

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6653387号
(P6653387)

(45) 発行日 令和2年2月26日(2020.2.26)

(24) 登録日 令和2年1月29日(2020.1.29)

(51) Int. Cl. F 1
A 6 1 B 34/20 (2016.01) A 6 1 B 34/20

請求項の数 17 (全 39 頁)

| | | | |
|--------------------|-------------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2018-530517 (P2018-530517) | (73) 特許権者 | 515353512 |
| (86) (22) 出願日 | 平成29年1月19日 (2017.1.19) | | タイタン メディカル インコーポレイテッド |
| (65) 公表番号 | 特表2019-500945 (P2019-500945A) | | Titan Medical Inc. |
| (43) 公表日 | 平成31年1月17日 (2019.1.17) | | カナダ国, エム5エイチ 3ビー7, オンタリオ, トロント, ユニバーシティ アヴェニュー 750-155 |
| (86) 国際出願番号 | PCT/CA2017/000011 | | 750-155 University Avenue, Toronto, Ontario, M5H 3B7 Canada |
| (87) 国際公開番号 | W02017/124177 | (74) 代理人 | 100169904 |
| (87) 国際公開日 | 平成29年7月27日 (2017.7.27) | | 弁理士 村井 康司 |
| 審査請求日 | 平成30年6月11日 (2018.6.11) | (74) 代理人 | 100181021 |
| (31) 優先権主張番号 | 62/280, 334 | | 弁理士 西尾 剛輝 |
| (32) 優先日 | 平成28年1月19日 (2016.1.19) | | |
| (33) 優先権主張国・地域又は機関 | 米国 (US) | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット手術システムのためのグラフィカルユーザインタフェース

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を概略的に表現する方法であって、前記器械は、エンドエフェクタを含み、前記エンドエフェクタは、入力装置作業空間における入力装置のハンドコントローラの動きによって生成された入力信号にตอบสนองして、手術作業空間において前記エンドエフェクタを空間的に位置決めするための位置決め装置に結合されており、前記方法は、

プロセッサ回路が、前記入力装置から受信された現在の入力信号に関して、前記手術作業空間内での前記器械の現在の三次元空間位置を計算すること；

前記プロセッサ回路が、前記プロセッサ回路と通信するディスプレイに前記手術作業空間のグラフィック描写を表示するための表示信号を生成すること

を含み、前記グラフィック描写は、平面的な表現を含み、前記平面的な表現は、

前記手術作業空間内での前記器械の横方向の動きに対する限界を示す境界を有する器械移動領域；および

前記平面的な表現上への前記位置決め装置および前記エンドエフェクタの前記現在の空間位置の二次元投影

を含み、

前記方法は、

前記器械が前記器械移動領域の前記境界の近傍にあるという決定にตอบสนองして、前記プロセッサ回路に前記境界におけるアクティブ拘束表示を表示させることをさらに含む、方法

10

20

。
【請求項2】

ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を概略的に表現する方法であって、前記器械は、エンドエフェクタを含み、前記エンドエフェクタは、入力装置作業空間における入力装置のハンドコントローラの動きによって生成された入力信号にตอบสนองして、手術作業空間において前記エンドエフェクタを空間的に位置決めするための位置決め装置に結合されており、前記方法は、

プロセッサ回路が、前記入力装置から受信された現在の入力信号に関して、前記手術作業空間内での前記器械の現在の三次元空間位置を計算すること；

前記プロセッサ回路が、前記プロセッサ回路と通信するディスプレイに前記手術作業空間のグラフィック描写を表示するための表示信号を生成すること

を含み、前記グラフィック描写は、平面的な表現を含み、前記平面的な表現は、

前記手術作業空間内での前記器械の横方向の動きに対する限界を示す境界を有する器械移動領域；および

前記平面的な表現上への前記位置決め装置および前記エンドエフェクタの前記現在の空間位置の二次元投影

を含み、

前記グラフィック描写は、

前記手術作業空間内への前記器械の軸方向の動きに対する限界を示す器械深さ範囲；

前記器械深さ範囲内での前記エンドエフェクタの現在の深さを表現するインジケータ；
および

前記入力装置作業空間と前記手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる前記器械深さ範囲の一部分を表現する入力装置深さ範囲

をさらに含み、

前記方法は、

前記エンドエフェクタが前記入力装置深さ範囲の端部の近傍にあるという決定にตอบสนองして、前記プロセッサ回路にアクティブ拘束表示を表示させることをさらに含む、方法。

【請求項3】

ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を概略的に表現する方法であって、前記器械は、エンドエフェクタを含み、前記エンドエフェクタは、入力装置作業空間における入力装置のハンドコントローラの動きによって生成された入力信号にตอบสนองして、手術作業空間において前記エンドエフェクタを空間的に位置決めするための位置決め装置に結合されており、前記方法は、

プロセッサ回路が、前記入力装置から受信された現在の入力信号に関して、前記手術作業空間内での前記器械の現在の三次元空間位置を計算すること；

前記プロセッサ回路が、前記プロセッサ回路と通信するディスプレイに前記手術作業空間のグラフィック描写を表示するための表示信号を生成すること

を含み、前記グラフィック描写は、平面的な表現を含み、前記平面的な表現は、

前記手術作業空間内での前記器械の横方向の動きに対する限界を示す境界を有する器械移動領域；および

前記平面的な表現上への前記位置決め装置および前記エンドエフェクタの前記現在の空間位置の二次元投影

を含み、

前記方法は、

前記プロセッサ回路においてイネーブル信号を受信することをさらに含み、前記イネーブル信号は、アクティブ状態および非アクティブ状態を有し、前記アクティブ状態は、前記入力信号にตอบสนองして前記器械の動きを可能にし、および前記非アクティブ状態は、前記器械の動きを阻止して、前記入力装置作業空間内での前記ハンドコントローラの再位置決めを容易にし、および前記方法は、

前記アクティブ状態から前記非アクティブ状態へ移行する前記イネーブル信号にตอบสนองし

10

20

30

40

50

て、前記プロセッサ回路に、前記エンドエフェクタの前記現在の空間位置の前記二次元投影からのオフセットとして、前記グラフィック描写上に現在のハンドコントローラ位置インジケータを表示するための表示信号を生成させること；および
前記非アクティブ状態から前記アクティブ状態へ移行する前記イネーブル信号にตอบสนองして、前記現在のハンドコントローラ位置インジケータの表示を停止すること
をさらに含む、方法。

【請求項4】

ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を概略的に表現する方法であって、前記器械は、エンドエフェクタを含み、前記エンドエフェクタは、入力装置作業空間における入力装置のハンドコントローラの動きによって生成された入力信号にตอบสนองして、手術作業空間において前記エンドエフェクタを空間的に位置決めするための位置決め装置に結合されており、前記方法は、

プロセッサ回路が、前記入力装置から受信された現在の入力信号に関して、前記手術作業空間内での前記器械の現在の三次元空間位置を計算すること；

前記プロセッサ回路が、前記プロセッサ回路と通信するディスプレイに前記手術作業空間のグラフィック描写を表示するための表示信号を生成すること

を含み、前記グラフィック描写は、平面的な表現を含み、前記平面的な表現は、

前記手術作業空間内での前記器械の横方向の動きに対する限界を示す境界を有する器械移動領域；および

前記平面的な表現上への前記位置決め装置および前記エンドエフェクタの前記現在の空間位置の二次元投影

を含み、

前記入力装置によって生じた前記入力信号は、前記ハンドコントローラの現在の回転を定義する回転信号を含み、前記回転信号は、前記手術作業空間内で前記エンドエフェクタの回転を引き起こすように動作可能であり、前記グラフィック描写は、

前記器械の回転運動に対する限界を示す器械回転範囲；

前記エンドエフェクタの現在の回転を表現するインジケータ；および

前記入力装置作業空間と前記手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる前記器械回転範囲の一部分を表現する入力装置回転範囲

を含み、

前記方法は、

前記プロセッサ回路においてイネーブル信号を受信することをさらに含み、前記イネーブル信号は、アクティブ状態および非アクティブ状態を有し、前記アクティブ状態は、前記入力信号にตอบสนองして前記器械の動きを可能にし、および前記非アクティブ状態は、前記器械の動きを阻止して、前記入力装置作業空間内での前記ハンドコントローラの再位置決めを容易にし、および前記方法は、

前記アクティブ状態から前記非アクティブ状態へ移行する前記イネーブル信号にตอบสนองして、前記プロセッサ回路に、前記エンドエフェクタの現在の回転を表現する前記インジケータからのオフセットとして、前記グラフィック描写上に現在のハンドコントローラ回転インジケータを表示するための表示信号を生成させること；および

前記非アクティブ状態から前記アクティブ状態へ移行する前記イネーブル信号にตอบสนองして、現在のハンドコントローラ回転インジケータの表示を停止すること
をさらに含む方法。

【請求項5】

前記エンドエフェクタは、インジケータによって表現され、および前記位置決め装置は、前記位置決め装置の少なくとも一部分の二次元投影範囲に対応する領域によって表現される、請求項1から4のいずれか1項に記載の方法。

【請求項6】

前記手術作業空間内に三次元境界を定義すること；および

前記平面的な表現上に前記三次元境界の二次元投影を生成すること

10

20

30

40

50

によって前記境界を生成することをさらに含む、前記境界を生成することを含む、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

前記器械移動領域の前記境界は、前記手術作業空間内での前記器械の動きに対するさらなる限界を特定する少なくとも 1 つの締め出しゾーンをさらに含む、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 8】

前記締め出しゾーンは、入力装置においてオペレータから受信された入力、および前記プロセッサ回路において受信された患者画像データの少なくとも一方に基づいて定義される、請求項 7 に記載の方法。

10

【請求項 9】

前記ロボット手術システムは、前記手術作業空間内の複数の器械を含み、前記グラフィック描写を表示することは、前記複数の器械のそれぞれのグラフィック描写を表示することを含む、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 10】

前記グラフィック描写を表示することは、前記ディスプレイの周辺領域に前記グラフィック描写を表示することを含む、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 11】

ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を概略的に表現するための装置であって、前記器械は、エンドエフェクタを含み、前記エンドエフェクタは、入力装置作業空間における入力装置のハンドコントローラの動きによって生成された入力信号に
20 応答して、手術作業空間において前記エンドエフェクタを空間的に位置決めするための位置決め装置に結合されており、前記装置は、プロセッサ回路であって、

前記入力装置から受信された現在の入力信号に関して、前記手術作業空間内での前記器械の現在の三次元空間位置を計算すること；

前記プロセッサ回路と通信するディスプレイに前記手術作業空間のグラフィック描写を表示するための表示信号を生成すること

を行うように動作可能に構成されたプロセッサ回路

を含み、

前記グラフィック描写は、平面的な表現を含み、前記平面的な表現は、

20

30

前記手術作業空間内での前記器械の横方向の動きに対する限界を示す境界を有する器械移動領域；および

前記平面的な表現上への前記位置決め装置および前記エンドエフェクタの前記現在の空間位置の二次元投影

を含み、

前記プロセッサ回路は、前記器械が前記器械移動領域の前記境界の近傍にあるという決定に
30 応答して、前記境界にアクティブ拘束表示を表示するように動作可能に構成される、
装置。

【請求項 12】

前記グラフィック描写は、

前記手術作業空間内への前記器械の軸方向の動きに対する限界を示す器械深さ範囲；

前記器械深さ範囲内での前記エンドエフェクタの現在の深さを表現するインジケータ；

および

前記入力装置作業空間と前記手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる前記器械深さ範囲の一部分を表現する入力装置深さ範囲

をさらに含む、請求項 11 に記載の装置。

40

【請求項 13】

前記プロセッサ回路は、前記エンドエフェクタが前記入力装置深さ範囲の端部の近傍にあるという決定に
50 応答して、アクティブ拘束表示を表示するように動作可能に構成される、
請求項 12 に記載の装置。

50

【請求項 1 4】

前記プロセッサ回路は、前記プロセッサ回路においてイネーブル信号を受信するように動作可能に構成され、前記イネーブル信号は、アクティブ状態および非アクティブ状態を有し、前記アクティブ状態は、前記入力信号に応答して前記器械の動きを可能にし、および前記非アクティブ状態は、前記器械の動きを阻止して、前記入力装置作業空間内での前記ハンドコントローラの再位置決めを容易にし、前記プロセッサ回路は、

前記アクティブ状態から前記非アクティブ状態へ移行する前記イネーブル信号に応答して、前記エンドエフェクタの前記現在の空間位置の前記二次元投影からのオフセットとして、前記グラフィック描写上に現在のハンドコントローラ位置インジケータを表示するための表示信号を生成すること；および

前記非アクティブ状態から前記アクティブ状態へ移行する前記イネーブル信号に応答して、前記現在のハンドコントローラ位置インジケータの表示を停止することを行うように動作可能に構成される、請求項 1 1 に記載の装置。

10

【請求項 1 5】

前記入力装置によって生じた前記入力信号は、前記ハンドコントローラの現在の回転を定義する回転信号を含み、前記回転信号は、前記手術作業空間内での前記エンドエフェクタの回転を引き起こすように動作可能であり、前記グラフィック描写は、

前記器械の回転運動に対する限界を示す器械回転範囲；

前記エンドエフェクタの現在の回転を表現するインジケータ；および

前記入力装置作業空間と前記手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる前記器械回転範囲の一部分を表現する入力装置回転範囲を含む、請求項 1 1 に記載の装置。

20

【請求項 1 6】

前記プロセッサ回路は、前記プロセッサ回路においてイネーブル信号を受信するように動作可能に構成され、前記イネーブル信号は、アクティブ状態および非アクティブ状態を有し、前記アクティブ状態は、前記入力信号に応答して前記器械の動きを可能にし、および前記非アクティブ状態は、前記器械の動きを阻止して、前記入力装置作業空間内での前記ハンドコントローラの再位置決めを容易にし、前記プロセッサ回路は、

前記アクティブ状態から前記非アクティブ状態へ移行する前記イネーブル信号に応答して、前記エンドエフェクタの現在の回転を表現する前記インジケータからのオフセットとして、前記グラフィック描写上に現在のハンドコントローラ回転インジケータを表示するための表示信号を生成すること；および

前記非アクティブ状態から前記アクティブ状態へ移行する前記イネーブル信号に応答して、現在のハンドコントローラ回転インジケータの表示を停止することを行うように動作可能に構成される、請求項 1 5 に記載の装置。

30

【請求項 1 7】

ロボット手術システムのプロセッサ回路に、ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を表現するように指令するためのコードでコード化されたコンピュータ可読媒体であって、前記器械は、エンドエフェクタを含み、前記エンドエフェクタは、入力装置作業空間における入力装置のハンドコントローラの動きによって生成された入力信号に

40

応答して、手術作業空間においてエンドエフェクタを空間的に位置決めするための位置決め装置に結合されており、前記コードは、前記プロセッサ回路に、

前記入力装置から受信された現在の入力信号に関して、前記手術作業空間内での前記器械の現在の三次元空間位置を計算すること；

前記プロセッサ回路と通信するディスプレイに前記手術作業空間のグラフィック描写を表示するための表示信号を生成すること

を行うように指令し、

前記グラフィック描写は、平面的な表現を含み、前記平面的な表現は、前記手術作業空間内での前記器械の横方向の動きに対する限界を示す境界を有する器械移動領域；および

50

前記平面的な表現上への前記位置決め装置および前記エンドエフェクタの前記現在の空間位置の二次元投影を含み、

前記プロセッサ回路は、前記器械が前記器械移動領域の前記境界の近傍にあるという決定に応答して、前記境界にアクティブ拘束表示を表示するように動作可能に構成される、コンピュータ可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、手術用ロボットシステムに関し、より詳細には、ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を概略的に表現することに関する。 10

【背景技術】

【0002】

ロボット手術システムでは、外科医に外科的タスクを実行するための十分な情報を提供する警告および通知をもたらすために、グラフィカルユーザインタフェースが一般的に使用される。外科的タスクを実行中の領域および多くの場合にタスクを実行するために展開される手術用器械の一部分の両方を示す、患者の体腔内の手術部位の画像を提供することは一般的である。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】 20

【0003】

開示する一態様によれば、ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を概略的に表現する方法であって、器械は、エンドエフェクタを含み、このエンドエフェクタは、入力装置作業空間における入力装置のハンドコントローラの動きによって生成された入力信号に**応答して、手術作業空間においてエンドエフェクタを空間的に位置決めするための位置決め装置に結合されている、方法が提供される。方法は、プロセッサ回路に、入力装置から受信された現在の入力信号に関して、手術作業空間内での器械の現在の三次元空間位置を計算させることを含む。方法はまた、プロセッサ回路に、プロセッサ回路と通信するディスプレイに手術作業空間のグラフィック描写を表示するための表示信号を生成させることを含む、平面的な表現を含むグラフィック描写は、手術作業空間内での器械の横方向の動きに対する限界を示す境界を有する器械移動領域、および平面的な表現上への位置決め装置およびエンドエフェクタの現在の空間位置の二次元投影を含む。** 30

【0004】

エンドエフェクタは、インジケータによって表現され得、および位置決め装置は、位置決め装置の少なくとも一部分の二次元投影範囲に対応する領域によって表現され得る。

【0005】

方法は、手術作業空間内に三次元境界を定義すること、および平面的な表現上に三次元境界の二次元投影を生成することによって境界を生成することを含み得る。

【0006】

器械移動領域の境界は、手術作業空間内での器械の動きに対するさらなる限界を特定する少なくとも1つの締め出し(keep-out)ゾーンをさらに含み得る。 40

【0007】

締め出しゾーンは、入力装置においてオペレータから受信された入力、およびプロセッサ回路において受信された患者画像データの少なくとも一方に基づいて定義され得る。

【0008】

方法は、器械が器械移動領域の境界の近傍にあるという決定に**応答して、プロセッサ回路に境界におけるアクティブ拘束表示を表示させることをさらに含み得る。**

【0009】

ロボット手術システムは、手術作業空間内の複数の器械を含み得、およびグラフィック描写を表示することは、複数の器械のそれぞれのグラフィック描写を表示することを含み得 50

る。

【0010】

グラフィック描写を表示することは、ディスプレイの周辺領域にグラフィック描写を表示することを含み得る。

【0011】

グラフィック描写は、手術作業空間内への器械の軸方向の動きに対する限界を示す器械深さ範囲、器械深さ範囲内でのエンドエフェクタの現在の深さを表現するインジケータ、および入力装置作業空間と手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる器械深さ範囲の一部分を表現する入力装置深さ範囲をさらに含み得る。

【0012】

方法は、エンドエフェクタが入力装置深さ範囲の端部の近傍にあるという決定にตอบสนองして、プロセッサ回路にアクティブ拘束表示を表示させることをさらに含み得る。

【0013】

方法は、プロセッサ回路においてイネーブル信号を受信することをさらに含み得、イネーブル信号は、アクティブ状態および非アクティブ状態を有し、アクティブ状態は、入力信号にตอบสนองして器械の動きを可能にし、および非アクティブ状態は、器械の動きを阻止して、入力装置作業空間内でのハンドコントローラの再位置決めを容易にし、および方法は、アクティブ状態から非アクティブ状態へ移行するイネーブル信号にตอบสนองして、プロセッサ回路に、エンドエフェクタの現在の空間位置の二次元投影からのオフセットとして、グラフィック描写上に現在のハンドコントローラ位置インジケータを表示するための表示信号を生成させること、および非アクティブ状態からアクティブ状態へ移行するイネーブル信号にตอบสนองして、現在のハンドコントローラ位置インジケータの表示を停止することをさらに含み得る。

【0014】

入力装置によって生じた入力信号は、ハンドコントローラの現在の回転を定義する回転信号を含み得、回転信号は、手術作業空間内でエンドエフェクタの回転を引き起こすように動作可能であり、およびグラフィック描写は、器械の回転運動に対する限界を示す器械回転範囲、エンドエフェクタの現在の回転を表現するインジケータ、および入力装置作業空間と手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる器械回転範囲の一部分を表現する入力装置回転範囲を含み得る。

【0015】

方法は、プロセッサ回路においてイネーブル信号を受信することを含み得、イネーブル信号は、アクティブ状態および非アクティブ状態を有し、アクティブ状態は、入力信号にตอบสนองして器械の動きを可能にし、および非アクティブ状態は、器械の動きを阻止して、入力装置作業空間内でのハンドコントローラの再位置決めを容易にし、および方法は、アクティブ状態から非アクティブ状態へ移行するイネーブル信号にตอบสนองして、プロセッサ回路に、エンドエフェクタの現在の回転を表現するインジケータからのオフセットとして、グラフィック描写上に現在のハンドコントローラ回転インジケータを表示するための表示信号を生成させること、および非アクティブ状態からアクティブ状態へ移行するイネーブル信号にตอบสนองして、現在のハンドコントローラ回転インジケータの表示を停止することをさらに含み得る。

【0016】

開示する別の態様によれば、ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を概略的に表現するための装置であって、器械は、エンドエフェクタを含み、このエンドエフェクタは、入力装置作業空間における入力装置のハンドコントローラの動きによって生成された入力信号にตอบสนองして、手術作業空間においてエンドエフェクタを空間的に位置決めするための位置決め装置に結合されている、装置が提供される。装置は、プロセッサ回路を含み、プロセッサ回路は、入力装置から受信された現在の入力信号に関して、手術作業空間内での器械の現在の三次元空間位置を計算すること、およびプロセッサ回路と通信するディスプレイに手術作業空間のグラフィック描写を表示するための表示信号を生成す

10

20

30

40

50

ることを行うように動作可能に構成される。グラフィック描写は、平面的な表現を含み、この平面的な表現は、手術作業空間内での器械の横方向の動きに対する限界を示す境界を有する器械移動領域、および平面的な表現上への位置決め装置およびエンドエフェクタの現在の空間位置の二次元投影を含む。

【 0 0 1 7 】

プロセッサ回路は、器械が器械移動領域の境界の近傍にあるという決定に応答して、境界にアクティブ拘束表示を表示するように動作可能に構成され得る。

【 0 0 1 8 】

グラフィック描写は、手術作業空間内への器械の軸方向の動きに対する限界を示す器械深さ範囲、器械深さ範囲内でのエンドエフェクタの現在の深さを表現するインジケータ、および入力装置作業空間と手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる器械深さ範囲の一部分を表現する入力装置深さ範囲をさらに含み得る。

10

【 0 0 1 9 】

プロセッサ回路は、エンドエフェクタが入力装置深さ範囲の端部の近傍にあるという決定に応答して、アクティブ拘束表示を表示するように動作可能に構成され得る。

【 0 0 2 0 】

プロセッサ回路は、プロセッサ回路においてイネーブル信号を受信するように動作可能に構成され得、イネーブル信号は、アクティブ状態および非アクティブ状態を有し、アクティブ状態は、入力信号に応答して器械の動きを可能にし、および非アクティブ状態は、器械の動きを阻止して、入力装置作業空間内でのハンドコントローラの再位置決めを容易にし、プロセッサ回路は、アクティブ状態から非アクティブ状態へ移行するイネーブル信号に応答して、エンドエフェクタの現在の空間位置の二次元投影からのオフセットとして、グラフィック描写上に現在のハンドコントローラ位置インジケータを表示するための表示信号を生成すること、および非アクティブ状態からアクティブ状態へ移行するイネーブル信号に応答して、現在のハンドコントローラ位置インジケータの表示を停止することを行うように動作可能に構成される。

20

【 0 0 2 1 】

入力装置によって生じた入力信号は、ハンドコントローラの現在の回転を定義する回転信号を含み、回転信号は、手術作業空間内でのエンドエフェクタの回転を引き起こすように動作可能であり、およびグラフィック描写は、器械の回転運動に対する限界を示す器械回転範囲、エンドエフェクタの現在の回転を表現するインジケータ、および入力装置作業空間と手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる器械回転範囲の一部分を表現する入力装置回転範囲を含み得る。

30

【 0 0 2 2 】

プロセッサ回路は、プロセッサ回路においてイネーブル信号を受信するように動作可能に構成され得、イネーブル信号は、アクティブ状態および非アクティブ状態を有し、アクティブ状態は、入力信号に応答して器械の動きを可能にし、および非アクティブ状態は、器械の動きを阻止して、入力装置作業空間内でのハンドコントローラの再位置決めを容易にし、およびプロセッサ回路は、アクティブ状態から非アクティブ状態へ移行するイネーブル信号に応答して、エンドエフェクタの現在の回転を表現するインジケータからのオフセットとして、グラフィック描写上に現在のハンドコントローラ回転インジケータを表示するための表示信号を生成すること、および非アクティブ状態からアクティブ状態へ移行するイネーブル信号に応答して、現在のハンドコントローラ回転インジケータの表示を停止することを行うように動作可能に構成され得る。

40

【 0 0 2 3 】

開示する別の態様によれば、ロボット手術システムのプロセッサ回路に、ロボット手術システムにおいて使用される器械の空間位置を表現するように指令するためのコードでコード化されたコンピュータ可読媒体であって、器械は、エンドエフェクタを含み、このエンドエフェクタは、入力装置作業空間における入力装置のハンドコントローラの動きによって生成された入力信号に応答して、手術作業空間においてエンドエフェクタを空間的に位

50

置決めするための位置決め装置に結合されている、コンピュータ可読媒体が提供される。コードは、プロセッサ回路に、入力装置から受信された現在の入力信号に関して、手術作業空間内での器械の現在の三次元空間位置を計算すること、およびプロセッサ回路と通信するディスプレイに手術作業空間のグラフィック描写を表示するための表示信号を生成することを行うように指令し、グラフィック描写は、平面的な表現を含み、この平面的な表現は、手術作業空間内での器械の横方向の動きに対する限界を示す境界を有する器械移動領域、および平面的な表現上への位置決め装置およびエンドエフェクタの現在の空間位置の二次元投影を含む。

【0024】

開示する特定の実施形態の以下の説明を添付図面と併せて検討すると、他の態様および特徴が当業者に明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】ロボット手術システムの斜視図である。

【図2】図1に示すロボット手術システムの器械マウントの斜視図である。

【図3】図1に示すロボット手術システムのプロセッサ回路素子のブロック図である。

【図4】図3に示すワークステーションプロセッサ回路に、器械の空間位置の表現を表示するように指令するコードのブロックを示すフローチャートである。

【図5】図3に示すワークステーションプロセッサ回路によって生成されたグラフィック描写の概略図である。

【図6】図1に示すロボット手術システムの右側器械に関する手術作業空間および入力装置作業空間の概略図である。

【図7】図1に示すロボット手術システムの右入力装置の斜視図である。

【図8】図1に示すロボット手術システムの右側器械の斜視図である。

【図9】図3に示すワークステーションプロセッサ回路に、ベース設定プロセスを実行するように指令するコードのブロックを示すフローチャートである。

【図10】図3に示すワークステーションプロセッサ回路に、器械の3D空間位置を計算するためのプロセスを実行するように指令するコードのブロックを示すフローチャートである。

【図11】図1に示すロボット手術システムの右側器械の、曲がった条件でのさらなる斜視図である。

【図12】図1に示すロボット手術システムの左側および右側器械の斜視図である。

【図13】図3に示すワークステーションプロセッサ回路に、図5に示すグラフィック描写を表示するための表示信号を生成するためのプロセスを実行するように指令するコードのブロックを示すフローチャートである。

【図14】左および右の器械の位置に関するグラフィック描写の一連の例である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

図1を参照すると、ロボット手術システムが全体的に100で示されている。システム100は、ワークステーション102および器械カート104を含む。器械カート104は、器械を操作するための器械駆動部を収納する可動器械マウント108に装着された少なくとも1つの器械106を含む。ワークステーション102は、患者に外科手術を行うために、器械駆動部を介して器械106を制御するために外科医によって使用される入力装置110を含む。入力装置110は、例えば、Force Dimension (Switzerland) から入手可能な触覚インターフェースを使用して実装され得る。

【0027】

図2に器械106および器械マウント108を詳細に示す。図2を参照して説明すると、器械106は、体腔内の手術作業空間へのアクセスをもたらし、患者の腹部または他の体腔の壁の切開を通して挿入される挿入管202を含む。手術作業空間に挿入されると、器械106は、図2の挿入部206に示すように展開される。この実施形態では、器

10

20

30

40

50

械 1 0 6 は、位置決め装置 2 0 9 およびエンドエフェクタ 2 1 0 を含む右側器械 2 0 8 と、位置決め装置 2 1 3 およびエンドエフェクタ 2 1 4 を含む左側器械 2 1 2 とを含む。

【 0 0 2 8 】

図示の実施形態では、エンドエフェクタ 2 1 0 は、組織を掴むために器械駆動部によって制御される、対向する可動グリッパジョー 2 1 6 を有する鉗子の対である一方、エンドエフェクタ 2 1 4 は、湾曲した切開用鉗子の対である。器械 1 0 6 はまた、関節アーム 2 2 0 に配置されたカメラ 2 1 8 を含み、この関節アームは、カメラをパンしたり傾けたりすることができる。カメラ 2 1 8 は、手術作業空間の立体視を生じるために、離間した画像センサー 2 2 2 および 2 2 4 の対を含む。器械 2 0 8 および 2 1 2 およびカメラ 2 1 8 は、最初、切開を通して挿入する前に挿入管 2 0 2 と直列に位置決めされ、その後、2 0 6 10
において示すように展開される。

【 0 0 2 9 】

図 1 に戻って説明すると、入力装置 1 1 0 は、右入力装置 1 1 6 および左入力装置 1 1 8 を含む。右入力装置 1 1 6 は右ハンドコントローラ 1 1 2 を含み、および左入力装置 1 1 8 は左ハンドコントローラ 1 1 4 を含み、それらのハンドコントローラは、それぞれの入力装置に機械的に結合される。ワークステーション 1 0 2 はまた、外科医からの入力を受信するために、入力装置 1 1 6 および 1 1 8 およびハンドコントローラ 1 1 2 および 1 1 4 と通信するワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 を含む。器械カート 1 0 4 はまた、器械 1 0 6 を制御するための器械プロセッサ回路 1 3 0 を含む。この実施形態では、器械プロセッサ回路 1 3 0 は、インターフェースケーブル 1 3 2 を介してワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 と通信して、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 と器械プロセッサ回路 1 3 0 との間で信号を送信する。他の実施形態では、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 とプロセッサ回路 1 3 0 との間の通信は、無線とであり得、またはコンピュータネットワークおよびワークステーション 1 0 2 を介し得、および器械カート 1 0 4 から離れて置かれ得る。 20

【 0 0 3 0 】

ワークステーション 1 0 2 はまた、手術作業空間のリアルタイム画像および/または他のグラフィック描写を表示するために、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 と通信するディスプレイ 1 2 2 を含む。カメラ 2 1 8 が離間した画像センサー 2 2 2 および 2 2 4 の対を含むこの実施形態では、ディスプレイ 1 2 2 は、外科医によって装用される好適な立体視用眼鏡を通して見るときに 3 D の奥行き効果をもたらす、手術作業空間の別個の 2 D 立体視を提供するように構成される。 30

【 0 0 3 1 】

ワークステーション 1 0 2 はまた、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 にイネーブル信号を提供するために外科医によって作動可能である足踏みスイッチ 1 3 4 を含む。イネーブル信号は、アクティブ状態および非アクティブ状態を有し、およびこの実施形態では、足踏みスイッチ 1 3 4 を押すことにより、イネーブル信号をアクティブ状態から非アクティブ状態へ変化させる。イネーブル信号のアクティブ状態は、入力装置 1 1 0 によって生じた入力信号に応じた器械 1 0 6 の動きを可能にするが、非アクティブ状態は器械の動きを阻止する。 40

【 0 0 3 2 】

入力信号は、入力装置作業空間内での外科医によるハンドコントローラ 1 1 2 および 1 1 4 の動きにตอบสนองして、右および左入力装置 1 1 6 および 1 1 8 によって生成される。器械 2 0 8 および 2 1 2 に関連付けられた位置決め装置 2 0 9 および 2 1 3 は、入力信号にตอบสนองして、それぞれのエンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 を手術作業空間内で空間的に位置決めする。

【 0 0 3 3 】

システム 1 0 0 のプロセッサ回路素子のブロック図を図 3 に示す。図 3 を参照して説明すると、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 はマイクロプロセッサ 2 5 0 を含む。ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 はまた、ワークステーションメモリ 2 5 2、US 50

B インターフェース 254、入力/出力部 256 および動き制御インターフェース 258 を含み、それら全てがマイクロプロセッサ 250 と通信している。入力/出力部 256 は、足踏みスイッチ 134 のイネーブル信号を受信するための入力部と、ディスプレイ 122 を駆動するための表示信号を生じるための出力部とを含む。

【0034】

この実施形態では、入力装置 110 は、USB プロトコルを使用して通信し、および USB インターフェース 254 は、ハンドコントローラ 112 および 114 の動きに応答して入力装置が生じた入力信号を受信する。マイクロプロセッサ 250 は、入力装置作業空間と手術作業空間との間の現在のマッピングに基づいて入力信号を処理し、および動き制御インターフェース 258 に制御信号を送信するようにさせ、それらの制御信号は、インターフェースケーブル 132 を経由して器械プロセッサ回路 130 に伝達される。マッピングは、入力装置作業空間内での動きを拡大縮小して、手術作業空間において、拡大縮小された動きを生成する倍率を含み得る。例えば、入力装置作業空間における 100 mm の平行移動は、微細な動き用の手術作業空間内では 0.5 の倍率によって縮小されて 50 mm の動きを生じ得る。

10

【0035】

足踏みスイッチ 134 によって生じたイネーブル信号は、入力/出力部 256 において受信される。ワークステーションメモリ 252 は、本明細書において後述するように、制御信号に関連付けられた値を記憶する複数の記憶装置を含む現在のバッファ 320 および以前のバッファ 340 を含む。

20

【0036】

器械プロセッサ回路 130 は、マイクロプロセッサ 280、メモリ 282、通信インターフェース 284、および駆動制御インターフェース 286 を含み、これら全てがマイクロプロセッサと通信している。マイクロプロセッサ 280 は、通信インターフェース 284 において入力信号を受信する。マイクロプロセッサ 280 は、制御信号を処理し、かつ器械 208 および 212 を動かすための駆動信号を駆動制御インターフェース 286 が生じるようにする。

【0037】

従って、ワークステーションプロセッサ回路 120 は、ユーザ入力を受信するためのマスターサブシステムの機能を果たす一方、器械プロセッサ回路 130 および器械 208 および 212 は、ユーザ入力に応答するスレーブサブシステムの機能を果たす。

30

【0038】

図 4 を参照すると、ワークステーションプロセッサ回路 120 に、器械 106 の空間位置の表現を表示するように指令するコードをブロックで示すフローチャートが全体的に 300 で示されている。ブロックは、全体的に、マイクロプロセッサ 250 に、様々な機能を実行するように指令するコードを表現している。各ブロックを実行するための実際のコードは、例えば、任意の好適なプログラム言語、例えば C、C++、C#、Java (登録商標)、OpenGL、および/またはアセンブリコードで記述され得る。

【0039】

プロセス 300 は、ブロック 302 で開始し、そこではマイクロプロセッサ 250 に指令して、イネーブル信号がアクティブであるかどうかを決定する。足踏みスイッチ 134 が現在押されていない場合、器械 208 および 212 は、入力装置 110 の制御下にあり、およびブロック 302 ではマイクロプロセッサ 250 をブロック 306 に進める。足踏みスイッチ 134 が現在押されている場合、器械 106 の動きが阻止され、およびブロック 302 は、マイクロプロセッサ 250 をブロック 304 に進めてベース設定プロセスを実行させ、これについて本明細書において後述する。ブロック 304 におけるベース設定プロセスに続いて、マイクロプロセッサ 250 はブロック 306 に進められる。

40

【0040】

ブロック 306 は、マイクロプロセッサ 250 に指令して、入力装置 110 から受信した現在の入力信号に関して、手術作業空間内での器械 208 および 212 の現在の三次元 (

50

3 D) 空間位置を計算する。図 2 に戻って説明すると、器械 2 0 8 および 2 1 2 の右側位置決め装置 2 0 9 および左側位置決め装置 2 1 3 は、器械プロセッサ回路 1 3 0 において受信した制御信号に従ってそれぞれ姿勢を取るよう動作されて示されている。同様に、エンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 は、器械プロセッサ回路 1 3 0 において受信した制御信号に従った姿勢で配置される。本明細書では、器械 2 0 8 および 2 1 2 の 3 D 空間位置は、位置決め装置 2 0 9 および 2 1 3 およびエンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 を含む器械の各部分の 3 D 位置を指す。手術作業空間におけるこれら 3 D 位置の計算の詳細は、本明細書において後述する。

【 0 0 4 1 】

次いで、ブロック 3 0 6 は、マイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、手術作業空間のグラフィック描写をディスプレイ 1 2 2 上に表示するための表示信号を生成する。図 1 に戻って説明すると、右グラフィック描写 1 3 6 は、右側器械 2 0 8 に関してディスプレイ 1 2 2 に表示される。同様に、左グラフィック描写 1 3 8 は、左側器械 2 1 2 に関して表示される。グラフィック描写 1 3 6 および 1 3 8 は、ディスプレイ 1 2 2 の周辺領域に表示され、同様にディスプレイ上に表示される手術作業空間のライブビュー 1 4 0 が不明瞭になるのを防止する。

10

【 0 0 4 2 】

次いで、ブロック 3 0 8 は、マイクロプロセッサ 2 5 0 にブロック 3 0 2 に戻るように指令し、およびプロセス 3 0 0 が繰り返される。一実施形態では、プロセス 3 0 0 は、約 1 k H z の周波数で繰り返される。

20

【 0 0 4 3 】

図 5 を参照すると、図 5 ではグラフィック描写 1 3 6 および 1 3 8 が大きい規模で示されている。グラフィック描写 1 3 6 および 1 3 8 は、手術作業空間内での位置決め装置 2 0 9 の横方向の動き（平行移動および向き）の限界を示す境界 4 0 2 を有する位置決め装置移動領域 4 0 0 を含む平面的な表現として提示される。グラフィック描写 1 3 6 および 1 3 8 はまた、エンドエフェクタ 2 1 0 が動くことができる、別の領域を表現する境界 4 0 6 を有するエンドエフェクタ移動領域 4 0 4 を含む。位置決め装置 2 0 9 が境界 4 0 2 にあるときでも、エンドエフェクタ 2 1 0 は、依然として外側に回転して、位置決め装置移動領域 4 0 0 を越えてエンドエフェクタ移動領域 4 0 4 にアクセスすることができ得る。

30

【 0 0 4 4 】

グラフィック描写 1 3 6 および 1 3 8 にはまた、それぞれの位置決め装置 2 0 9 および 2 1 3 およびエンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 の現在の空間位置の二次元（2 D）投影が含まれている。図示の実施形態では、エンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 は、それぞれのエンドエフェクタのジョーの少なくともおよその向きを示すインジケータ 4 0 8 および 4 1 0 によって表現されている。位置決め装置 2 0 9 および 2 1 3 は、平面的な表現上への位置決め装置の部分の 2 D 投影範囲に対応する領域 4 1 2 および 4 1 4 によって表現されている。

【 0 0 4 5 】

グラフィック描写 1 3 6 および 1 3 8 にはまた、それぞれ手術作業空間内への器械の軸方向の動きに対する限界を示す器械深さ範囲 4 1 6 および 4 1 8 が含まれている。器械の軸方向の動きに対する限界は、器械深さ範囲 4 1

40

6 の端部 4 2 4 および 4 2 6 および器械深さ範囲 4 1 8 の端部 4 2 8 および 4 3 0 によって表現されている。器械深さ範囲 4 1 6 および 4 1 8 はまた、それぞれの器械深さ範囲内でのエンドエフェクタの現在の深さを表現する現在の深さインジケータ 4 2 0 および 4 2 2（この場合には円で示す）をそれぞれ含む。現在の深さインジケータ 4 2 0 は、右側器械 2 0 8 が左側器械 2 1 2 よりも手術作業空間内のさらに奥に置かれているため（図 2 に示すように）、現在の深さインジケータ 4 2 2 よりも範囲 4 1 6 の端部 4 2 4 に近い。器械深さ範囲 4 1 6 はまた、入力装置作業空間と手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる器械深さ範囲 4 1 6 の一部分を表現する入力装置深さ範囲 4 3 2（線が引かれ

50

た領域として示す)を含む。同様に、器械深さ範囲418は、入力装置作業空間と手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できる器械深さ範囲418の一部分を表現する入力装置深さ範囲434(線が引かれた領域として示す)を含む。

【0046】

入力装置110が生じた入力信号にはまた、ハンドコントローラ112および114のそれぞれの現在の回転を定義する回転信号が含まれている。回転信号は、ワークステーションプロセッサ回路120によって使用されて、手術作業空間においてそれぞれのエンドエフェクタ210および214の回転を引き起こすための制御信号を生じる。図5に示すグラフィック描写136および138にはまた、エンドエフェクタ210および214の回転運動の限界を示す器械回転範囲440および442が含まれている。グラフィック描写136および138では、「」インジケータは、図5では垂直線444(図5の右グラフィック描写136に対してのみ示す)として取られている基準に対するエンドエフェクタ210および214の現在の回転を表現している。グラフィック描写136および138は、入力装置作業空間と手術作業空間との間の現在のマッピングに利用できるそれぞれの器械回転範囲440および442の一部分を表現する入力装置回転範囲446および448(線が引かれた領域として示す)をさらに表示している。

10

【0047】

上述の通り、プロセス300のブロック302~308は、約1kHzの周波数で繰り返されるため、器械208および212の空間位置のほぼリアルタイムの表示を外科医にもたらしように、グラフィック描写136および138を更新する。図1~4に示す実施形態では、器械106は、器械208および212の対を含むが、他の実施形態では、システム100は、単一の器械を有してもよく、従って単一のグラフィック描写のみが表示される。あるいは、3つ以上の器械が使用される場合、グラフィック描写は各器械に対して表示され得る。

20

【0048】

図6を参照すると、入力装置116装置の上から見たときの手術作業空間および右側器械208の入力装置作業空間の概略図が480で示されている。入力装置116のハンドコントローラ112は、半球形の3D体積部内で可動であり、および対応する入力装置作業空間が、水平の線が引かれた半円形領域482として図6に示されている。図6では、右側器械208によってアクセス可能である、垂直に線が引かれた領域によって表現されている手術作業空間484に重ね合わされた入力装置作業空間482が示されている。手術作業空間484も3D体積部であり、および位置決め装置209の動きに対する制約を定義する境界面485を有する。点486は、患者の体腔の壁を通る挿入管202の挿入点を表現している。

30

【0049】

図6の境界面485、および図5の境界402の平面的な表現は、手術作業空間484内での入力装置作業空間482の範囲に基づく器械208およびエンドエフェクタ210の動きに対する限界を表現している。患者の解剖学的構造に起因して、追加的な限界が器械208およびエンドエフェクタ210の動きに加えられ得る。例えば、他の器官、血管系、および他の感受性組織の複数の部分も手術作業空間484内での器械208およびエンドエフェクタ210の動きを制限し得る。別の実施形態では、1つ以上の締め出しゾーン498が手術作業空間484内に指定され得、および境界面485は、これらの締め出しゾーンを含むように生成され得る。締め出しゾーン498は、入力装置作業空間482内の器械208およびエンドエフェクタ210の動きをさらに制限するために使用される。締め出しゾーン498の指定は、入力装置110において受信され得る外科医からの入力に従い得る。あるいは、締め出しゾーン498は、ワークステーションプロセッサ回路120にアップロードされる画像または他の患者データに従って指定され得る。例えば、患者が磁気共鳴画像法(MRI)またはCTスキャンなどの画像を有した場合、手術部位に関する患者特有のデータを使用して1つ以上の締め出しゾーン498を定義し得る。それに続いて、グラフィック描写136および138を生成するとき、締め出しゾーン498

40

50

は、境界内の追加的なゾーン 436 として境界 402 の定義に含まれるであろう。

【0050】

入力装置 116 のハンドコントローラ 112 の動きは、器械 208 の位置決め装置 209 を手術作業空間 484 内で動かすようにすることができる一方、エンドエフェクタ 210 は、現在のマッピングに関する領域 488 内に到達するように外向きに伸ばすことができる。領域 488 は、エンドエフェクタ 210 によってアクセスされ得る手術作業空間の追加的な部分を表現しており、および 3D 境界面 489 を有する。

【0051】

図 5 に示す右グラフィック描写 136 は、全体的に、線 5-5 に沿って取った横断面図に対応し、図 5 に示すように、線 5-5 の交差点は、位置決め装置移動領域 400 の境界 402、およびエンドエフェクタ移動領域 404 の境界 406 を定義する。図 6 の図は、右入力装置 116、および右側器械 208 を制御する右ハンドコントローラ 112 に関して示される。左入力装置 118、左ハンドコントローラ 114、および左側器械 212 は、明瞭にするために省略されたが、同様に表現され得る。

10

【0052】

入力装置 110 が生じた入力信号と、動き制御インターフェース 258 においてワークステーションプロセッサ回路 120 が生じた制御信号との間のマッピングの変更は、足踏みスイッチ 134 が押されて、手術作業空間 484 の異なる部分にアクセスするためにハンドコントローラ 112 および 114 を再位置決めできるようにするか、または倍率の変更に応答して、手術作業空間のより広いまたはより狭い部分にアクセスできるようにするときに行われ得る。

20

【0053】

入力装置

図 7 に右入力装置 116 をより詳細に示す。簡潔にするために、右入力装置 116 のみをさらに説明し、左入力装置 118 は同じように動作することが理解される。図 7 を参照して説明すると、入力装置 116 は、ベース 500 上に支持され、かつアーム 502、504、および 506 を含む。右ハンドコントローラ 112 は、アーム 502 ~ 506 に取り付けられて、デカルト基準フレーム (Cartesian reference frame) の直交軸 x_1 、 y_1 および z_1 の位置決めおよび軸周りでの回転を可能にする。デカルト基準フレームは、ハンドコントローラ 112 の本体に沿って中ほどの点に起点を有し、および起点の位置は、ハンドコントローラ位置 508 を定義する (すなわち起点において)。この実施形態では、ハンドコントローラ 112 は、ジンバルマウント 510 に取り付けられる。アーム 502 ~ 506 は、ハンドコントローラ 112 の動きを、従ってハンドコントローラ位置 508 を、図 6 に示すような半球形の入力装置作業空間内に留める。一実施形態では、入力装置 116 はまた、アーム 502 ~ 506 を通してハンドコントローラ 112 に触覚フィードバックを提供するために、触覚を生成するように構成され得る。

30

【0054】

入力装置 116 は複数のセンサー (図示せず) を有し、これらセンサーは、アーム 502 ~ 506 のそれぞれの位置、ならびに x_1 、 y_1 および z_1 軸のそれぞれの周りでのハンドコントローラ 112 の回転を感知し、かつ入力装置のデカルト基準フレーム x_r 、 y_r 、 z_r に対する作業空間内でのハンドコントローラの位置およびハンドコントローラの回転向きを表現する信号を生じる。この実施形態では、位置信号および向き信号は、入力信号として、USB 接続 518 を経由してワークステーションプロセッサ回路 120 の USB インターフェース 254 へ送信される。

40

【0055】

この実施形態では、ジンバルマウント 510 は、マウントから下方に延在するピン 512 を有し、およびベース 500 は、ピンを受け入れるためのキャリブレーション用開口部 514 を含む。ピン 512 が開口部 514 に受け入れられると、入力装置 116 は、入力装置のデカルト基準フレーム x_r 、 y_r 、 z_r に対して定義されるキャリブレーション位置

50

に配置される。入力装置の基準フレームは、ベース 5 0 0 に対して平行な $x_r - z_r$ 平面およびベースに対して垂直な y_r 軸を有する。 z_r 軸は、ベース 5 0 0 に対して平行であり、かつ入力装置 1 1 6 の中心を通る軸 5 1 6 と一致する。

【 0 0 5 6 】

入力装置 1 1 6 は、ハンドコントローラ 1 1 2 の現在の位置および向きを表現する現在のハンドコントローラ信号および現在のハンドコントローラ向き信号を生じる。それら信号は、現在のハンドコントローラ位置ベクトルおよび現在のハンドコントローラ回転行列によって表現され得る。現在のハンドコントローラ位置ベクトルは、

【数 1】

$$\vec{P}_{MCURR} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{Bmatrix}$$

10

(式中、 x_1 、 y_1 および z_1 は、入力装置の基準フレーム x_r 、 y_r 、 z_r に対するハンドコントローラ位置 5 0 8 の座標 (すなわち、座標系 x_1 、 y_1 、 z_1 の起点) を表現している)

によって与えられる。現在のハンドコントローラ回転行列は、

【数 2】

$$R_{MCURR} = \begin{bmatrix} x_{1x} & y_{1x} & z_{1x} \\ x_{1y} & y_{1y} & z_{1y} \\ x_{1z} & y_{1z} & z_{1z} \end{bmatrix}$$

20

(式中、行列の列は、入力装置の基準フレーム x_r 、 y_r 、 z_r に対するハンドコントローラ基準フレーム x_1 、 y_1 、 z_1 の軸を表現している)

によって与えられる。従って、行列 R_{MCURR} は、 x_r 、 y_r 、および z_r 固定マスター基準フレームに対するハンドコントローラ 1 1 2 の現在の回転向きを定義する。現在のハンドコントローラ位置ベクトル

【数 3】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

30

および現在のハンドル回転行列 R_{MCURR} は、現在のハンドコントローラ位置信号および現在のハンドコントローラ向き信号として、USB 接続 5 1 8 を経由してワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 の USB インターフェース 2 5 4 へ送信される。ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 は、ワークステーションメモリ 2 5 2 の現在のバッファ 3 2 0 の記憶装置 3 2 2 に、現在のハンドル位置ベクトル

【数 4】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

40

を表現する 3 個の値、および記憶装置 3 2 4 に、現在のハンドコントローラ回転行列 R_{MCURR} を表現する 9 個の値を記憶する。

【 0 0 5 7 】

器械

図 8 に右側器械 2 0 8 を詳細に示す。図 8 を参照して説明すると、位置決め装置 2 0 9 は、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 からの、通信インターフェース 2 8 4 において受信した制御信号に应答して、器械プロセッサ回路 1 3 0 の駆動制御インターフェース 2 8 6 が生じた駆動信号に应答して、器械マウント 1 0 8 にある様々な駆動部を稼働させることにより、手術作業空間内にエンドエフェクタ 2 1 0 を位置決めするように構成されている。駆動信号は、現在のハンドコントローラ位置ベクトル

50

【数 5】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

に基づいて生じ、および現在のハンドコントローラ回転行列 R_{MCURR} は、ワークステーションメモリ 252 内の現在のバッファ 320 の記憶装置 322 および 324 に記憶される。

【0058】

器械 208 は、PCT/カナダ特許出願公開第 2013/001076 号明細書（これは本明細書に援用される）に説明されているような複数の同一の「椎骨部」550 を含む。椎骨部 550 は、椎骨部を通過する制御ワイヤが位置決め装置 209 を動かすために伸ばされたりまたは収縮されたりするとき、互いに対して動くように動作可能である。エンドエフェクタ 210 の位置および向きは、軸 x_v 、 y_v 、および z_v を有する固定スレーブ基準フレームに対して定義され、これらの軸は、固定スレーブ基準位置 552 と呼ばれる点で交差する。固定スレーブ基準位置 552 は、器械 208 の縦軸 554 上にあり、および縦軸に対して垂直でありかつ挿入管 202 の遠位縁を含む平面に含まれる。

10

【0059】

図示の実施形態では、エンドエフェクタ 210 はグリッパジョー 216 を含み、グリッパジョーは、エンドエフェクタ作業空間内に位置決めされかつ向きを決定され得る。グリッパジョー 216 の先端部は、エンドエフェクタデカルト基準フレーム x_2 、 y_2 、 z_2 の起点として定義されるエンドエフェクタ位置 560 と指定され得る。エンドエフェクタ位置 560 は、スレーブ基準位置 552 に対して定義され、およびエンドエフェクタは、位置決め装置 209 および/またはエンドエフェクタ 210 を動かすために、固定スレーブ基準フレーム x_v 、 y_v 、 z_v に対して位置決めされかつ向きを決定され得る。

20

【0060】

現在のハンドコントローラ位置信号

【数 6】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

および現在のハンドコントローラ向き信号 R_{MCURR} は、器械 208 のエンドエフェクタ 210 を新しいエンドエフェクタ位置および所望の新しいエンドエフェクタ向きに動かす、および新しいエンドエフェクタ位置ベクトル

30

【数 7】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

によって表現され、

【数 8】

$$P_{EENEW} = \begin{Bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{Bmatrix}$$

40

（式中、 x_2 、 y_2 、および z_2 は、 x_v 、 y_v 、 z_v 固定スレーブ基準フレームに対するエンドエフェクタ作業空間内のエンドエフェクタ位置 560 の座標を表現している）および 3×3 のエンドエフェクタ回転行列 R_{EENEW} によって表現されている。

【数 9】

$$R_{EENEW} = \begin{bmatrix} x_{2x} & y_{2x} & z_{2x} \\ x_{2y} & y_{2y} & z_{2y} \\ x_{2z} & y_{2z} & z_{2z} \end{bmatrix}$$

50

(式中、 R_{EENEW} 行列の列は、固定スレーブ基準フレーム x_v 、 y_v 、および z_v で記述されるエンドエフェクタ基準フレーム x_2 、 y_2 、および z_2 の軸を表現している)従って、 R_{EENEW} は、 x_v 、 y_v 、および z_v 固定スレーブ基準フレームに対するエンドエフェクタ作業空間のエンドエフェクタ210の新しい向きを定義する。ベクトル【数10】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

および回転行列 R_{EENEW} の値は、本明細書において後述するように計算され、かつワークステーションメモリ252の現在のバッファ320の記憶装置330および332にそれぞれ記憶される。

【0061】

ベース設定プロセス

システム100が最初に起動するとき、ワークステーションプロセッサ回路120は、マスターベース位置ベクトル

【数11】

$$\vec{P}_{MBASE}$$

を現在のハンドコントローラベクトル

【数12】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

に等しく設定し、および定義可能なマスターベース回転行列 R_{MBASE} が、現在のハンドコントローラ回転に関連付けられるハンドコントローラ回転行列 R_{MCURR} によって定義される現在の向きと同じである向きを定義するようにする。従って、起動時に以下のオペレーションが行われる。

【数13】

$$\vec{P}_{MBASE} = \vec{P}_{MCURR}, \text{および}$$

$$R_{MBASE} = R_{MCURR}$$

【0062】

図7に示す軸 x_1 、 y_1 および z_1 によって表現されるハンドコントローラ112の基準フレームおよび軸 x_{mb} 、 y_{mb} 、および z_{mb} (同様に図7に示す)によって表現される定義可能なマスターベース基準フレームは、従って、システム100の起動時に一致する。図3に戻って説明すると、ワークステーションプロセッサ回路120は、定義可能なマスターベース位置ベクトル

【数14】

$$\vec{P}_{MBASE}$$

および定義可能なマスターベース回転行列 R_{MBASE} を表現する値をワークステーションメモリ252の現在のバッファ320の記憶装置326および328に記憶する。

【0063】

システム100の起動時、新しいエンドエフェクタ位置ベクトル

【数15】

$$\vec{P}_{MBASE}$$

および新しいエンドエフェクタ回転行列 R_{EENEW} の以前に記憶された値はなく、および一実施形態では、これらの値は、ホーム構成値に設定される。ホーム構成は、図8に示すように器械208のほぼ直線の位置決め装置209を生成すると定義され得、およびホ

10

20

30

40

50

ーム構成のための

【数 1 6】

$$\bar{P}_{M B A S E}$$

および $R_{E E N E W}$ の値は、初期設定時に事前設定され得る。システム 1 0 0 の起動時、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 はまた、定義可能なエンドエフェクタベース位置ベクトル

【数 1 7】

$$\bar{P}_{E E B A S E}$$

および定義可能なエンドエフェクタベース回転行列 $R_{E E B A S E}$ が、

【数 1 8】

$$\bar{P}_{M B A S E}$$

および $R_{E E N E W}$ のホーム構成値に設定されるようにする。他の実施形態では、ホーム構成は、構成変数を定義して異なる曲げを生じ得るか、または直線のおよび曲げられた器械位置決め装置の両方がホーム構成を取る。従って、起動時に以下のオペレーションが行われる。

【数 1 9】

$$\bar{P}_{E E B A S E} = \bar{P}_{E E N E W}, \text{ および}$$

$$R_{E E B A S E} = R_{E E N E W}$$

【 0 0 6 4】

従って、図 8 に示す軸 x_2 、 y_2 、および z_2 によって表現されるエンドエフェクタ基準フレームおよび軸 $x_{s b}$ 、 $y_{s b}$ 、および $z_{s b}$ によって表現される定義可能なスレーブベース基準フレームは、システム 1 0 0 の起動時に一致する。図 3 に戻って説明すると、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 は、定義可能なスレーブベース位置ベクトル

【数 2 0】

$$\bar{P}_{E E B A S E}$$

を表現する値 $x_{s b}$ 、 $y_{s b}$ 、および $z_{s b}$ をワークステーションメモリ 2 5 2 の現在のバッファ 3 2 0 の記憶装置 3 3 4 に記憶し、および定義可能なスレーブベース回転行列 $R_{M B A S E}$ を表現する値を記憶装置 3 3 6 に記憶する。

【 0 0 6 5】

ベース設定プロセス（図 4 に示すプロセス 3 0 0 のブロック 3 0 4）は、ブロック 3 0 2 において足踏みスイッチ 1 3 4 によって生じたイネーブル信号がアクティブ状態から非アクティブ状態へ移行するときに非同期的に実行される。ベース設定プロセス 3 0 4 のさらなる詳細を図 9 にプロセスフローチャートとして示す。ベース設定プロセス 3 0 4 はブロック 6 0 0 で開始し、ここで、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 のマイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、動き制御インターフェース 2 5 8 を介して制御信号を送信し、制御信号により、器械プロセッサ回路 1 3 0 が駆動制御インターフェース 2 8 6 において、器械 2 0 8 のさらなる動きを生じないようにする駆動信号を生じることにより、器械 2 0 8 のさらなる動きを阻止する。一実施形態では、マイクロプロセッサ 2 5 0 は、同じ制御信号を維持し、および駆動制御インターフェース 2 8 6 によって生じる駆動信号が制御信号に応答して生じるため、駆動信号も、足踏みスイッチ 1 3 4 が押されたときにアクティブであった値に維持される。従って、器械 2 0 8 は、現在の位置および向きで不動のままとなる。

【 0 0 6 6】

10

20

30

40

50

次いで、ブロック602は、マイクロプロセッサ250に指令して、イネーブル信号が非アクティブ状態からアクティブ状態へ再度移行されたかどうかを決定する。イネーブル信号が非アクティブ状態のままである場合、ブロック602は、マイクロプロセッサ250にブロック602を繰り返すように指令し、従って、イネーブル信号が非アクティブ状態にある間、プロセス304は実際上保留にされる。イネーブル信号が非アクティブ状態からアクティブ状態へ移行すると、ブロック602は、マイクロプロセッサ250をブロック604へ進める。

【0067】

ブロック604は、マイクロプロセッサ250に指令して、それぞれハンドコントローラ112およびエンドエフェクタ210に対して新しいベース位置および向きを設定する。足踏みスイッチ134が押されている間、外科医は、ハンドコントローラ112を新しい箇所に動かして、手術作業空間に対して入力装置作業空間を再配置し得る。イネーブル信号がアクティブ状態へ移行すると、ブロック604は、マイクロプロセッサ250に、現在のハンドコントローラ位置ベクトル

【数21】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

およびハンドコントローラ回転行列 R_{MCURR} の現在の値を、マスターベース位置ベクトル

【数22】

$$\vec{P}_{MBASE}$$

およびマスターベース回転行列 R_{MBASE} に対する新しい値として、ワークステーションメモリ252の現在のバッファ320の箇所326および328に記憶するようにさせる。ブロック604はまた、マイクロプロセッサ250に指令して、エンドエフェクタ位置信号

【数23】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

およびエンドエフェクタ向き信号 R_{EENEW} の現在の値を、定義可能なエンドエフェクタベース位置ベクトル

【数24】

$$\vec{P}_{EEBASE}$$

および定義可能なスレーブベース回転行列 R_{MBASE} として、現在のバッファ320の記憶装置334および336に記憶させる。

【0068】

次いで、ベース設定プロセス304は、ブロック606に進み、そこではマイクロプロセッサ250に指令し、134によって生じたイネーブル信号がアクティブなままである間、器械208のさらなる動きを可能にさせる。

【0069】

従って、ベース設定プロセス304は、入力装置116のハンドコントローラ112が新しい箇所に動かされる間、足踏みスイッチ134を押すことによって器械208を不動にできるようにする。足踏みスイッチ134が解放されると、器械208の制御は、ハンドコントローラ112の新しい位置において再開する。従って、ハンドコントローラ112は、器械が不動のままである間に必要に応じて再位置決めされ得、患者に傷害を加え得る意図しない動きを防止する。

【0070】

一実施形態では、足踏みスイッチ134がイネーブル信号を非アクティブ状態へ移行させるとき、それぞれ左および右の器械208および212の位置および向きを表現する図5

10

20

30

40

50

のインジケータ 4 0 8、4 1 2、4 1 0 および 4 1 4 は、それらの現在のそれぞれの位置においてグラフィック描写 1 3 6 および 1 3 8 上で不動であり、および現在の入力装置 1 1 0 の入力を変現する追加的なインジケータ 4 5 0 および 4 5 2 が表示される。不動のインジケータ 4 0 8、4 1 2、4 1 0 および 4 1 4 は、不動の器械 2 0 8 および 2 1 2 の位置および向きを表現する一方、追加的なインジケータ 4 5 0 および 4 5 2 は、入力装置 1 1 6 および 1 1 8 およびハンドコントローラ 1 1 2 および 1 1 4 の現在の位置を表現する。それに続いて、イネーブル信号が再度アクティブ状態へ移行すると、追加的なインジケータ 4 5 0 および 4 5 2 が削除されるかまたは次第に消え、およびインジケータ 4 0 8、4 1 2、4 1 0 および 4 1 4 が再度アクティブにされる。足踏みスイッチ 1 3 4 を解放する前に、表示されるインジケータ 4 0 8 および 4 5 0、ならびにインジケータ 4 1 0 および 4 5 2 を位置合わせすることにより、ハンドコントローラ 1 1 2 および 1 1 4 とそれぞれの器械 2 0 8 および 2 1 2 との間のオフセットを最小限にする。同様に、現在のハンドコントローラ回転インジケータ 4 5 4 および 4 5 6 は、エンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 の現在の回転を表現するインジケータからのオフセットで表示され得る。従って、足踏みスイッチ 1 3 4 が押されている間、ユーザは、ロール、向きおよび平行移動 (X Y Z) にオフセットを生じさせ得る。足踏みスイッチ 1 3 4 が解放されると、器械 2 0 8 および 2 1 2 は再係合され、およびロールおよび平行移動のオフセットが固定される。

10

【0071】

器械の位置および向き

器械の 3 D 空間位置を計算するための、図 3 に示すプロセス 3 0 0 のブロック 3 0 6 のさらなる詳細を図 1 0 に示す。図 1 0 を参照して説明すると、プロセス 3 0 6 は、新しいエンドエフェクタ位置および向き制御信号

20

【数 2 5】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

および R_{EENEW} を、現在のハンドコントローラ位置

【数 2 6】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

30

およびハンドコントローラ向き R_{MCURR} に応答して計算するために、ワークステーションプロセッサ回路 1 2 0 によって実行されるコードのブロックを含む。これらの制御信号は、通信インターフェース 2 8 4 において器械プロセッサ回路 1 3 0 によって受信されると、マイクロプロセッサ 2 8 0 によって使用されて、駆動制御インターフェース 2 8 6 において駆動信号を生じ、エンドエフェクタ 2 1 0 を位置決めしかつその向きを決定する。一実施形態では、プロセス 3 0 6 は、約 1 k H z の速度で周期的に実行される。

【0072】

プロセス 3 0 6 はブロック 6 3 0 において開始し、そこではマイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、ワークステーションメモリ 2 5 2 の現在のバッファ 3 2 0 から、現在のハンドコントローラ位置ベクトル

40

【数 2 7】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

および現在のハンドコントローラ行列 R_{MCURR} を表現する

【数 2 8】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

および R_{MCURR} に関する現在の値を読み取る。次いで、ブロック 6 3 2 は、マイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、固定スレーブ基準位置 5 5 2 およびスレーブベース向きに対する所望のエンドエフェクタ位置 5 6 0 および所望のエンドエフェクタ向きを表現する

50

新しいエンドエフェクタ位置信号

【数 2 9】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

および新しいエンドエフェクタ向き信号 R_{EENEW} を計算する。ブロック 6 3 2 はまた、マイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、新しいエンドエフェクタ位置ベクトル

【数 3 0】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

10

を表現する値をワークステーションメモリ 2 5 2 の現在のバッファ 3 2 0 の記憶装置 3 3 0 に記憶し、および所望のエンドエフェクタ向き行列 R_{EENEW} を表現する値を記憶装置 3 3 2 に記憶する。

【0 0 7 3】

新しいエンドエフェクタ位置信号

【数 3 1】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

および新しいエンドエフェクタ向き信号 R_{EENEW} は、以下の式に従って計算される。

【数 3 2】

20

$$\vec{P}_{EENEW} = A(\vec{P}_{MCURR} - \vec{P}_{MBASE}) + \vec{P}_{EEBASE} \quad \text{式 1a}$$

$$R_{EENEW} = R_{EEBASE} R_{MBASE}^{-1} R_{MCURR} \quad \text{式 1b}$$

(式中、

【数 3 3】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

は、エンドエフェクタ作業空間におけるエンドエフェクタ 7 3 の新しい所望の位置を表現する新しいエンドエフェクタ位置ベクトルであり、およびスレーブベース基準位置に対して定義され；

30

A は、マスターとスレーブとの間の平行移動の動きの倍率を表現するスカラー値であり

；

【数 3 4】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

は、現在のバッファ 3 2 0 の記憶装置 3 2 2 に記憶されたハンドコントローラ位置ベクトルの現在の表現であり、ハンドコントローラ位置ベクトルは、固定マスター基準フレーム x_r 、 y_r 、および z_r に対して定義され；

40

【数 3 5】

$$\vec{P}_{MBASE}$$

は、非アクティブ状態からアクティブ状態へのイネーブル信号の最後の移行において、またはシステム初期設定時に、またはオペレータによる制御インターフェースの動作によってシフトされたハンドコントローラ 1 1 2 に対して最後に保存された位置ベクトル

【数 3 6】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

であり；

50

【数 3 7】

$$\vec{P}_{EEBASE}$$

は、非アクティブ状態からアクティブ状態へのイネーブル信号の最後の移行においてまたはシステム初期設定時にシフトされたエンドエフェクタ 2 1 0 に対して最後に保存された位置ベクトル

【数 3 8】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

であり；

R_{EENEW} は、エンドエフェクタ 2 1 0 の現在の向きを表現する新しいエンドエフェクタ向き行列であり、および固定スレーブ基準位置 5 5 2 に対して定義され；

R_{EEBASE} は、非アクティブ状態からアクティブ状態へのイネーブル信号の最後の移行においてシフトされたエンドエフェクタ 2 1 0 の最後に保存された回転行列 R_{EENEW} であり；

R_{MBASE}^{-1} は、回転行列 R_{MBASE} の逆行列であり、これは、非アクティブ状態からアクティブ状態へのイネーブル信号の最後の移行で保存されたハンドコントローラ 1 1 2 の最後に保存された回転行列 R_{MCURR} であり；および

R_{MCURR} は、固定マスター基準フレーム x_r 、 y_r 、および z_r に対してハンドコントローラ 1 1 2 の向きを表現する現在取得された回転行列である)。

【0 0 7 4】

次いで、ブロック 6 3 4 は、マイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、イネーブル信号がアクティブ状態にあるかどうかを決定する。イネーブル信号がアクティブ状態にある場合、ブロック 6 3 6 は、マイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、動き制御インターフェース 2 5 8 が、

【数 3 9】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

および R_{EENEW} に関する新しく計算した値に基づいて制御信号を送信する。制御信号が器械プロセッサ回路 1 3 0 の通信インターフェース 2 8 4 で受信される場合、マイクロプロセッサ 2 8 0 は、駆動信号が生じるようにし、エンドエフェクタ 2 1 0 が、ハンドコントローラ 1 1 2 の現在の位置および現在の向きによって決定された位置および向きを取るようにする。

【0 0 7 5】

次いで、ブロック 6 3 8 は、マイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、現在のバッファ 3 2 0 の記憶装置 3 2 2 および 3 2 4 に記憶された現在の位置ベクトル

【数 4 0】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

および現在の回転行列 R_{MCURR} をワークステーションメモリ 2 5 2 の以前のバッファ 3 4 0 の記憶装置 3 4 2

【数 4 1】

$$(\vec{P}_{MPREV})$$

および 3 4 4 (R_{MPREV}) にコピーする。ブロック 6 3 8 はまた、マイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、新しく計算したエンドエフェクタ位置ベクトル

【数 4 2】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

および新しく計算したエンドエフェクタ回転行列 R_{EENEW} を以前のバッファ 3 4 0 の

10

20

30

40

50

記憶装置 3 4 6 および 3 4 8 にコピーする。新しく計算したエンドエフェクタ位置ベクトル

【数 4 3】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

および新しく計算したエンドエフェクタ回転行列 R_{EENEW} を記憶することにより、以前に計算されたエンドエフェクタ位置ベクトル

【数 4 4】

$$\vec{P}_{EEPREV}$$

および以前に計算されたエンドエフェクタ回転行列 R_{EEPREV} 、それに続いて取得した新しいエンドエフェクタ位置ベクトル

【数 4 5】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

およびそれに続いて取得した新しいエンドエフェクタ回転行列 R_{EENEW} が、入力装置 1 1 6 によって提供された、次に受信したハンドコントローラ位置ベクトル

【数 4 6】

$$\vec{P}_{MCURR}$$

および次に受信したハンドコントローラ回転行列 R_{MCURR} から計算され得る。

【0 0 7 6】

ブロック 6 3 4 において、イネーブル信号が非アクティブ状態にある場合、マイクロプロセッサ 2 5 0 はブロック 6 4 2 に進められる。ブロック 6 4 2 は、マイクロプロセッサ 2 5 0 に指令して、動き制御インターフェース 2 5 8 が、ワークステーションメモリ 2 5 2 の以前のバッファ 3 4 0 のそれぞれの記憶装置 3 4 6 および 3 4 8 にある、

【数 4 7】

$$\vec{P}_{EEPREV}$$

および R_{EEPREV} の以前に計算された値に基づいて制御信号を送信する。従って、動き制御インターフェース 2 5 8 によって送信された制御信号は、

【数 4 8】

$$\vec{P}_{EENEW}$$

および R_{EENEW} の最後に保存された値から得られ、以前に決定された同じ制御信号が器械プロセッサ回路 1 3 0 の通信インターフェース 2 8 4 に送信されるため、エンドエフェクタ 2 1 0 を静止したままにする。次いで、マイクロプロセッサ 2 5 0 はブロック 6 4 0 に進められる。

【0 0 7 7】

イネーブル信号が非アクティブに留まる間（すなわち足踏みスイッチ 1 3 4 が押されている間）、動き制御インターフェース 2 5 8 によって送信された制御信号は、イネーブル信号が非アクティブへ移行される前に有効であった以前に計算されたエンドエフェクタ位置および以前に計算された向き信号

【数 4 9】

$$\vec{P}_{EEPREV}$$

および R_{EEPREV} のみに基づくものである。

【0 0 7 8】

別の実施形態では、イネーブル信号がブロック 6 3 4 においてアクティブ状態にあると決定されると、ブロック 6 3 6 を実行する前にいくつかの特別な機能が実行され得る。その

10

20

30

40

50

ような特別な機能の一例は、本出願人の同時係属中の米国仮特許出願第62/101,734号明細書および同第62/101,804号明細書(それら全体が参照により本明細書に援用される)に説明されているようなアライメント制御機能である。例えば、一実施形態では、アライメント制御機能は、2つの結果の1つになり得る。第1の結果は、マイクロプロセッサ250に、ブロック636を実行するように指令してもよく、ここで、マイクロプロセッサに指令して、動き制御インターフェース258が器械プロセッサ回路130へ、新しく計算したエンドエフェクタ位置および新しく計算したエンドエフェクタ向き

【数50】

$$\bar{P}_{EENEW}$$

および R_{EENEW} に基づいて制御信号を送信する。第2の結果は、マイクロプロセッサ250にブロック638を実行するように指令し、ここで、マイクロプロセッサに、動き制御インターフェース258が、以前に計算されたエンドエフェクタ位置および以前に計算されたエンドエフェクタ向き

【数51】

$$\bar{P}_{EEPREV}$$

および R_{EEPREV} に基づいて制御信号を送信するようにさせる。これにより、エンドエフェクタ210は、ハンドコントローラ112の以前の位置および以前の向きによって決定された位置および向きを取る。

【0079】

従って、イネーブル信号が非アクティブ状態にあるとき、ハンドコントローラ112は、動かされかつ回転されることができ、かつ

【数52】

$$\bar{P}_{EENEW}$$

および R_{EENEW} の計算は、依然として、ブロック632によって実行されるが、以前の制御信号が器械プロセッサ回路130へ送信されるため、エンドエフェクタ210の動きはない。これにより、エンドエフェクタ210の対応する動きがなくてもハンドコントローラ112の「クラッチ」または再位置決めを可能にする。動きは、入力装置作業空間内のハンドコントローラの快適な位置への再配置および/または手術作業空間内のエンドエフェクタ210の動きの範囲の増加に有用であり得る。

【0080】

ブロック636またはブロック638で生じたエンドエフェクタ位置ベクトル

【数53】

$$\bar{P}_{EENEW} \text{ または } \bar{P}_{EEPREV}$$

およびエンドエフェクタ向き行列 R_{EENEW} または R_{EEPREV} は、固定スレーブ基準位置552に対して所望の箇所のエンドエフェクタ先端部560を提供する。しかしながら、図3に示す実施形態では、マイクロプロセッサ250は、動き制御インターフェース258から運動制御信号を送信させて、エンドエフェクタ210を所望のエンドエフェクタ位置および向きに位置決めしかつその向きにするために位置決め装置209によって必要とされるポーズを定義する。従って、運動制御信号は、エンドエフェクタ位置560を所望の位置および向きに位置決めするための位置決め装置209およびエンドエフェクタ210の運動学的構成に基づいて生成される。

【0081】

運動制御信号

右側器械208を図11および図12において曲げたポーズで示す。左側器械212も、図12においてホーム構成に対応する直線ポーズで示す。図11および図12を参照し

10

20

30

40

50

て説明すると、器械208の位置決め装置209は、S字状セグメント700と呼ばれる第1の関節セグメントと、遠位セグメント702と呼ばれる第2の関節セグメントとを有する。これらセグメントは、それぞれ複数の椎骨部550を含む。S字状セグメント700は、挿入管202から、挿入距離 q_{ins} と呼ばれる距離をおいて開始し、この挿入距離は、固定スレーブベース基準フレーム x_v 、 y_v 、および z_v の起点において定義される固定スレーブ基準位置552と、第1の位置基準フレーム x_3 、 y_3 、および z_3 の起点にある第1の位置704との間の距離である。挿入距離 q_{ins} は、挿入管202の端部から延出する、位置決め装置209の曲げることができない部分を表す。図示の実施形態では、挿入距離 q_{ins} は、約10~20mmであり得るが、他の実施形態では、挿入距離は、それよりも長くてもまたは短くてもよく、例えば、0~100mmで様々である。

10

【0082】

S字状セグメント700は、第1の位置704から、軸 x_5 、 y_5 、および z_5 を有する第3の基準フレームの起点として定義される第3の位置706へ延在し、かつS字状セグメント700内の制御ワイヤ（図示せず）が押されたり引かれたりするとき滑らかなS字形状を取ることができる。S字状セグメント700は、軸 x_4 、 y_4 、および z_4 を有する第2の位置基準フレームの起点として定義される第2の位置708に中間点を有する。S字状セグメント700は、図12に最もよく示す、左側器械位置決め装置213に関する長さ L_1 を有する。図示の実施形態では、長さ L_1 は約65mmであり得る。

【0083】

遠位セグメント702は、第3の位置706から、軸 x_6 、 y_6 、および z_6 を有する第4の基準フレームの起点として定義される第4の位置710へ延在する。遠位セグメント702は、図12に最もよく示す、左側器械位置決め装置213に関する長さ L_2 を有する。図示の実施形態では、長さ L_2 は約23mmであり得る。

20

【0084】

各エンドエフェクタ210および214はまた、エンドエフェクタ長さを有し、これは、図示の実施形態では、第4の位置710から、軸 x_2 、 y_2 、および z_2 の起点として定義されるエンドエフェクタ先端部位置560まで延在するグリッパ長さ L_3 である。グリッパ長さ L_3 は、ここでも、左側器械位置決め装置213に関して図12に最もよく示し、および一実施形態では、約25mmであり得る。スレーブ基準位置552、第1の位置704、第2の位置708、第3の位置706、第4の位置710、およびエンドエフェクタ位置560は、集合的に器械基準位置と呼ばれ得る。

30

【0085】

PCT/カナダ特許出願公開第2013/001076号明細書（その全体が本明細書に援用される）に説明されるように、位置決め装置209および213内で制御ワイヤを押したり引いたりすることにより、位置決め装置209および213のS字状セグメント700は、図8に示す直線条件から、完全なS字形状までの図11および図12に示す右側器械208に関する部分的なS字形状まで、様々な度合いのS字形状に曲げられ得る。S字状セグメント700は、区分されており、第1のセクション712と、第2の位置708の反対側にある第2のセクション714とを有する。図5を参照して説明すると、第1および第2のセクション712および714は、第1の位置704、第2の位置708、および第3の位置706を含む第1の曲げ平面にある。第1の曲げ平面は、固定スレーブ基準フレーム x_v 、 y_v 、および z_v の x_v - z_v 平面に対して角度 ρ_{rox} にある。第1のセクション712および第2のセクション714は、第1の曲げ平面において反対側であるが等しい角度 ρ_{rox} で曲げられ、いかなる角度 ρ_{rox} または曲げ平面角度 ρ_{rox} でも、第3の位置706の z_5 軸は、常に固定スレーブ基準位置552の z_v 軸に対して平行であり、かつそれと同じ方向に位置合わせされる。従って、位置決め装置209内で制御ワイヤを押したり引いたりすることにより、第3の位置706は、第1の位置704の周りのシリンダー状体積部内の空間内のいくつかの個別の位置のいずれかに配置され得る。このシリンダー状体積部は、S字状セグメント作業空間と称し得る。

40

50

【 0 0 8 6 】

さらに、遠位セグメント702は、第3の位置706および第4の位置710を含む第2の曲げ平面内にある。第2の曲げ平面は、固定スレーブ基準フレーム x_v 、 y_v 、および z_v の $x_v - z_v$ 平面に対して角度 $d_{i s t}$ にある。遠位セグメント702は、第2の曲げ平面において角度 $d_{i s t}$ に曲げられている。従って、位置決め装置209内で制御ワイヤを押したり引いたりすることにより、第4の位置710は、第4の位置710の周りの、空間内の別の体積部内に配置され得る。この体積部は、遠位作業空間と称し得る。S字状セグメント作業空間および遠位作業空間の組み合わせは、これが、位置決め装置209によって達成される器械208の発生し得る動き全体を表すため、位置決め装置作業空間と称し得る。左側器械212は、位置決め装置213によって同様に位置決めされ得る。

10

【 0 0 8 7 】

第4の位置710とエンドエフェクタ位置560との間の距離は、図示の実施形態では、遠位セグメント702の可動部分とグリッパエンドエフェクタ210の先端部との間の距離であり、すなわち図12に示すグリッパ長さ L_3 の長さである。一般的に、第4の位置710とエンドエフェクタ位置560との間のグリッパの一部は曲げることができないであろう。

【 0 0 8 8 】

図示の実施形態では、エンドエフェクタ210は、エンドエフェクタ基準フレーム $x_2 - y_2$ 平面において z_2 軸の周りで回転可能である可動グリッパジョー216を含み、回転角度は、 x_2 正軸に対する角度 によって表わされる。最後に、グリッパジョー216は、完全な閉鎖から完全な開放までの様々な開放度合のいずれかであり得る（ジョーのヒンジ継手によって制限されるように）。様々な開放度合は、「グリッパ」と定義され得る。従って、要するに、運動制御信号は、以下の構成変数によって定義されるような位置決め装置209およびエンドエフェクタ210の運動学的構成に基づいて生成される：

20

$q_{i n s}$ は、軸 x_v 、 y_v 、および z_v によって定義されるスレーブ基準位置552から、位置決め装置209のS字状セグメント700が開始する、軸 x_3 、 y_3 、および z_3 によって定義される第1の位置704までの距離を表し；

$p_{r o x}$ は、S字状セグメント700が固定スレーブ基準フレームの $x_v - y_v$ 平面に対して曲げられる第1の曲げ平面を表し；

30

$p_{r o x}$ は、S字状セグメント700の第1および第2のセクション712および714が第1の曲げ平面において曲げられる角度を表し；

$d_{i s t}$ は、遠位セグメント702が固定スレーブ基準フレームの $x_v - y_v$ 平面において曲げられる第2の曲げ平面を表し；

$d_{i s t}$ は、第2の曲げで遠位セグメント702が曲げられる角度を表し；

は、軸 z_2 の周りでエンドエフェクタ210の回転を表し；および

グリッパは、エンドエフェクタ210のグリッパジョー216のある度合の開放を表す（これは、ジョー216が閉鎖するように作動させるために、アクチュエータを握ることによってオペレータが加える圧力の量を示す、ハンドコントローラ112のアクチュエータ（図示せず）によって生じる信号に対して正比例で計算される値である）。

40

【 0 0 8 9 】

構成変数を計算するために、エンドエフェクタ回転行列 $R_{E E N E W}$ が 3×3 の行列であることがまず想起される。

【 数 5 4 】

$$R_{E E N E W} = \begin{bmatrix} x_{2x} & y_{2x} & z_{2x} \\ x_{2y} & y_{2y} & z_{2y} \\ x_{2z} & y_{2z} & z_{2z} \end{bmatrix}$$

（式中、 $R_{E E N E W}$ の最後の列は、固定スレーブ基準フレーム x_v 、 y_v 、および z_v

50

に対して記述されたエンドエフェクタ基準フレームの z 軸である)

遠位セグメント 7 0 2 に関連付けられた値 δ_{dist} 、 δ_{dist} 、および γ は、式に従って計算され得る。

【数 5 5】

$$\theta_{dist} = \frac{\pi}{2} - \text{atan2} \left(\sqrt{z_{2x}^2 + z_{2y}^2}, z_{2z} \right) \quad \text{式 2}$$

$$\delta_{dist} = -\text{atan2}(z_{2y}, z_{2x}). \quad \text{式 3} \quad 10$$

$|\delta_{dist}| > \frac{\pi}{2}$ の場合:

$$\gamma = \text{atan2}(-y_{2z}, x_{2z}) - \delta_{dist} + \pi \quad \text{式 4a}$$

そうでない場合

$$\gamma = \text{atan2}(y_{2z}, -x_{2z}) - \delta_{dist} \quad \text{式 4b} \quad 20$$

【0 0 9 0】

その後、第 3 の位置 7 0 6 は、固定スレーブ基準位置 5 5 2 から第 3 の位置へのベクトル
【数 5 6】

$$\bar{p}_{3/v}$$

の項で記述され得る。同様に、ベクトル

【数 5 7】

$$\bar{p}_{4/3}$$

は、第 3 の位置 7 0 6 から第 4 の位置 7 1 0 まで定義され得、およびベクトル

【数 5 8】

$$\bar{p}_{5/4}$$

は、第 4 の位置 7 1 0 からエンドエフェクタ位置 5 6 0 まで定義され得る。そのため、これらの値を使用して、エンドエフェクタ位置ベクトル

【数 5 9】

$$\bar{p}_{4/3} \text{ および } \bar{p}_{5/4}$$

からベクトル

【数 6 0】

$$\bar{p}_{EENEW}$$

を減算することにより、固定スレーブ基準位置 5 5 2 に対する第 3 の位置 7 0 6 の箇所を演算し得る。

30

40

【数 6 1】

$$\bar{p}_{3/v} = \bar{P}_{EENEW} - \bar{p}_{4/3} - \bar{p}_{5/4}, \quad \text{式 5}$$

式中

$$\bar{p}_{4/3} \cdot \bar{i} = \frac{-L_2 \cos \delta_{dist} (\sin \theta_{dist} - 1)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{dist}} \quad \text{式 6a}$$

$$\bar{p}_{4/3} \cdot \bar{j} = \frac{L_2 \sin \delta_{dist} (\sin \theta_{dist} - 1)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{dist}} \quad \text{式 6b} \quad 10$$

$$\bar{p}_{4/3} \cdot \bar{k} = \frac{L_2 \cos(\theta_{dist})}{\frac{\pi}{2} - \theta_{dist}} \quad \text{式 6c}$$

$$\bar{p}_{5/4} \cdot \bar{i} = L_3 \cos(\delta_{dist}) \cos(\theta_{dist}) \quad \text{式 7a}$$

$$\bar{p}_{5/4} \cdot \bar{j} = -L_3 \sin(\delta_{dist}) \cos(\theta_{dist}) \quad \text{式 7b} \quad 20$$

$$\bar{p}_{5/4} \cdot \bar{k} = L_3 \sin(\theta_{dist}), \quad \text{式 7c}$$

ここで、

【数 6 2】

 \bar{i}

は、x方向の単位ベクトルであり、

【数 6 3】

 \bar{j}

は、y方向の単位ベクトルであり、および

【数 6 4】

 \bar{k}

は、z方向の単位ベクトルである。

【0 0 9 1】

その後、固定スレーブ基準位置 5 5 2 から第 3 の位置 7 0 6 へのベクトル

【数 6 5】

 $\bar{p}_{3/v}$

を使用して、S字状セグメント 7 0 0 に関する構成変数 p_{rox} および p_{rox} を見つけ得る。角度 p_{rox} は、 p_{rox} に関する以下の 2 つの式を解くことによって計算される。

30

40

【数 6 6】

$$\bar{p}_{3/v} \cdot \bar{i} = \frac{-L_1 \cos \delta_{prox} (\sin \theta_{prox} - 1)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{prox}} \quad \text{式 8a}$$

$$\bar{p}_{3/v} \cdot \bar{j} = \frac{L_1 \sin \delta_{prox} (\sin \theta_{prox} - 1)}{\frac{\pi}{2} - \theta_{prox}} \quad \text{式 8b} \quad 10$$

【0092】

式 8 b と式 8 a との比を取ることで、

【数 6 7】

$$\delta_{prox} = a \tan 2(-\bar{p}_{3/v} \cdot \bar{j}, \bar{p}_{3/v} \cdot \bar{i}) \quad \text{式 9}$$

(式中、

【数 6 8】

 \bar{i} および \bar{j}

20

は、それぞれ x 方向および y 方向における単位ベクトルである) を生じる。閉形式解は、 θ_{prox} に関して見つけることができず、従って、 θ_{prox} は、式 8 a または式 8 b のいずれかに対して数式の解を使用して見つけられる必要がある。例えば、ニュートン・ラフソン法が用いられ得、これは、実数値関数のより良好な根を連続して繰り返し概算する。ニュートン・ラフソン法は、以下の式を使用して実動化され得る。

【数 6 9】

$$f(\theta_{prox}) = \frac{L_1}{\frac{\pi}{2} - \theta_{prox}} \cos \delta_{prox} (1 - \sin \theta_{prox}) - \bar{p}_{3/v} \cdot \bar{i} = 0 \quad \text{式 10}$$

30

(式中、

【数 7 0】

 \bar{i}

は、x 方向の単位ベクトルである) 式 10 は、式 $f(\theta_{prox}) = 0$ において書き換えられた式 8 a である。ニュートン・ラフソン法は、範囲 $0 < \theta_{prox} < \frac{\pi}{2}$ において、関数は、大きい曲率半径を有し、かつ局所的な停留点を有しないため、非常に迅速に収束する傾向を有する。ニュートン・ラフソン法に続いて、以下の式を使用して式 10 を満たすために、 θ_{prox} の改善された連続的な推定を繰り返し行い得る。

40

【数 7 1】

$$\theta_{n+1} = \theta_n - \frac{f(\theta_n)}{f'(\theta_n)} \quad \text{式 11}$$

【0093】

最後に、 θ_{prox} を決定すると、以下の式を使用して q_{ins} を見つけ得る。

【数 7 2】

$$q_{ins} = -\bar{p}_{3/v} \cdot \bar{k} - \frac{L_1 \cos \theta_{prox}}{\frac{\pi}{2} - \theta_{prox}} \tag{式 12}$$

(式中、

【数 7 3】

$$\bar{k}$$

10

は、z 方向における単位ベクトルであり、および

【数 7 4】

$$\bar{p}_{3/v} \cdot \bar{k}$$

は、ベクトル

【数 7 5】

$$\bar{p}_{3/v}$$

と単位ベクトル

【数 7 6】

$$\bar{k}$$

20

とのドット積である。

【0094】

上述の構成変数は、プロセス 306 のブロック 636 においてエンドエフェクタ位置信号および向き信号

【数 7 7】

$$\bar{P}_{EENEW}$$

および R_{EENEW}、またはブロック 642 において

30

【数 7 8】

$$\bar{P}_{EEPREV}$$

および R_{EEPREV} に関して計算した。構成変数は、一般的に、エンドエフェクタ 210 をエンドエフェクタ作業空間における所望の箇所および向きに位置決めするために必要な位置決め装置 209 のポーズを定義する。構成変数は、それぞれ右側および左側器械 208 および 212 の各エンドエフェクタ 210 および 214 に対して生じる。従って、左および右構成変数とそれぞれ称する 2 組の構成変数が動き制御インターフェース 258 によって生じて、器械プロセッサ回路 130 へ送信され、かつマイクロプロセッサ 280 によって使用されて、手術作業空間において器械 208 の位置決め装置 209 およびエンドエフェクタ 210 を空間的に位置決めするために駆動制御信号を生成する。

40

【0095】

3D 空間位置決め

図 3 に示すプロセス 300 のブロック 308 のさらなる詳細を図 13 に示す。図 13 を参照して説明すると、プロセス 308 は、図 5 に示すグラフィック描写 136 および 138 を表示するための表示信号を生成するための、ワークステーションプロセッサ回路 120 によって実行されるコードのブロックを含む。プロセス 308 は、ブロック 306 において決定された構成変数の値を使用して、入力装置 110 および足踏みスイッチ 134 からの現在の入力に関して、手術作業空間において位置決め装置 209 に沿った点の箇所を決定する。複数の箇所が固定スレーブ基準位置 552 に対して手術作業空間内で決定され

50

る。プロセス308は、一般的に、基準点のそれぞれに関する理論的な個所、すなわち手術作業空間における第1の位置704、第2の位置708、第3の位置706、第4の位置710およびエンドエフェクタ位置560を決定することを含む。各基準点の理論的な個所が決定されると、手術作業空間内の、位置決め装置209に沿った様々な中間点の理論的な個所が決定され得る。位置決め装置209のS字状セグメント700、および遠位セグメント702のセクション712、714のそれぞれは、複数の椎骨部550を含み、および椎骨部の中心は、同じ距離だけ離間している。S字状セグメント700および遠位セグメント702は、曲げられると、滑らかで連続的な一定半径の湾曲を形成するため、各椎骨部の中心の理論的な個所は数学的に計算され得る。理論的な個所を使用して、器械プロセッサ回路130によって使用される運動制御信号を決定し、手術作業空間での器械208の実際の位置決めのための駆動信号を生成し得る。理論的な個所はまた、ワークステーションプロセッサ回路120によって使用されて、図5に示すグラフィック描写136および138を生成する。

10

【0096】

プロセス308はブロック740で開始し、ここで、マイクロプロセッサ250に指令して、処理のための第1の基準位置（図11において704で示す）を選択する。次いで、ブロック742は、マイクロプロセッサ250に指令して、長さ q_{ins} を有する位置決め装置209の曲げることができない部分だけ固定スレーブ基準位置552から離間している第1の位置704の箇所を決定する。従って、第1の位置704の箇所は、 z_v 軸において固定スレーブ基準位置552に q_{ins} 構成変数を単に加えることによって決定される。その箇所は、手術作業空間内の固定スレーブ基準位置552から第1の位置704までのベクトル

20

【数79】

$$\bar{p}_{1/v}$$

の項で表わされ得る。

【0097】

その後、ブロック744は、マイクロプロセッサ250に指令して、位置決め装置209の第1のセクション712に沿った中間点の箇所を決定する（すなわち第1の位置704と第2の位置708との間）。ブロック740において決定された第1の位置704の箇所を使用して、S字状セグメント700の第1のセクション712における全ての椎骨部の箇所を決定する。例えば、図11に示す実施形態では、第1の位置704と第2の位置708との間の第1のセクション712には15個の椎骨部550があると仮定し、 n 個目の椎骨部の中心は、第1の位置704に対して、

30

【数80】

$$\frac{n\theta_{prox}}{15}$$

として計算される第1のセクション220に沿った中間点である理論的な個所にある。第1の位置704から n 個目の椎骨部の位置までのベクトルは、そのように決定され、かつ固定スレーブ基準位置552から第1の位置704までのベクトル

40

【数81】

$$\bar{p}_{1/v}$$

に加えられて、手術作業空間内の固定スレーブ基準位置552に対する第1のセクション712の n 個の椎骨部のそれぞれの箇所を決定する。

【0098】

その後、ブロック746は、マイクロプロセッサ250に指令して、基準位置の全てが処理されたかどうかを決定し、および処理されていない場合、マイクロプロセッサは、プロ

50

ック748に進められ、そこで次の基準位置が処理のために選択される。その後、ブロック748は、マイクロプロセッサ250に指令して、ブロック742に戻らせ、および各基準位置に関してブロック742および744が繰り返される。

【0099】

固定スレーブ基準位置552に対する第2の位置708の箇所は、構成変数 q_{ins} 、 p_{prox} 、および p_{prox} から決定され得る。固定スレーブ基準位置552から第2の位置708までのベクトル

【数82】

$$\bar{p}_{2/v}$$

10

を決定することにより、手術作業空間内での絶対項における第2の位置の理論的な個所を提供する。図11に示す実施形態では、再度、第2のセクション714に15個の椎骨部があると仮定し、第2のセクションのn個目の椎骨部の中心は、第2のセクションに沿った中間点にある。第2のセクション222が第1の曲げ平面 p_{prox} において曲げられる角度は、第1のセクション712の椎骨部に関する計算に使用される角度 p_{prox} と等しく、かつそれとは反対方向である。従って、n個目の椎骨部の中間点は、第2の位置708に対して、

【数83】

$$\frac{n(-\theta_{prox})}{15}$$

20

と計算され得る。第2の位置708からn個目の椎骨部の位置までのベクトルは、そのように決定され、かつスレーブ基準位置552から第2の位置708までのベクトル

【数84】

$$\bar{p}_{2/v}$$

に加えられ、位置決め装置作業空間内での絶対項における第2のセクション714のn個目の椎骨部の理論的な個所を提供し得る。このプロセスは、固定スレーブ基準位置552に対する手術作業空間内の各椎骨部中間点の絶対的な個所を見つけるために、S字状セグメント700の第2のセクション714の15個の椎骨部のそれぞれに対して繰り返され得る。

30

【0100】

S字状セグメント700の端部における第3の位置706の箇所は、上述の式8a、8b、および8cで設定されるようなベクトル成分を有するベクトル

【数85】

$$\bar{p}_{3/v}$$

の項で表わされ得る。第3の位置706の箇所は、上記で提供された方法を使用して、遠位セグメント702における全ての椎骨部550の理論的な個所を決定するための基準点として使用され得る。遠位セグメント702に15個の椎骨部があると仮定すると、n個目の椎骨部の中心は、遠位セグメントに沿った中間点にある。遠位セグメント702が第2の曲げ平面 d_{ist} において曲げられる角度は d_{ist} である。従って、n個目の椎骨部の中間点は、第3の位置706に対して、

40

【数86】

$$\frac{n\theta_{dist}}{15}$$

と計算され得る。第3の位置706からn個目の椎骨部の位置までのベクトルは、そのように決定され、かつベクトル

50

【数 8 7】

$$\bar{P}_{3/v}$$

に加えられて、手術作業空間内での絶対項の遠位セグメント 7 0 2 の n 個目の椎骨部の理論的な個所に到達し得る。この手順は、固定スレーブ基準位置 5 5 2 に対して、絶対項で位置決め装置作業空間における各椎骨部中間点の理論的な個所を見つけるために、遠位セグメント 7 0 2 にある 1 5 個の椎骨部のそれぞれに対して繰り返される。

【0 1 0 1】

第 4 の位置 7 1 0 の箇所は、上記の式 6 a、6 b、および 6 c において設定されるようなベクトル成分を有する第 3 の位置 7 0 6 に対するベクトル

【数 8 8】

$$\bar{P}_{4/3}$$

から決定され得る。ベクトル

【数 8 9】

$$\bar{P}_{4/3}$$

20

を固定スレーブ基準位置 5 5 2 から第 3 の位置 2 3 4 までのベクトル

【数 9 0】

$$\bar{P}_{3/v}$$

に加えることにより、手術作業空間内の固定スレーブ基準位置に対する絶対項で第 4 の位置の理論的な個所に到達するであろう。

【0 1 0 2】

最後に、エンドエフェクタ位置 5 6 0 の理論的な個所は、上記の式 7 a、7 b および 7 c において設定されるようなベクトル成分の式による第 4 の位置 7 1 0 に対するベクトル

【数 9 1】

$$\bar{P}_{5/4}$$

として決定され得る。第 4 の位置 7 1 0 からエンドエフェクタ位置 5 5 0 までのベクトルをベクトル

【数 9 2】

$$\bar{P}_{4/3}$$

および固定スレーブ基準位置 5 5 2 からのベクトル

【数 9 3】

40

$$\bar{P}_{3/v}$$

に加えることにより、固定スレーブ基準位置に対する絶対項でエンドエフェクタ位置 5 6 0 の理論的な個所に到達するであろう。

【0 1 0 3】

ブロック 7 4 6 において、位置決め装置 2 0 9 に沿った基準位置のそれぞれが処理された場合、2 0 9 およびエンドエフェクタ 2 1 0 に沿った複数の点の箇所が決定されるため、手術作業空間における器械 2 0 8 の 3 D 空間位置決めを定義する。

【0 1 0 4】

その後、プロセス 3 0 8 はブロック 7 4 8 に進み、ここではマイクロプロセッサ 2 5 0 に

50

指令して、位置決め装置 208 の現在の 3D 空間位置の二次元投影を生成して、図 5 のグラフィック描写 136 に示す位置決め装置を表現する領域 412 を生成する。ブロック 748 はまた、マイクロプロセッサ 250 に指令して、エンドエフェクタ 210 の現在の 3D 空間位置の二次元投影を生成して、図 5 に示すエンドエフェクタを表現するインジケータ 408 を生成する。一実施形態では、平面的な表現 136 が、 $x_y - y_v$ 平面（すなわち z_v 軸に対して垂直な）と位置合わせされた平面に対して生成され、かつその投影は、位置決め装置 209 およびエンドエフェクタ 210 に沿った各中間点の位置の x_v 成分および y_v 成分から生成される（すなわち、 z_v 成分はゼロに設定されない）。

【0105】

その後、プロセス 308 はブロック 750 に進み、ここではマイクロプロセッサ 250 に指令して、位置決め装置 209 のいずれかの投影部分が図 5 の境界 406 の近傍にあり、位置決め装置のさらなる動きに対する拘束がアクティブであることを示すかどうかを決定する。ブロック 750 はまた、マイクロプロセッサ 250 に指令して、エンドエフェクタ 210 のいずれかの投影部分が境界 402 の近傍にあるかどうかを決定する。これらの条件のいずれかが検出される場合、ブロック 750 は、マイクロプロセッサ 250 をブロック 752 に進める。

【0106】

ブロック 752 は、マイクロプロセッサ 250 に指令して、アクティブ拘束警告を生成する。一実施形態では、境界 402 または 406 の色または表示される強さを変更することにより、またはディスプレイ 122 上に警告シンボルを表示することにより可視警告が生成され得る。あるいは、警告は、インジケータ 412 および 414 の箇所にかぶせて、グラフィック描写 136 および 138 に表示され得る。他の実施形態では、可聴警告が生成され得る。代わりにまたは加えて、マイクロプロセッサ 250 は、入力装置 110 に、ハンドコントローラ 112 を介して触覚フィードバックを生成させるようにし得る。その後、ブロック 752 は、マイクロプロセッサ 250 に図 4 のブロック 302 に戻るように指令する。

【0107】

ブロック 750 において、位置決め装置 209 およびエンドエフェクタ 210 がいずれの境界の近傍にもない場合、マイクロプロセッサ 250 は、図 4 のブロック 302 に戻るように指令される。

【0108】

深さ

図 5 に示す器械深さ範囲 416 の描写は、以下の通り生成される。深さ範囲は、図 6 に示す軸 492 に沿って取られ、この範囲の端部 424 は、領域 488 内のエンドエフェクタ 210 の最大深さ 494 に対応する。器械深さ範囲 416 の端部 426 は、領域 488 内のエンドエフェクタ 210 の最小深さ 496 に対応する。入力装置深さ範囲 432 は、同様に、軸 492 に沿った、横線が引かれた領域 482 の部分に対応する。現在の深さインジケータ 420 は、エンドエフェクタ位置 560 の z 値に対応する箇所において器械深さ範囲 416 上に位置決めされる。一実施形態では、マイクロプロセッサ 250 は、エンドエフェクタ 210 が入力装置深さ範囲の端部 424 または 426 のいずれかの近傍にあるとき、アクティブ拘束表示が生成されるようにし得る。警告は、可聴警告、ディスプレイ 122 に表示される可視警告、または右入力装置 116 およびハンドコントローラ 112 を通した触覚フィードバックの形態を取り得る。器械深さ範囲 418 は、同様に左側器械 212 に対して生成される。

【0109】

回転

図 5 に示す器械回転範囲 440 は、構成変数 から生成される（すなわち、図 11 に示すような軸 z_2 の周りでのエンドエフェクタ 210 の回転）。「 」インジケータは、エンドエフェクタ 210 の現在の回転角度 を表し、ここで、垂直線 444 は、一般的に非回転位置に保持されている右ハンドコントローラ 112 に対応する基準を取られる。一連

10

20

30

40

50

の器械回転範囲 4 4 0 は、ハンドコントローラ 1 1 2 によってもたらされる回転範囲の程度に対応する程度を有する。器械回転範囲 4 4 0 はまた、入力装置作業空間と手術作業空間との間のマッピングに依存してオフセットされ得る。例えば、足踏みスイッチ 1 3 4 が押された後、ハンドコントローラ 1 1 2 は、足踏みスイッチ 1 3 4 を解放する前に回転され得るため、図 5 に示すように作業回転範囲をオフセットする。

【 0 1 1 0 】

位置決め装置のアクティブ拘束

説明されるように計算された右側器械 2 0 8 の位置決め装置 2 0 9 の中間位置は、手術作業空間（図 5 において 4 8 4 で示す）内の器械 2 0 8 の位置決め装置 2 0 9 の 3 D 箇所を定義する。椎骨部 5 5 0 の各中間箇所に対し、マイクロプロセッサ 2 5 0 は、その箇所が手術作業空間 4 8 4 の 3 D 境界面 4 8 5 の一部分の近傍にあるかどうかを決定する。器械 2 0 8 および 2 1 2 の位置決め装置 2 0 9 の複数の位置のグラフィック描写の例を図 1 4 に示す。図 1 4 を参照して説明すると、第 1 の例 8 0 0 は、挿入後の開始位置における器械 2 0 8 および 2 1 2 に関するグラフィック描写 1 3 6 および 1 3 8 を示し、そこでは、位置決め装置 2 0 9 および 2 1 3 は、器械の図の左側の側面図に示すように実質的に直線の位置にある。グラフィック描写 1 3 6 および 1 3 8 は、それぞれ中心に配置された点として位置決め装置 2 0 9 および 2 1 3 を示す。

10

【 0 1 1 1 】

次の例 8 0 2 では、位置決め装置 2 0 9 は上に動かされ、および位置決め装置 2 1 3 は下に動かされており、および 8 0 4 にある中間箇所は、境界面 4 8 5 の上方部分および下方部分の近傍となるようにマイクロプロセッサ 2 5 0 によって決定される。器械 2 0 8 および 2 1 2 を示すドットは、境界の近傍の箇所に示されている。警告が、境界の複数の部分を目立つ色に色付けして生成されて、外科医に状態を表示し得る。

20

【 0 1 1 2 】

位置決め装置 2 0 9 および 2 1 3 の左限 / 右限の例が 8 0 6 に示されている。8 0 8 に示す例では、位置決め装置 2 0 9 および 2 1 3 は、一般的に例 8 0 6 におけるように位置決めされるが、エンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 は外側に向けられている。エンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 は、図 5 に示す領域 4 8 8 の境界面 4 8 9 の近傍に配置され、かつそれぞれインジケータ 4 0 8 および 4 1 0 によって示される。位置決め装置 2 0 9 および 2 1 0 は、それぞれ領域 4 1 2 および 4 1 4 によって表現される。警告は、外科医に状態を示すために、境界面 4 8 9 において目立つ色の領域として生成されて示され得る。

30

【 0 1 1 3 】

例 8 1 0 は、エンドエフェクタインジケータ 4 0 8 および 4 1 0 および領域 4 1 2 および 4 1 4 が見えるように、わずかに向きを変えられた器械 2 0 8 および 2 1 2 を示す。例 8 1 2 では、エンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 は内側に向けられたままであるが、位置決め装置 2 0 9 および 2 1 3 は、8 1 4 において示すように上限および下限に到達している。例 8 1 6 では、エンドエフェクタ 2 1 0 および 2 1 4 は外側に向けられ、かつそれぞれ 3 D 境界面 4 8 9 の上方部分および下方部分の近傍にある。最終的な例 8 1 8 では、位置決め装置の動きに対する左限 / 右限に関する、例 8 1 2 に示すのと同様の状況が示されている。

40

【 0 1 1 4 】

具体的な実施形態を説明しかつ図示したが、そのような実施形態は本発明の説明にすぎず、添付の特許請求の範囲に従って構成されるような本発明の限定ではないと考慮されるべきである。

【 図 1 】

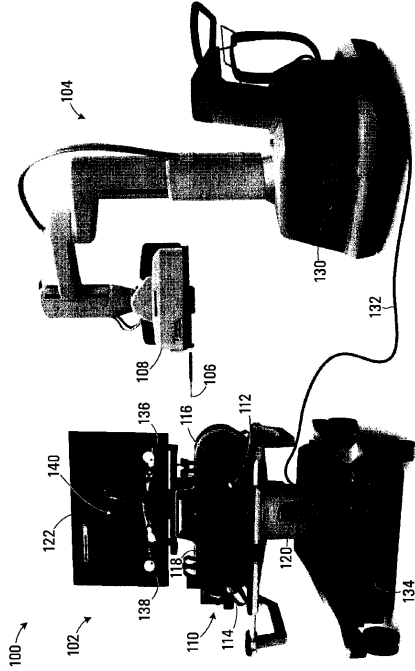


FIG. 1

【 図 2 】

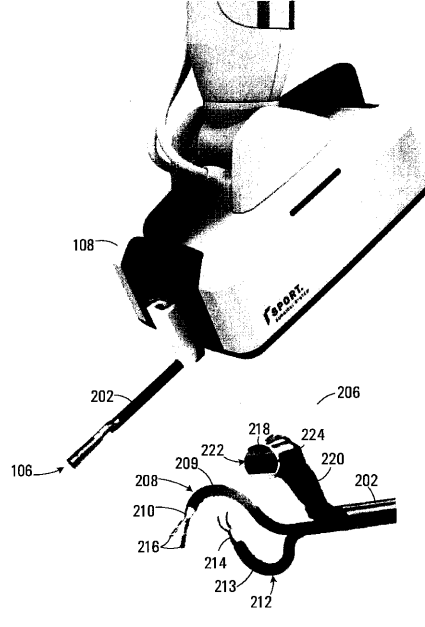


FIG. 2

【 図 3 】

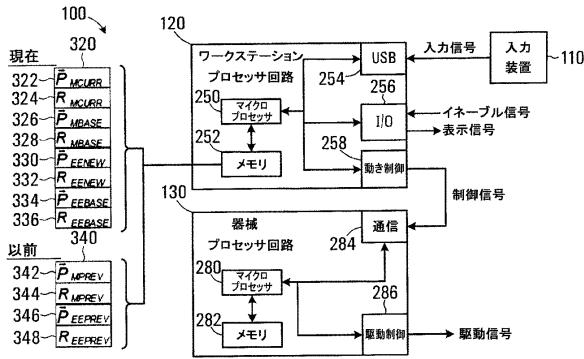


図 3

【 図 4 】

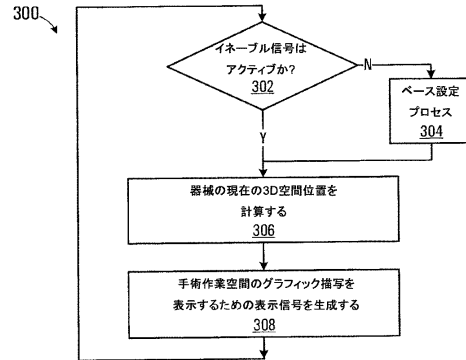


図 4

【 図 5 】

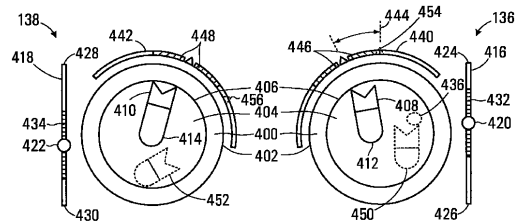


FIG. 5

【 図 6 】

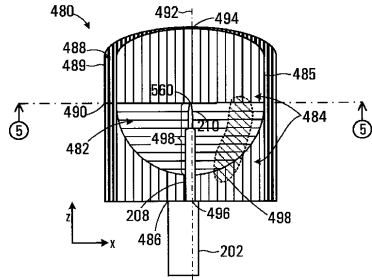


FIG. 6

【 図 7 】

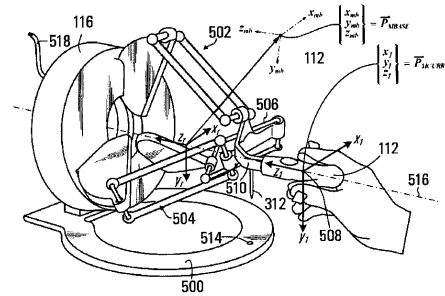


FIG. 7

【 図 8 】

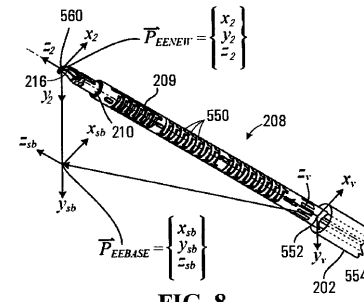


FIG. 8

【 図 9 】

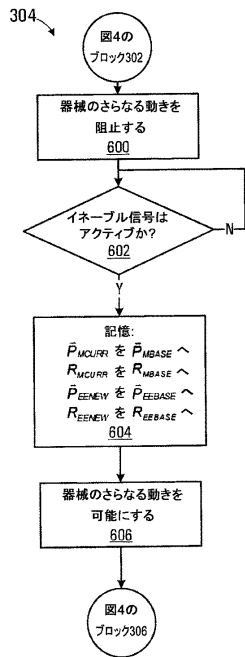


図 9

【 図 10 】

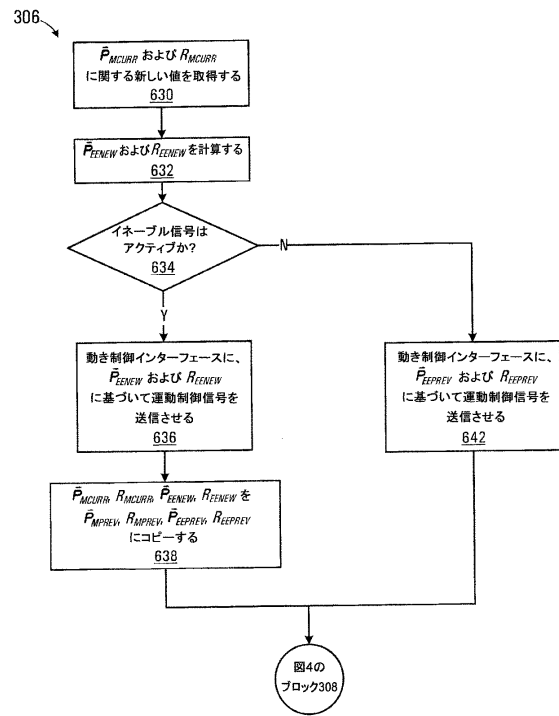


図 10

【 図 1 1 】

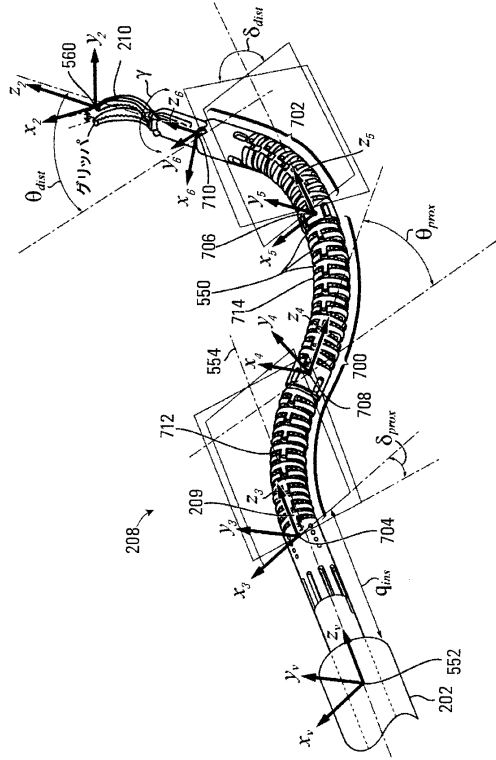


図 11

【 図 1 2 】

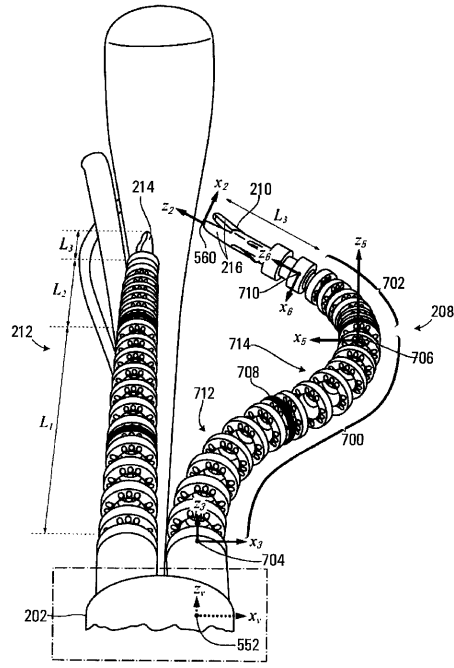


FIG. 12

【 図 1 3 】

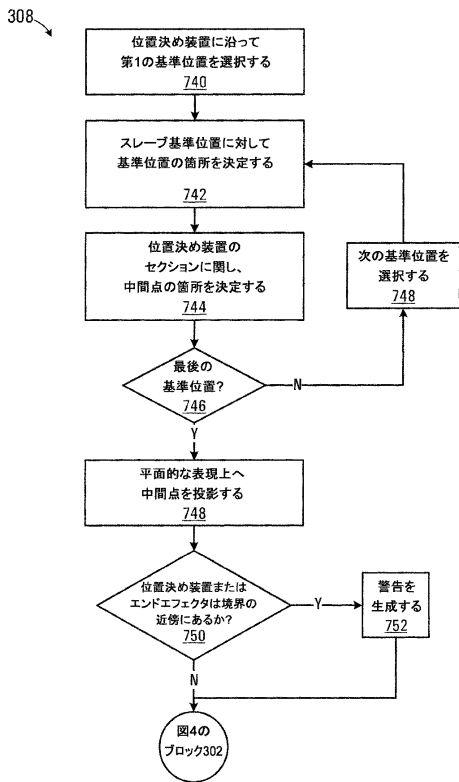


図 13

【 図 1 4 】

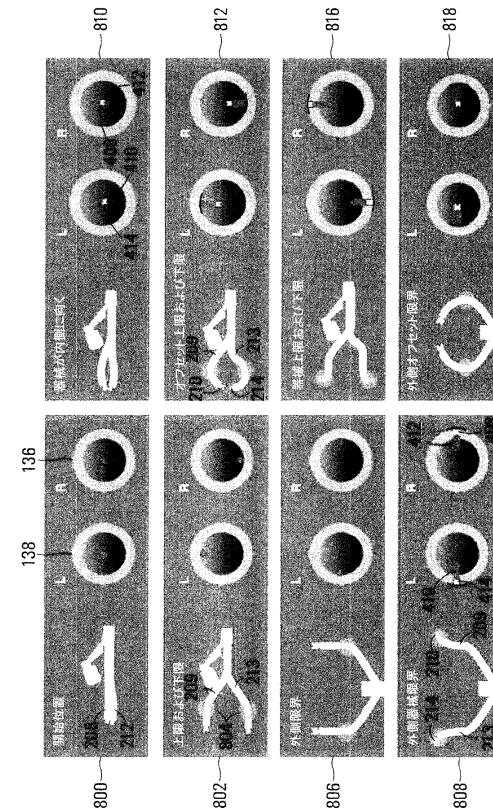


図 14

フロントページの続き

- (72)発明者 ジェファーソン シー . マクロード
アメリカ合衆国, ロードアイランド州 02907, プロヴィデンス, デュポン ドライブ 55
- (72)発明者 ダニエル バチャー
アメリカ合衆国, ロードアイランド州 02906, プロヴィデンス, プラット ストリート 3
アール 8

審査官 槻木澤 昌司

- (56)参考文献 特開2002-253574(JP, A)
特開2001-104333(JP, A)
特表2007-527296(JP, A)
特表2015-502180(JP, A)
米国特許出願公開第2014/0276943(US, A1)
特開2014-097431(JP, A)
米国特許出願公開第2004/0152970(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 34/20 - 34/37