}^W \mathbf{p}_{H(t0)}$$

40

およびt1時刻での現在位置

【数137】

$${}^W \mathbf{p}_H$$

に基づいて、主操作器の位置変化量

【数138】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

を得る。また、t0の時刻で、従動工具の駆動情報に基づいて、参照座標系に対する従

50

動工具の現在位置

【数 1 3 9】

$${}^W \mathbf{p}_{T(t_0)}$$

を特定してもよい。ハンドルの位置変化量

【数 1 4 0】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

および参照座標系に対する従動工具の現在位置

【数 1 4 1】

10

$${}^W \mathbf{p}_{T(t_0)}$$

に基づいて、参照座標系に対する従動工具の目標位置

【数 1 4 2】

$${}^W \mathbf{p}_{T_t}$$

を特定してもよい。

【0 0 7 2】

式(14)では、参照座標系に対する従動工具の末端デバイスの位置変化量

【数 1 4 3】

20

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{T_t}$$

は、式(15)のように、参照座標系に対する末端デバイスの t_0 時刻での位置

【数 1 4 4】

$${}^W \mathbf{p}_{T_t}$$

30

と参照座標系に対する末端デバイスの t 時刻での位置

【数 1 4 5】

$${}^W \mathbf{p}_{T(t_0)}$$

との差に基づいて特定してもよい。

【数 1 4 6】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_{T_t} = {}^W \mathbf{p}_{T_t} - {}^W \mathbf{p}_{T(t_0)} \quad (15)$$

【0 0 7 3】

式(14)では、世界座標系に対する主操作器の位置変化量

【数 1 4 7】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

40

は、式(16)のように、参照座標系に対する主操作器の t_0 時刻での位置

【数 1 4 8】

$${}^W \mathbf{p}_{H(t_0)}$$

と、参照座標系に対する主操作器の t 時刻での位置

【数 1 4 9】

$${}^W \mathbf{p}_H$$

との差で表すことができる。

【数 1 5 0】

50

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H = {}^W \mathbf{p}_H - {}^W \mathbf{p}_{H(t0)} \quad (16)$$

【0074】

いくつかの実施例において、式(14)の左右両側に同じ行列

【数151】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_W$$

をそれぞれ乗算し、式(14)から式(16)に基づいて式(17)を得る。

【数152】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_W ({}^W \mathbf{p}_{Tt} - {}^W \mathbf{p}_{Tt(t0)}) = k \cdot {}^{Tb} \mathbf{R}_W ({}^W \mathbf{p}_H - {}^W \mathbf{p}_{H(t0)}) \quad (17)$$

10

【0075】

式(17)の左側に基づいて、式(18)を得て、

【数153】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_W ({}^W \mathbf{p}_{Tt} - {}^W \mathbf{p}_{Tt(t0)}) = {}^{Tb} \mathbf{p}_{Tt(t0)} \quad (18)$$

式(17)の右側に基づいて、式(19)を得て、

【数154】

$$k \cdot {}^{Tb} \mathbf{R}_W ({}^W \mathbf{p}_H - {}^W \mathbf{p}_{H(t0)}) = k \cdot {}^{Tb} \mathbf{R}_{CombX} ({}^{CombX} \mathbf{p}_H - {}^{CombX} \mathbf{p}_{H(t0)}) \quad (19)$$

20

式(18)および式(19)に基づいて、式(20)を得て、

【数155】

$${}^{Tb} \mathbf{p}_{Tt} = k \cdot {}^{Tb} \mathbf{R}_{CombX} ({}^{CombX} \mathbf{p}_H - {}^{CombX} \mathbf{p}_{H(t0)}) + {}^{Tb} \mathbf{p}_{Tt(t0)} \quad (20)$$

式(20)に基づいて、いくつかの実施例において、主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去位置

30

【数156】

$${}^{CombX} \mathbf{p}_{H(t0)}$$

および現在位置

【数157】

$${}^{CombX} \mathbf{p}_H$$

と、従動工具ベース座標系に対する末端デバイスの現在位置

【数158】

$${}^{Tb} \mathbf{p}_{Tt(t0)}$$

40

と、主操作器ベース座標系と従動工具ベース座標系との変換関係

【数159】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_{CombX}$$

とに基づいて、従動工具ベース座標系に対する末端デバイスの目標位置

【数160】

$${}^{Tb} \mathbf{p}_{Tt}$$

50

を特定してもよい。

【0076】

いくつかの実施例において、参照座標系に対する従動工具の姿勢変化量は、参照座標系に対する主操作器の姿勢変化量と一致する。このように、操作者が主操作器のハンドルを握って移動して従動工具を操作すると、直感的な操作の原則に基づいて、操作者が感じる手術ツールの末端デバイスの姿勢変化量と、操作者が感じる主操作器の姿勢変化量とが一致に保ち、遠隔操作の精度を向上させる。

【0077】

参照座標系に対する従動工具の姿勢変化量は、参照座標系に対する主操作器の姿勢変化量と一致し、以下のように表すことができる。

10

【数161】

$${}^W \mathbf{R}_{T_t(t0)T_t} = {}^W \mathbf{R}_{H(t0)H} \quad (21)$$

【0078】

式(21)において、左側の

【数162】

$${}^W \mathbf{R}_{T_t(0)T_t}$$

は、参照座標系に対する従動工具の姿勢の姿勢変化量を示し、右側の

20

【数163】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

は、参照座標系に対する主操作器の姿勢変化量を示す。

【0079】

いくつかの実施例において、参照座標系に対する従動工具の現在姿勢

【数164】

$${}^W \mathbf{R}_{T_t(t0)}$$

30

および目標姿勢

【数165】

$${}^W \mathbf{R}_{T_t}$$

に基づいて、従動工具の姿勢変化量

【数166】

$${}^W \mathbf{R}_{T_t(t0)T_t}$$

40

を特定し、参照座標系に対する主操作器の過去姿勢

【数167】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)}$$

および現在姿勢

【数168】

$${}^W \mathbf{R}_H$$

に基づいて、主操作器の姿勢変化量

【数169】

50

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

を特定してもよい。例えば、遠隔操作指令がトリガされた場合や、前回の制御サイクルでは、 t_0 時刻として示され、主操作器センサが取得した主操作器の関節情報に基づいて、参照座標系に対する主操作器のハンドルの過去姿勢

【数 170】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

を特定してもよい。現在の制御サイクルでは、時刻 t_1 として示され、主操作器センサが取得した主操作器の関節情報に基づいて、参照座標系に対する主操作器のハンドルの現在姿勢

10

【数 171】

$${}^W \mathbf{R}_H$$

を特定する。主操作器の t_0 時刻での過去姿勢

【数 172】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

および主操作器の t_1 時刻での現在姿勢

【数 173】

$${}^W \mathbf{R}_H$$

20

に基づいて、主操作器の姿勢変化量

【数 174】

$${}^W \Delta \mathbf{p}_H$$

を得てもよい。また、 t_0 の時刻で、従動工具の駆動情報に基づいて、参照座標系に対する従動工具の現在位置姿勢

【数 175】

$${}^W \mathbf{R}_{T_r(t0)}$$

30

を特定してもよく、ハンドルの姿勢変化量

【数 176】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

および参照座標系に対する従動工具の現在姿勢

【数 177】

$${}^W \mathbf{R}_{T_r(t0)}$$

40

に基づいて、参照座標系に対する従動工具の目標姿勢

【数 178】

$${}^W \mathbf{R}_{T_r(t0)}$$

を特定してもよい。

【0080】

式(21)において、参照座標系に対する従動工具の姿勢の姿勢変化量

【数 179】

50

$${}^W \mathbf{R}_{T_r(t0)T_r}$$

は、参照座標系に対する末端デバイスの t_0 時刻での現在姿勢

【数 180】

$${}^W \mathbf{R}_{T_r(t0)}$$

および参照座標系に対する末端デバイスの t 時刻での目標姿勢

【数 181】

$${}^W \mathbf{R}_{T_r}$$

10

に基づいて特定してもよい。参照座標系に対する主操作器の姿勢変化量

【数 182】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)H}$$

は、参照座標系に対する過去姿勢ハンドルの t_0 時刻での

【数 183】

$${}^W \mathbf{R}_{H(t0)}$$

20

および参照座標系に対するハンドルの t 時刻での現在姿勢

【数 184】

$${}^W \mathbf{R}_H$$

に基づいて特定してもよい。具体的には、式(22)を参照する。

【数 185】

$${}^W \mathbf{R}_{T_r} \left({}^W \mathbf{R}_{T_r(t0)} \right)^T = {}^W \mathbf{R}_H \left({}^W \mathbf{R}_{H(t0)} \right)^T \quad (22)$$

30

【0081】

いくつかの実施例において、式(22)の左右両側に同じ行列

【数 186】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_W \left({}^{Tb} \mathbf{R}_W \right)^T$$

をそれぞれ乗算し、式(22)に基づいて式(23)を得る。

【数 187】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_W {}^W \mathbf{R}_{T_r} \left({}^W \mathbf{R}_{T_r(t0)} \right)^T \left({}^{Tb} \mathbf{R}_W \right)^T = {}^{Tb} \mathbf{R}_W {}^W \mathbf{R}_H \left({}^W \mathbf{R}_{H(t0)} \right)^T \left({}^{Tb} \mathbf{R}_W \right)^T \quad (23)$$

40

【0082】

式(23)の左側に基づいて、式(24)を得て、

【数 188】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_W {}^W \mathbf{R}_{T_r} \left({}^W \mathbf{R}_{T_r(t0)} \right)^T \left({}^{Tb} \mathbf{R}_W \right)^T = \left({}^{Tb} \mathbf{R}_W {}^W \mathbf{R}_{T_r} \right) \left({}^{Tb} \mathbf{R}_W {}^W \mathbf{R}_{T_r(t0)} \right)^T = {}^{Tb} \mathbf{R}_{T_r} \left({}^{Tb} \mathbf{R}_{T_r(t0)} \right)^T \quad (24)$$

式(23)の右側に基づいて、式(25)を得て、

【数 189】

50

$$\begin{aligned} {}^{T_b} \mathbf{R}_{W'} {}^W \mathbf{R}_H \left({}^W \mathbf{R}_{H(t0)} \right)^T \left({}^{T_b} \mathbf{R}_W \right)^T &= {}^{T_b} \mathbf{R}_H \left({}^{T_b} \mathbf{R}_{H(t0)} \right)^T = \left({}^{T_b} \mathbf{R}_{CombX} {}^{CombX} \mathbf{R}_H \right) \left({}^{T_b} \mathbf{R}_{CombX} {}^{CombX} \mathbf{R}_{H(t0)} \right)^T \\ &\quad (25) \end{aligned}$$

式(21)から式(25)までを纏めると、式(26)のように、遠隔操作での従動工具の目標姿勢

【数190】

$${}^{T_b} \mathbf{R}_{T_t}$$

の表現式を得ることができる。

10

【数191】

$${}^{T_b} \mathbf{R}_{T_t} = {}^{T_b} \mathbf{R}_{CombX} \left({}^{CombX} \mathbf{R}_H \left({}^{CombX} \mathbf{R}_{H(t0)} \right)^T \right) {}^{CombX} \mathbf{R}_{Tb} {}^{Tb} \mathbf{R}_{Tt(t0)} \quad (26)$$

【0083】

式(26)に基づいて、いくつかの実施例において、主操作器ベース座標系に対するハンドルの過去姿勢

【数192】

$${}^{CombX} \mathbf{R}_{H(t0)}$$

20

および現在姿勢

【数193】

$${}^{CombX} \mathbf{R}_H$$

と、従動工具ベース座標系に対する従動工具のエンドエフェクタの現在姿勢

【数194】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_{Tt(t0)}$$

と、従動工具ベース座標系と主操作器ベース座標系との変換関係

【数195】

$${}^{CombX} \mathbf{R}_{Tb}$$

30

とに基づいて、従動工具ベース座標系に対する末端デバイスの目標姿勢

【数196】

$${}^{Tb} \mathbf{R}_{Tt}$$

を特定してもよい。

【0084】

ステップ105では、従動工具の目標位置姿勢に基づいて、従動工具の制御信号を生成してもよい。いくつかの実施例において、従動工具の目標位置に基づいて、従動工具を駆動するための少なくとも1つの駆動装置の駆動信号を生成する。いくつかの実施例において、従動工具の現在位置姿勢および目標位置姿勢に基づいて、従動工具を駆動するための少なくとも1つの駆動装置の駆動信号を生成する。例えば、従動工具を駆動するための少なくとも1つの駆動装置の駆動信号は、逆運動学モデルに基づいて計算する。

40

【0085】

いくつかの実施例において、主従運動の制御方法は、主従運動の制御を所定の周期で実行することをさらに含む。例えば、主従運動制御において、主操作器の現在位置姿勢を所定の周期で読み出し、主操作器の現在位置姿勢および主従間の位置姿勢関係に基づいて従動工具の目標位置姿勢を特定し、従動工具を目標位置姿勢に運動させるように制御し、主操作器による従動工具の運動制御を実現する。

50

【 0 0 8 6 】

いくつかの実施例において、現在の周期ごとに対して、主操作器の過去位置姿勢は、主操作器と従動工具が初めて主従マッピング関係を確立したとき、または前回の周期における位置姿勢を含む。主操作器の現在位置姿勢は、主操作器の現在の周期での位置姿勢（例えば、遠隔操作後の位置姿勢）を含む。従動工具の現在位置姿勢は、現在の周期の位置姿勢（例えば、現在の周期において主従制御を行わない過去位置姿勢）を含み、目標位置姿勢は、現在の周期における主従制御の目標位置姿勢を含む。主操作器の現在位置姿勢は、従動工具の目標位置姿勢と一致する。

【 0 0 8 7 】

手術ロボットは、操作精度とマンマシンインタフェースの体験に対する要求が高い。一般的に、手術ロボットは、視覚システムによって手術操作を行う。視覚システムにおけるカメラの位置姿勢は、通常、視野の角度および範囲を調整するように調整可能である。しかし、カメラの位置姿勢の調整は、操作者（例えば、手術医）の観察体験に変化をもたらす可能性がある。本開示のいくつかの実施例は、カメラおよびディスプレイの位置および姿勢を考慮し、操作者の使用体験を最適化することで、従動工具の所望の位置への移動を正確かつ迅速的に制御することができ、かつ主操作器の運動限界を突破し、より大きな操作範囲に達することができる。このため、本開示のいくつかの実施例は、主操作器の位置姿勢の従動工具の位置姿勢に対する直接的なマッピングによる視覚的および実質的な相違と、主操作器が従動工具を制御する位置姿勢制限による従動工具の運動範囲の制限とを軽減し、ひいては回避することができる。

10

【 0 0 8 8 】

図4は、本開示のいくつかの実施例に係るロボットシステムの概略図400を示す。図4に示すように、ロボットシステム400は、主操作器410と、従動工具420と、駆動装置430と、制御装置440とを備える。主操作器410は、ロボットアームと、ロボットアームに設けられるハンドルと、ロボットアームの少なくとも1つの関節に設けられて、少なくとも1つの関節の関節情報を得るための少なくとも1つの主操作器センサとを備える。従動工具420は、フレキシブルアーム体および末端デバイスを備える。駆動装置430は、従動工具のフレキシブルアーム体を駆動するために用いられ、少なくとも1つの駆動装置センサは、少なくとも1つの駆動装置に結合されて、駆動情報を得るために用いられる。制御装置440は、主操作器410および少なくとも1つの駆動装置430と通信可能に接続されている。制御装置440は、本開示のいくつかの実施例に係る主従運動の制御方法を実行するように配置されている。

20

【 0 0 8 9 】

いくつかの実施例において、主操作器410は、六自由度のロボットアームを備え、六自由度のロボットアームの各関節には、主操作器センサが設けられ、各関節の主操作器センサによって関節情報（例えば、関節角度データ）を生成する。いくつかの実施例において、主操作器センサは、ポテンショメータおよび／またはエンコーダを使用する。

30

【 0 0 9 0 】

いくつかの実施例において、従動工具420は、マルチ関節の六自由度のフレキシブルアーム体を備える。

40

【 0 0 9 1 】

いくつかの実施例において、駆動装置430は、従動工具420のフレキシブルアーム体を駆動するために用いられ、駆動装置センサによって従動工具に対応する駆動情報を取得する。

【 0 0 9 2 】

いくつかの実施例において、制御装置440は、主操作器410および駆動装置430と通信可能に接続されている。例えば、主操作器410、駆動装置430および制御装置440は、データ伝送バスを介して接続されてもよく、無線データ伝送と、有線データ接続と、または多種類のデータ通信方式を混合して使用することとを含むが、これらに限定されない。データ伝送バスは、例えば、コントローラローカルエリアネットワークバス（

50

CAN、Controller Area Network)のような通信プロトコルバスを用いてもよい。

【0093】

制御装置440は、本開示のいくつかの実施例に係る主従運動の制御方法を実行するよう配置されている。例えば、制御装置は、主操作器センサおよび駆動装置センサが送信するネットワークパケット(例えば、関節情報)を受信するために用いられる。制御装置は、従動工具の関節情報と主操作器の関節情報とに基づいて、主操作器のハンドルが従動工具の現在姿勢と一致する目標姿勢に到達する関節目標値を算出し、駆動信号に変換して駆動装置430に送信する。駆動装置430は、ネットワークパケットを介して駆動信号を受信し、CANバスを介して各Epos制御ツールに送信し、主操作器の各電機の運動を駆動して主操作器を所定の位置に移動させ、主操作器のハンドルと従動工具の姿勢のマッチングを実現する。

10

【0094】

いくつかの実施例において、主操作器には、コントローラが設けられていてもよく、コントローラは、各主操作器センサによって取得された関節情報から主操作器の姿勢データを算出し、算出された姿勢データを制御装置に送信してもよい。他のいくつかの実施例において、制御装置は、主操作器センサから送信された関節データに基づいて主操作器の姿勢データを算出してもよい。

【0095】

1. 主従運動の制御方法であって、

20

現在位置と現在姿勢とを含む、主操作器の現在位置姿勢を特定することと、

前記主操作器の前記現在位置姿勢および前記主操作器と従動工具との位置姿勢関係に基づいて、前記従動工具の目標位置姿勢を特定することと、

前記従動工具の前記目標位置姿勢に基づいて、前記従動工具の制御信号を生成することと、を含む。

【0096】

2. 第1項に記載の制御方法であって、前記位置姿勢関係は、参照座標系に対する前記従動工具またはディスプレイ内の前記従動工具の画像の位置姿勢と、前記参照座標系に対する前記主操作器の位置姿勢との関係を含む。

【0097】

30

3. 第1項または第2項に記載の制御方法であって、前記位置姿勢関係は、以下の少なくとも1つを含み、

前記参照座標系に対する前記従動工具またはディスプレイ内の前記従動工具の画像の位置変化量が、前記参照座標系に対する前記主操作器の位置変化量に比例すること、あるいは、

前記参照座標系に対する前記従動工具または前記ディスプレイ内の前記従動工具の画像の姿勢変化量が、前記参照座標系に対する前記主操作器の姿勢変化量と一致する。

【0098】

4. 第2項または第3項に記載の制御方法であって、前記参照座標系は、前記主操作器の位置する空間の座標系または世界座標系を含む。

40

【0099】

5. 第1項～第4項のいずれか1項に記載の制御方法であって、

前記主操作器の過去位置姿勢を特定することと、

前記従動工具の現在位置姿勢を特定することと、

前記主操作器の過去位置姿勢と現在位置姿勢および前記従動工具の現在位置姿勢に基づいて、前記従動工具の目標位置姿勢を特定すること

をさらに含む。

【0100】

6. 第1項～第5項のいずれか1項に記載の制御方法であって、

主操作器ベース座標系に対する前記主操作器のハンドルの現在位置を特定することと、

50

主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去位置を特定することと、従動工具ベース座標系に対する前記従動工具の末端デバイスの現在位置を特定することと、

前記主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去位置および現在位置と、前記従動工具ベース座標系に対する前記末端デバイスの現在位置とに基づいて、前記従動工具ベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定することと、

をさらに含む。

【0101】

7. 第6項に記載の制御方法であって、前記従動工具ベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定することは、

前記主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去位置および現在位置と、前記主操作器ベース座標系とディスプレイ座標系との変換関係と、カメラ座標系と前記従動工具ベース座標系との変換関係と、前記従動工具ベース座標系に対する前記末端デバイスの現在位置とに基づいて、前記従動工具ベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定することと、を含む。

【0102】

8. 第7項に記載の制御方法であって、前記ディスプレイ座標系と前記カメラ座標系の視野方向の定義は、一致する。

【0103】

9. 第6項～第8項のいずれか1項に記載の制御方法であって、前記従動工具ベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定することは、

前記主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去位置および現在位置と、前記主操作器ベース座標系と前記従動工具ベース座標系との変換関係と、前記従動工具ベース座標系に対する前記末端デバイスの現在位置とに基づいて、前記従動工具ベース座標系に対する前記末端デバイスの目標位置を特定することと、を含む。

【0104】

10. 第1項～第9項のいずれか1項に記載の制御方法であって、

主操作器ベース座標系に対する前記主操作器のハンドルの現在姿勢を特定することと、

主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去姿勢を特定することと、

従動工具ベース座標系に対する前記従動工具の末端デバイスの現在姿勢を特定することと、

前記主操作器ベース座標系に対する前記ハンドルの過去姿勢および現在姿勢と、前記従動工具ベース座標系と前記主操作器ベース座標系との変換関係と、前記従動工具ベース座標系に対する前記従動工具のエンドエフェクタの現在姿勢とに基づいて、前記従動工具ベース座標系に対する前記末端デバイスの目標姿勢を特定することと、をさらに含む。

【0105】

11. 第10項に記載の制御方法であって、前記従動工具ベース座標系と前記主操作器ベース座標系との変換関係は、前記従動工具ベース座標系とカメラ座標系との変換関係と、前記カメラ座標系とディスプレイ座標系との変換関係と、前記ディスプレイ座標系と前記主操作器ベース座標系との変換関係とに基づいて特定される。

【0106】

12. 第7項または第11項に記載の制御方法であって、前記従動工具ベース座標系とカメラ座標系との変換関係は、前記従動工具ベース座標系とカメラベース座標系との変換関係と、カメラ座標系と前記カメラベース座標系との変換関係とに基づいて特定される。

【0107】

13. 第7項または第11項に記載の制御方法であって、前記ディスプレイ座標系と前記主操作器ベース座標系との変換関係は、前記ディスプレイ座標系と参照座標系との変換関係と、前記参照座標系と前記主操作器ベース座標系との変換関係とに基づいて特定される。

【0108】

10

20

30

40

50

14. 第12項または第13項に記載の制御方法であって、従動工具ベース座標系は、前記カメラベース座標系に対して所定の変換関係を有する。

【0109】

15. 第13項または第14項に記載の制御方法であって、前記ディスプレイ座標系は、前記参照座標系に対して所定の変換関係を有する。

【0110】

16. 第13項～第15項のいずれか1項に記載の制御方法であって、前記参照座標系は、前記主操作器ベース座標系に対して所定の変換関係を有する。

【0111】

17. 第12項～第16項のいずれか1項に記載の制御方法であって、前記カメラは、駆動可能なフレキシブルアーム体の末端に配置され、前記カメラ座標系と前記カメラベース座標系との変換関係は、前記フレキシブルアーム体の駆動情報に基づいて特定される。10

【0112】

18. 第1項～第17項のいずれか1項に記載の制御方法であって、
前記主操作器の少なくとも1つの関節の現在関節情報を受信すること、
前記少なくとも1つの関節の関節情報に基づいて、前記主操作器の現在位置姿勢を特定することと、
をさらに含む。

【0113】

19. 第1項～第18項のいずれか1項に記載の制御方法であって、前記従動工具の制御信号を生成することは、20

前記従動工具の前記目標位置姿勢に基づいて、前記従動工具を駆動するための少なくとも1つの駆動装置の駆動信号を生成すること、を含む。

【0114】

20. 第5項～第19項のいずれか1項に記載の制御方法であって、
前記主操作器の少なくとも1つの関節の過去関節情報を受信すること、
前記少なくとも1つの関節の過去関節情報に基づいて、過去位置および過去姿勢を含む前記主操作器の過去位置姿勢を特定することと、
前記従動工具のフレキシブルアーム体を駆動するための、前記従動工具の少なくとも1つの駆動装置の現在駆動情報を受信すること、30
前記少なくとも1つの駆動装置の現在駆動情報に基づいて、現在位置および現在姿勢を含む前記従動工具の現在位置姿勢を特定することと、
をさらに含む。

【0115】

21. 第1項～第20項のいずれか1項に記載の制御方法であって、主従運動の制御サイクルを所定周期で実行することをさらに含む。

【0116】

22. ロボットシステムであって、
ロボットアームと、前記ロボットアームに設けられるハンドルと、前記ロボットアームの少なくとも1つの関節に設けられて、前記少なくとも1つの関節の関節情報を得るために少なくとも1つの主操作器センサとを備える主操作器と、40
フレキシブルアーム体および末端デバイスを備える従動工具と、
前記従動工具のフレキシブルアーム体を駆動するための少なくとも1つの駆動装置と、
前記少なくとも1つの駆動装置に結合されて、駆動情報を得るために用いられる少なくとも1つの駆動装置センサと、

前記主操作器および前記少なくとも1つの駆動装置に通信可能に接続されて、第1項～第21項のいずれか1項に記載の主従運動の制御方法を実行するように配置されている制御装置と、

を備える。

【0117】

10

20

30

40

50

23. コンピュータ装置であって、
少なくとも1つの指令を格納するためのメモリと、
前記メモリに結合されて、第1項～第21項のいずれか1項に記載の主従運動の制御方法を実行するように前記少なくとも1つの指令を実行するプロセッサと、
を備える。

【0118】

24. コンピュータ読取可能な記憶媒体であって、ロボットシステムに第1項～第21項のいずれか1項に記載の主従運動の制御方法を実現させるためにコンピュータによって実行される少なくとも1つの指令を記憶する。

【0119】

なお、上記は、単に本開示の例示的な実施例および適用される技術原理である。当業者が分かるように、本開示は、上記の特定の実施例に限定されるものではなく、当業者にとって、本開示の保護範囲から逸脱することなく、種々の明確な変更、再調整および置換を行うことができる。このため、以上の実施例により本開示について詳細に説明したが、本開示は、以上の実施例に限定されるものではなく、本開示の構想から逸脱することなく、さらに他の同等な実施例を含むことができ、本開示の範囲は添付の特許請求の範囲によつて決定される。

10

20

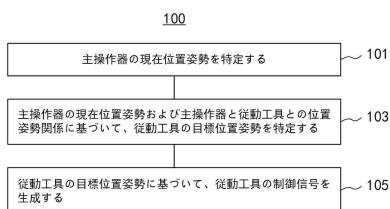
30

40

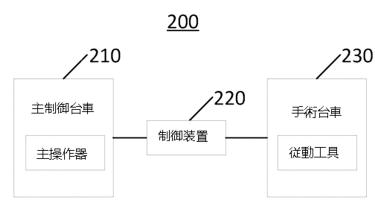
50

【図面】

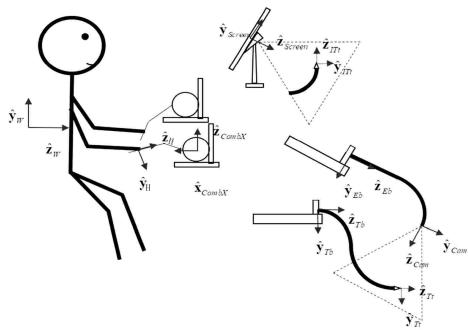
【図 1】



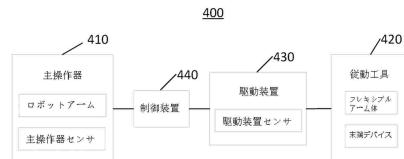
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 徐 凱

中華人民共和国，100192，北京市海淀区永泰庄北路1号天地隣楓2号楼106

(72)発明者 楊 皓哲

中華人民共和国，100192，北京市海淀区永泰庄北路1号天地隣楓2号楼106

(72)発明者 吳 百波

中華人民共和国，100192，北京市海淀区永泰庄北路1号天地隣楓2号楼106

(72)発明者 王 翔

中華人民共和国，100192，北京市海淀区永泰庄北路1号天地隣楓2号楼106

審査官 段 吉享

(56)参考文献 国際公開第2016/203858 (WO, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

A 61 B 34 / 35

B 25 J 3 / 00