

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6714085号  
(P6714085)

(45) 発行日 令和2年6月24日 (2020.6.24)

(24) 登録日 令和2年6月8日 (2020.6.8)

(51) Int. Cl.	F I
<b>A 6 1 B 34/20 (2016.01)</b>	A 6 1 B 34/20
<b>A 6 1 B 34/30 (2016.01)</b>	A 6 1 B 34/30
<b>G 0 6 T 19/00 (2011.01)</b>	G 0 6 T 19/00 6 0 0

請求項の数 22 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2018-533800 (P2018-533800)	(73) 特許権者	590000248
(86) (22) 出願日	平成28年12月27日 (2016.12.27)		コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ
(65) 公表番号	特表2019-506922 (P2019-506922A)		KONINKLIJKE PHILIPS N. V.
(43) 公表日	平成31年3月14日 (2019.3.14)		オランダ国 5656 アーヘー アイン ドーフエン ハイテック キャンパス 5 2
(86) 国際出願番号	PCT/EP2016/082716		
(87) 国際公開番号	W02017/114834	(74) 代理人	110001690
(87) 国際公開日	平成29年7月6日 (2017.7.6)		特許業務法人M&Sパートナーズ
審査請求日	令和1年12月24日 (2019.12.24)	(72) 発明者	ポボヴィッチ アレクサンドラ
(31) 優先権主張番号	62/272,512		オランダ国 5656 アーヘー アイン ドーフエン ハイ テック キャンパス 5
(32) 優先日	平成27年12月29日 (2015.12.29)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		
早期審査対象出願			
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 ロボット手術のために仮想現実デバイスを使用するシステム、コントローラ、及び方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

患者の手術部位で少なくとも1つのエンドエフェクタを操作するロボットを含む手術用ロボットシステムのための制御ユニットであって、前記制御ユニットは、

プロセッサであって、

少なくとも1つの画像獲得デバイスから受け取られる、獲得された患者のライブ画像を、表示ユニットのビューワに表示するために仮想現実 (VR) デバイスに送信することと、

前記 VR デバイスから入力データを受け取ることであって、前記入力データは、前記 VR デバイスの前記表示ユニットの前記ビューワに表示された獲得された前記患者の前記ライブ画像に対するユーザの反応に基づく、前記 VR デバイスの VR 追跡システムからの追跡データを含む、ことと、

前記 VR デバイスから受け取った前記入力データを処理して、前記患者内のターゲットを決定することと、

前記ロボットにより操作可能な前記少なくとも1つのエンドエフェクタが前記ターゲットに到達するための経路を、獲得された前記ライブ画像と処理された前記入力データとに基づいて決定することと、

ロボット制御信号を送信して、前記ロボットに、前記少なくとも1つのエンドエフェクタを、決定された前記経路を通して前記ターゲットまで誘導させることと、

を行うプロセッサを備える、制御ユニット。

**【請求項 2】**

前記 V R デバイスは、前記ユーザによって装着されるヘッドピースを備えた頭部装着型ディスプレイ（HMD）デバイスである、請求項 1 に記載の制御ユニット。

**【請求項 3】**

前記 V R 追跡システムは頭部追跡システムを備え、

前記プロセッサはさらに、前記頭部追跡システムからの頭部追跡データを処理して前記ターゲットを選択し、前記頭部追跡データは前記ユーザの頭部の動きに対応している、請求項 2 に記載の制御ユニット。

**【請求項 4】**

前記 V R 追跡システムは目追跡システムを備え、

前記プロセッサはさらに、前記目追跡システムからの目追跡データを処理して前記ターゲットを選択し、前記目追跡データは前記ユーザの目の動きに対応している、請求項 2 に記載の制御ユニット。

**【請求項 5】**

前記ロボットにより操作可能な前記少なくとも 1 つのエンドエフェクタは、手術道具及び内視鏡カメラのうち少なくとも一方を備える、請求項 1 に記載の制御ユニット。

**【請求項 6】**

前記画像獲得デバイスから獲得された前記ライブ画像を受け取る第 1 の入力と、  
獲得された前記ライブ画像を、前記プロセッサ及び前記 V R デバイスのうち少なくとも一方に提供する第 1 の出力と、

前記 V R デバイスから前記入力データを受け取る第 2 の入力と、

前記ロボットに前記ロボット制御信号を提供する第 2 の出力と、

を含む入力 / 出力（I / O）回路をさらに備える、請求項 1 に記載の制御ユニット。

**【請求項 7】**

前記 V R デバイスの前記表示ユニットは、前記ビューワに表示された獲得された前記ライブ画像の特徴を強調表示するための移動可能なカーソルを提供する、請求項 1 に記載の制御ユニット。

**【請求項 8】**

前記プロセッサはさらに、入力装置からの確認信号を処理して、選択された前記ターゲットを確定する、請求項 1 に記載の制御ユニット。

**【請求項 9】**

前記プロセッサはさらに、前記 HMD デバイスの入力からの起動信号を処理して、目の動き及びそれに対応する目追跡データの判定又は頭部の運動及びそれに対応する頭部追跡データの判定をそれぞれ含む、目追跡モード及び頭部追跡モードのうち一方を起動する、請求項 2 に記載の制御ユニット。

**【請求項 10】**

前記プロセッサはさらに、視覚的標識と共に前記 V R デバイスに送信するために、獲得された前記ライブ画像を増強する、請求項 1 に記載の制御ユニット。

**【請求項 11】**

前記少なくとも 1 つの画像獲得デバイスは、前記少なくとも 1 つのロボットにより操作可能な前方視カメラを含み、

前記プロセッサはさらに、前記前方視カメラからの前方視画像を処理し、前記 HMD デバイスからの判定された前記目追跡データ又は頭部追跡データを継続進行モードで処理し、前記ロボット制御信号を送信して、前記ロボットに、前記前方視画像と、判定された前記頭部追跡データ又は目追跡データとに基づいて、前記前方視カメラを前記継続進行モードで前記患者内を移動させる、請求項 9 に記載の制御ユニット。

**【請求項 12】**

患者内の手術部位に位置決めされた少なくとも 1 つのエンドエフェクタを操作するロボットと、

前記手術部位でライブ画像を獲得する少なくとも 1 つの画像獲得デバイスと、

10

20

30

40

50

獲得された前記ライブ画像を表示し、仮想現実（ＶＲ）デバイスを介してユーザの行為によって提供される追跡データを判定するＶＲデバイスと、

制御ユニットと、

を備える手術用ロボットシステムであって、前記制御ユニットは、

前記少なくとも１つの画像獲得デバイスから獲得された前記ライブ画像を受け取り、獲得された前記ライブ画像を表示のために前記ＶＲデバイスに提供し、前記ＶＲデバイスから判定された前記追跡データを受け取り、前記ロボットにロボット制御信号を提供する入力／出力（Ｉ／Ｏ）回路と、

プロセッサであって、

前記少なくとも１つの画像獲得デバイスから前記Ｉ／Ｏ回路を介して受け取られる獲得された前記ライブ画像を、前記ＶＲデバイスに送信し、

前記ＶＲデバイスからの判定された前記追跡データを処理して、前記患者内の前記手術部位でターゲットを選択し、

前記少なくとも１つのエンドエフェクタが選択された前記ターゲットに到達するための経路を、獲得された前記ライブ画像と、処理され判定された前記追跡データとに基づいて決定し、

前記ロボットに前記ロボット制御信号を送信して、少なくとも１つの器具を決定された前記経路を通して選択された前記ターゲットまで移動させる、プロセッサと、

を備える、手術用ロボットシステム。

【請求項１３】

前記ＶＲデバイスは、前記ユーザによって装着される頭部装着型ディスプレイ（ＨＭＤ）であり、

前記追跡データは、前記ＨＭＤによって検出された前記ユーザの頭部の運動に対応する頭部追跡データ、及び前記ＨＭＤによって検出された前記ユーザの目の動きに対応する目追跡データ、のうち少なくとも一方を含む、請求項１２に記載の手術用ロボットシステム。

【請求項１４】

前記制御ユニットに結合された入力装置をさらに備え、前記プロセッサはさらに、前記入力装置からの確認信号を処理して、選択された前記ターゲットを確定する、請求項１２に記載の手術用ロボットシステム。

【請求項１５】

前記プロセッサはさらに、前記入力装置からの起動信号を処理して、前記ＨＭＤによる前記ユーザの頭部の運動の検出を含む頭部追跡モード、又は前記ＨＭＤによる前記ユーザの目の動きの検出を含む目追跡モードのうち一方を起動する、請求項１４に記載の手術用ロボットシステム。

【請求項１６】

前記少なくとも１つの画像獲得デバイスは立体視内視鏡を備える、請求項１２に記載の手術用ロボットシステム。

【請求項１７】

前記ロボットは、前記少なくとも１つのエンドエフェクタを含む柔軟な遠位部分に結合された、硬い近位部分を備える、請求項１２に記載の手術用ロボットシステム。

【請求項１８】

手術用ロボットシステムを操作するためにプロセッサにより実行可能な機械可読命令を記憶した非一時的なコンピュータ可読記憶媒体であって、前記手術用ロボットシステムは、患者内の手術部位に位置決めされる少なくとも１つのエンドエフェクタを操作する少なくとも１つのロボットと、前記手術部位でライブ画像を獲得する少なくとも１つの画像獲得デバイスと、ユーザにより装着され、獲得された前記ライブ画像を表示すると共に、前記ユーザの頭部の運動又は前記ユーザの目の動きのうち少なくとも一方を判定する頭部装着型ディスプレイ（ＨＭＤ）デバイスと、を含み、前記非一時的なコンピュータ可読媒体は、

前記少なくとも1つの画像獲得デバイスから受け取られた、獲得された前記ライブ画像を前記HMDデバイスへ送信させるための送信コードと、

前記HMDデバイスからの頭部追跡データ及び目追跡データのうち判定された少なくとも一方を処理して、前記患者内の前記手術部位でターゲットを選択するための処理コードと、

前記少なくとも1つのエンドエフェクタを含む前記ロボットの遠位部分が前記患者内の前記手術部位の選択された前記ターゲットに到達するための経路を、獲得された前記ライブ画像と、処理され判定された前記頭部追跡データ及び/又は目追跡データとに基づいて決定するための決定コードと、

前記ロボットにロボット制御信号を送信して、前記少なくとも1つのエンドエフェクタを、決定された前記経路を通して前記患者内の前記手術部位の選択された前記ターゲットまで移動させるためのロボット制御コードと、

を含む、非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

#### 【請求項19】

入力装置からの確認信号を処理して、選択された前記ターゲットをユーザが確定するための確認コードをさらに含む、請求項18に記載の非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

#### 【請求項20】

入力装置からの起動信号を処理して、前記HMDデバイスによる頭部の運動の感知を含む頭部追跡モード又は前記HMDデバイスによる目の動きの感知を含む目追跡モードを起動するための起動コードをさらに含む、請求項18に記載の非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

#### 【請求項21】

視覚的標識と共に前記HMDデバイスに送信するために、獲得された前記ライブ画像を増強するための増強コードをさらに含む、請求項18に記載の非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

#### 【請求項22】

前記ロボットにより制御可能な前記エンドエフェクタのうち1つに関連付けられた前方視カメラからの前方視画像を処理し、

前記HMDデバイスからの判定された前記頭部追跡データを継続進行モードで処理し、前記ロボット制御信号を送信して、前記前方視画像と、判定された前記頭部追跡データとに基づいて、前記少なくとも1つのロボットを前記患者内の前記手術部位において前記継続進行モードで移動させるための前方視画像コードをさらに含む、請求項18に記載の非一時的なコンピュータ可読記憶媒体。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

[0001] 本手法は、手術の分野に関し、特に、硬い近位部分と柔軟な遠位部分とを有するロボットを、仮想現実デバイスから得る医療画像及び追跡データを使用して制御するためのシステム、コントローラ、及び方法に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

[0002] 手術は一般に、外科医個々の技量に依拠する。器用さは、通例、外科医の手及び硬い器具に制限される。これらの制限は、操作を行うための空間が入口点及び解剖学的構造によって制約される低侵襲手術や自然開口部手術で特に顕著である。低侵襲手術では、通常、内視鏡によって視覚的フィードバックが提供される。

#### 【0003】

[0003] 患者体内の手術部位における外科医の器用さを向上させるために、低侵襲手術で手術用ロボット及び/又は操縦可能デバイスを使用することがある。手術用ロボットの例としては、Vinci(登録商標)ロボットなどのマルチアームシステム、又はMed

10

20

30

40

50

robotics Flex (登録商標) ロボットシステムなどの柔軟ロボットがある。これらのロボットシステムは、種々のインターフェース機構を使用して外科医（又はユーザ）によって制御されるが、そのような機構には、ロボットシステムを操作するためのハンドコントローラ又は入力ハンドル、及び内視鏡ビデオを取り込み、ロボットシステムの様々な制御モードを表示するための画像ディスプレイが含まれる。

【0004】

[0004] 手持ち型の器用なデバイスの制御は難しい。ユーザは、通常は支点（身体内への入口点）を中心とする、器用でない近位端の運動と、身体内での複雑で器用な運動とを組み合わせなければならない。この問題に対応する手法の一つは、ロボットによる器用なデバイスの位置決めであるが、これは手術室内の占有面積を増大させ、手術の費用及び所用時間を増大させる。この問題は、近位端が撮像デバイスの視野内にない場合に増大する（例えば、内視鏡が患者の内部のみの画像を撮影し、Cアームなどの携帯型撮像システムの視野が小さ過ぎてデバイス全体の画像を捉えることができず、操作者に放射線曝露を生じさせる可能性がある）。また、器用なデバイスを用いて位置が実現された後、手の震えや不随意の手の運動によって位置ずれが発生することもある。外科医の器用さを向上させるために、手術用ロボットは6度を超える自由度を持つことがあり、その結果ロボットが非直感的なものになるか、その他の理由で制御が困難になる。

【0005】

[0005] この問題は、低侵襲手術や自然開口部手術の際に遭遇されるような制約のある空間内での操作と、ヘビ型ロボットなどの超冗長ロボットの使用とによって増大する。これらのロボットの制御は通常はハンドルを使用して行われるが、ハンドルは操作が複雑であり、通常は急な学習曲線を伴う。ユーザは内視鏡画像を使用して手術野の中を移動しており、ハンドルの運動を画像とマッピングすることは困難である。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

[0006] したがって、仮想現実デバイスから提供されるライブ画像と追跡情報との組み合わせを使用して手術用ロボットを制御するための装置、システム、方法、及びコンピュータ可読記憶媒体を提供し、それにより、一般にはユーザの手又は器用さの使用に依存せずに、運動の検出を使用したターゲットの選択を可能にすることが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0007】

[0007] 例示的な一実施形態によると、患者の手術部位で少なくとも1つのエンドエフェクタを操作するように構成されたロボットを含む手術用ロボットシステムのための制御ユニットは、プロセッサを備える。プロセッサは、少なくとも1つの画像獲得デバイスから受け取られる、獲得された患者のライブ画像を、表示ユニットに表示するために仮想現実（VR）デバイスに送信することと、VRデバイスから入力データを受け取ることであり、入力データは、VRデバイスの表示ユニットに表示された獲得された患者のライブ画像に対するユーザの反応に基づく、VRデバイスのVR追跡システムからの追跡データを含む、ことと、VRデバイスから受け取った入力データを処理して、患者内のターゲットを決定することと、ロボットにより操作可能な少なくとも1つのエンドエフェクタがターゲットに到達するための経路を、獲得されたライブ画像と処理された入力データとに基づいて決定することと、ロボット制御信号を送信して、ロボットに、少なくとも1つのエンドエフェクタを、決定された経路を通してターゲットまで誘導させることと、を行うように構成される。

【0008】

[0008] 別の例示的な実施形態によると、手術用ロボットシステムは、患者内の手術部位に位置決めされた少なくとも1つのエンドエフェクタを操作するように構成されたロボットと、手術部位でライブ画像を獲得するように構成された少なくとも1つの画像獲得デバイスと、獲得されたライブ画像を表示し、仮想現実（VR）デバイスを介してユーザの行

10

20

30

40

50

為によって提供される追跡データを判定するように構成されたVRデバイスと、入力/出力(I/O)回路及びプロセッサを備える制御ユニットと、を含む。I/O回路は、少なくとも1つの画像獲得デバイスから獲得されたライブ画像を受け取り、獲得されたライブ画像を表示のためにVRデバイスに提供し、VRデバイスから判定された追跡データを受け取り、ロボットにロボット制御信号を提供するように構成される。プロセッサは、少なくとも1つの画像獲得デバイスからI/O回路を介して受け取られる獲得されたライブ画像を、VRデバイスに送信し、VRデバイスからの判定された追跡データを処理して、患者内の手術部位でターゲットを選択し、少なくとも1つのエンドエフェクタが選択されたターゲットに到達するための経路を、獲得されたライブ画像と、処理され判定された追跡データとに基づいて決定し、ロボットにロボット制御信号を送信して、少なくとも1つの器具を決定された経路を通して選択されたターゲットまで移動させるように構成される。

10

【0009】

[0009] 別の例示的实施形態によると、手術用ロボットシステムを操作するためにプロセッサにより実行可能な機械可読命令を記憶した非一時的なコンピュータ可読記憶媒体が提供される。手術用ロボットシステムは、患者内の手術部位に位置決めされる少なくとも1つのエンドエフェクタを操作するように構成された少なくとも1つのロボットと、手術部位でライブ画像を獲得するように構成された少なくとも1つの画像獲得デバイスと、ユーザにより装着され、獲得されたライブ画像を表示すると共に、ユーザの頭部の運動又はユーザの目の動きのうち少なくとも一方を判定するように構成された頭部装着型ディスプレイ(HMD)デバイスと、を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体は、少なくとも1つの画像獲得デバイスから受け取られた、獲得されたライブ画像をHMDデバイスへ送信させるための送信コードと、HMDデバイスからの頭部追跡データ及び目追跡データのうち判定された少なくとも一方を処理して、患者内の手術部位でターゲットを選択するための処理コードと、少なくとも1つのエンドエフェクタを含むロボットの遠位部分が患者内の手術部位の選択されたターゲットに到達するための経路を、獲得されたライブ画像と、処理され判定された頭部追跡データ及び/又は目追跡データとに基づいて決定するための決定コードと、ロボットにロボット制御信号を送信して、少なくとも1つのエンドエフェクタを決定された経路を通して患者内の手術部位の選択されたターゲットまで移動させるためのロボット制御コードと、を含む。

20

【0010】

[0010] 本発明は、以下に提示される例示的实施形態の詳細な説明を添付図面と併せて考察することから容易に理解されよう。

30

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】[0011] 本発明の例示的实施形態による手術用ロボットシステムを示す概略ブロック図である。

【図2】[0012] 本発明の例示的实施形態による手術用ロボットシステムを示す概略ブロック図である。

【図3】[0013] 本発明の例示的实施形態による、手術用ロボットシステムの一部として頭部追跡機能を備えた頭部装着型ディスプレイ(HMD)デバイスを示す概略図である。

40

【図4A】[0014] 本発明の例示的实施形態による、手術用ロボットシステムの一部としてのHMDデバイスを示す概略図である。

【図4B】[0015] 本発明の例示的实施形態による、HMDデバイスを使用して自然開口部を通過するためのヘビ状又はカテーテル状ロボットの一部分を示す概略図である。

【図5】[0016] 本発明の例示的实施形態による、手術用ロボットシステムを制御する方法を示すフローチャートである。

【図6】[0017] 本発明の例示的实施形態による、手術用ロボットシステムの一部として目追跡機能を備えたHMDデバイスを示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

50

[0018] 以下、本発明について、本発明の実施形態が示された添付図面を参照して、より完全に説明する。ただし、本発明は異なる形態で具現化されてよく、本明細書に述べられる実施形態に制限されるものとは解釈されるべきではない。むしろ、それらの実施形態は、本発明の教示のための例として提供される。

【0013】

[0019] 概して、様々な実施形態によれば、仮想現実（VR）デバイスが提供され、これをユーザ（例えば外科医）が使用して、外科医による身体的な動き（例えば、従来の手動コントロールを操作するためにユーザの手を使用すること以外の）を通じてロボットを制御することにより、VRデバイスによって受け取られたライブ画像に基づいてロボットのターゲットを特定し、選択する。ライブ画像は、例えば、例えば専用の内視鏡コントローラにより操作可能な、内視鏡の遠位端に装着されたカメラによる、又は例えばロボットにより操作可能な前方視カメラによる内視鏡画像である。例えば、VRデバイスは、頭部装着型ディスプレイ（HMD）デバイスであり、これは、ユーザが装着したヘッドピース内のディスプレイに内視鏡画像を表示して、例えば患者内部の手術部位を示す。HMDデバイスはさらに、頭部の運動や目の運動など、ユーザの運動を検出するように構成された1つ又は複数のセンサを含み、検出された運動が処理されて、ディスプレイ上の画像に示された手術部位内でロボットのためのターゲットを選択する。ライブ画像並びに頭部の運動及び／又は目の動きの検出を使用して、外科医が着目している領域（ターゲット）の方へ自分の頭部を動かす、及び／又は目の動きを向けるという従来の手術時の体験を模擬することによってロボットの使用性が向上し、同時に、手術用ロボットの向上した器用さが維持される。

【0014】

[0020] 本明細書で使用される用語は特定の実施形態を説明することのみを目的とし、制限する意図はないことを理解されたい。定義される用語は、本教示の技術分野で一般に理解され、受け入れられている、当該定義される用語の技術的及び科学的意味に追加されるものである。

【0015】

[0021] 本明細書及び添付の特許請求の範囲で使用される場合、用語「a」、「an」、及び「the」は、文脈が明らかに別の意味を指示しない限り、単数及び複数両方の指示物を含む。したがって、例えば、「デバイス（a device）」は、1つのデバイス及び複数のデバイスを含む。

【0016】

[0022] 本明細書で使用される場合、2つ以上の部分又は構成要素が「結合されて」という記述は、それらの部分が直接、又は間接的に、すなわち、連結が発生する限り1つ若しくは複数の中間部分若しくは構成要素を介して一緒につながれているか、一緒に動作することを意味するものとする。

【0017】

[0023] 方向を表す用語／句及び相対的な用語／句は、添付図面に図示されるように、様々な要素の互いとの関係を記述するために使用される。これらの用語／句は、図面に描かれる向きに加えて、デバイス及び／又は要素の異なる向きを包含することが意図される。

【0018】

[0024] 本明細書で使用される「コンピュータ可読記憶媒体」は、コンピューティングデバイスのプロセッサにより実行可能な命令を記憶する任意の有形の記憶媒体を包含する。コンピュータ可読記憶媒体は、一時的な伝搬信号などの一時的媒体と区別するために、非一時的なコンピュータ可読記憶媒体と称することがある。コンピュータ可読記憶媒体は、有形のコンピュータ可読媒体と称する場合もある。

【0019】

[0025] いくつかの実施形態において、コンピュータ可読記憶媒体は、コンピューティングデバイスのプロセッサによりアクセス可能なデータを記憶することもできる。コンピ

ユーザ可読記憶媒体の例には、これらに限定されないが、フロッピーディスク、磁気ハードディスクドライブ、固体状態ハードディスク、フラッシュメモリ、USBサムドライブ、ランダムアクセスメモリ(RAM)、読出し専用メモリ(ROM)、光ディスク、光磁気ディスク、及びプロセッサのレジスタファイルが含まれる。光ディスクの例には、コンパクトディスク(CD)及びデジタル多用途ディスク(DVD)、例えば、CD-ROM、CD-RW、CD-R、DVD-ROM、DVD-RW、又はDVD-Rディスクが含まれる。コンピュータ可読記憶媒体という用語は、ネットワーク又は通信リンクを解してコンピュータデバイスによってアクセスされることが可能な様々な種類の記録媒体も指す。例えば、データは、モデム、インターネット、又はローカルエリアネットワークを通じて取得される。コンピュータ可読記憶媒体の言及は、場合によっては複数のコンピュータ可読記憶媒体であると解釈すべきである。プログラムの様々な実行可能コンポーネントは、異なる場所に記憶することができる。コンピュータ可読記憶媒体は、例えば、同じコンピュータシステム内にある複数のコンピュータ可読記憶媒体である。コンピュータ可読記憶媒体は、複数のコンピュータシステム又はコンピューティングデバイスに分散されたコンピュータ可読記憶媒体であってもよい。

10

#### 【0020】

[0026] 「メモリ」は、コンピュータ可読記憶媒体の一例である。コンピュータメモリは、プロセッサが直接アクセスできるメモリである。コンピュータメモリの例には、これらに限定されないが、RAMメモリ、レジスタ、及びレジスタファイルが含まれる。「コンピュータメモリ」又は「メモリ」の言及は、場合によっては複数のメモリであると解釈されるべきである。メモリは、例えば、同じコンピュータシステム内にある複数のメモリである。メモリは、複数のコンピュータシステム又はコンピューティングデバイスに分散された複数のメモリであってもよい。

20

#### 【0021】

[0027] コンピュータストレージは、任意の不揮発性のコンピュータ可読記憶媒体である。コンピュータストレージの例には、これらに限定されないが、ハードディスクドライブ、USBサムドライブ、フロッピードライブ、スマートカード、DVD、CD-ROM、及び固体状態ハードドライブが含まれる。いくつかの実施形態では、コンピュータストレージはコンピュータメモリでもあり、その逆も同様である。「コンピュータストレージ」又は「ストレージ」の言及は、場合によっては複数の記憶装置又はコンポーネントを含むものと解釈すべきである。例えば、ストレージは、同じコンピュータシステム又はコンピューティングデバイス内にある複数の記憶装置を含む。ストレージは、複数のコンピュータシステム又はコンピューティングデバイスに分散された複数のストレージも含む。

30

#### 【0022】

[0028] 本明細書で使用される「プロセッサ」は、プログラム又は機械実行可能命令を実行することが可能な電子コンポーネントを包含する。「プロセッサ」を備えるコンピューティングデバイスの言及は、場合によっては2つ以上のプロセッサ又は処理コアを含んでいるものと解釈すべきである。プロセッサは、例えばマルチコアプロセッサである。プロセッサは、単一のコンピュータシステム内にあるか又は複数のコンピュータシステムに分散された、プロセッサの集まりを指す場合もある。コンピューティングデバイスという用語は、場合によっては、各々が1つ又は複数のプロセッサを備えたコンピューティングデバイスの集まり又はネットワークを指すものとも解釈すべきである。多くのプログラムは、同じコンピューティングデバイス内にあるか、さらには複数のコンピューティングデバイスに分散されている場合もある複数のプロセッサによって実行される命令を有する。

40

#### 【0023】

[0029] 本明細書で使用される「ユーザインターフェース」又は「ユーザ入力装置」は、ユーザ又は操作者がコンピュータ又はコンピュータシステムと対話することを可能にするインターフェースである。ユーザインターフェースは、操作者に情報若しくはデータを提供する、及び/又は操作者から情報若しくはデータを受け取る。ユーザインターフェースは、操作者からの入力が入力によって受け取られることを可能にし、コンピュ

50



ータからユーザに出力を提供する。換言すると、ユーザインターフェースは、操作者がコンピュータを制御又は操作することを可能にし、またインターフェースは、コンピュータがユーザの制御又は操作の結果を示すことを可能にする。ディスプレイ又はグラフィックユーザインターフェースへのデータ又は情報の表示は、操作者に情報を提供することの一例である。タッチ画面、キーボード、マウス、トラックボール、タッチパッド、ポインティングスティック、グラフィクスタブレット、ジョイスティック、ゲームパッド、ウェブカメラ、ヘッドセット、ギアスティック、操縦ハンドル、有線グローブ、ワイヤレスリモコン、及び加速度計を通じてデータを受け取ることはすべて、ユーザから情報又はデータを受け取ることを可能にするユーザインターフェースコンポーネントの例である。

【 0 0 2 4 】

10

[0030] 本明細書で使用される「ハードウェアインターフェース」は、コンピュータシステムのプロセッサが外部のコンピューティングデバイス及び／若しくは装置と対話する、並びに／又はそれらを制御することを可能にするインターフェースを包含する。ハードウェアインターフェースは、プロセッサが外部のコンピューティングデバイス及び／又は装置に制御信号又は命令を送ることを可能にする。ハードウェアインターフェースはまた、プロセッサが外部のコンピューティングデバイス及び／又は装置とデータを交換することも可能にする。ハードウェアインターフェースの例には、これらに限定されないが、ユニバーサルシリアルバス、IEEE 1394ポート、パラレルポート、IEEE 1284ポート、シリアルポート、RS-232ポート、IEEE-488ポート、Bluetooth（登録商標）接続、ワイヤレスローカルエリアネットワーク接続、TCP/IP接続、Ethernet（登録商標）接続、制御電圧インターフェース、MIDIインターフェース、アナログ入力インターフェース、及びデジタル入力インターフェースが含まれる。

20

【 0 0 2 5 】

[0031] 本明細書で使用される「ディスプレイ」又は「表示装置」又は「表示ユニット」は、画像又はデータを表示するために適合された出力装置又はユーザインターフェースを包含する。ディスプレイは、視覚データ、音声データ、及び／又は触覚データを出力する。ディスプレイの例には、これらに限定されないが、コンピュータモニタ、テレビ画面、タッチ画面、触覚電子ディスプレイ、点字画面、陰極線管（CRT）、蓄積管、双安定ディスプレイ、電子ペーパー、ベクトルディスプレイ、フラットパネルディスプレイ、真空蛍光ディスプレイ（VF）、発光ダイオード（LED）ディスプレイ、エレクトロルミネセントディスプレイ（ELD）、プラズマディスプレイパネル（PDP）、液晶ディスプレイ（LCD）、有機発光ダイオードディスプレイ（OLED）、プロジェクタ、及び頭部装着型ディスプレイが含まれる。

30

【 0 0 2 6 】

[0032] これらの図中で同様の番号が付された要素は、等価な要素であるか、又は同じ機能を行うかのいずれかである。前に説明された要素は、機能が等価であれば、後の図では必ずしも説明されない。

【 0 0 2 7 】

[0033] はじめに、医療画像には、内視鏡の遠位端に設けられた内視鏡カメラを介して取得される画像や、ロボットの遠位端に（例えばエンドエフェクタとして）設けられた前方視カメラを介して取得される画像などの、2D又は3D画像が含まれることに留意されたい。また、ライブ画像には、低侵襲処置中に医療撮像により撮影される静止画像又はビデオ画像が含まれる。例えば、手術部位及びその周辺領域をより広く見るために、X線、超音波、及び／又は磁気共鳴によって取得される画像など、他の医療撮像が手術過程時に組み込まれてもよい。

40

【 0 0 2 8 】

[0034] 図1は、本発明の代表的実施形態による手術用ロボットシステムを示す概略ブロック図である。図1は手術用ロボットシステム100を描いており、これは、通例は、患者の身体内で特定された手術部位で、ロボットにより操作可能な手術用器具及び他の道

50

具を操作することを伴う医療処置に利用される。そのような医療処置には、これらに限定されないが、例えば、低侵襲心臓手術（例えば冠動脈バイパスグラフトや僧帽弁置換）、低侵襲腹部手術（腹腔鏡）（例えば前立腺切除や胆嚢切除）、及び自然開口部越経腔内視鏡手術が含まれる。

#### 【0029】

【0035】 図1を参照すると、描かれる実施形態では、手術用ロボットシステム100は、少なくとも1つのロボット101、制御ユニット106、及び仮想現実（VR）デバイス120を含む。ロボット101は、手術部位Sでライブ画像を獲得するように構成された少なくとも1つの画像獲得デバイス112と、内部の手術処置を行うための手術道具などの少なくとも1つの器具113と、を含む1つ又は複数のエンドエフェクタを、患者P内の手術部位Sに位置決めすべく操作するように構成される。内部の手術処置には、例えば、手術部位S内の解剖学的ターゲットTに関連する低侵襲手術や自然開口部手術が含まれ、その例は上記で挙げた。

#### 【0030】

【0036】 VRデバイス120は、獲得されたライブ画像をユーザによって見られるVR表示ユニット121に表示するように構成されると共に、代表的な運動センサ124によって示される1つ又は複数の運動感知回路を介してユーザの（表示された画像に応答した）動きを捕捉するVR追跡システム122を使用して追跡データを検出するように構成される。例えば、下記でさらに述べるように、VRデバイス120は、表示ユニット121と運動センサ124とを含む、ユーザに装着されるヘッドピースを含む頭部装着型ディスプレイ（HMD）デバイスである。表示ユニット121は、単一のディスプレイであっても、又はユーザの両目に対応する2つの眼用ディスプレイ（図示せず）に分割されてもよい。2つの眼用ディスプレイは、画像獲得デバイス112が立体視である場合には3次元表示を可能にし、又は画像獲得デバイス112が単眼である場合には擬似的な3次元表示を可能にするが、2つの眼用ディスプレイは部分的に重なり合うように構成される。運動センサ124は、例えば、3軸周りのユーザの頭部の運動を検出する複数の加速度計であり、追跡データは、ユーザの頭部の動きに対応する頭部追跡データを含む。それに代えて、運動センサ124は、ユーザの目の動きを検出する後ろ向きのカメラを含んでもよく、その場合、追跡データは、ユーザの目の動きに対応する目追跡データを含む。

#### 【0031】

【0037】 VRデバイス120は、ユーザから命令を受け取るための、入力装置126によって示される1つ又は複数の入力装置（例えばユーザインターフェース）も含む。ここで使用される入力装置126は、ユーザがVRデバイス120と手術用ロボットシステム100の両方と対話することを可能にするインターフェースである。入力装置126は、例えば、タッチ画面、キーボード、マウス、トラックボール、タッチパッド、又は音声コマンドインターフェースの1つ又は複数を含む。本実施形態では、ユーザは、入力装置126を使用して具体的なコマンドを入力し、例えば、プロセッサ130に確認信号を送って、プロセッサ130によって決定された選択されたターゲットTを確定する、又は、VR追跡システム122及び/若しくはプロセッサ130に起動信号を送って、HMDデバイスによる頭部の運動の検出を含む頭部追跡モード、若しくはHMDデバイスによる目の動きの検出を含む目追跡モードの一方を起動する。代替の実施形態では、入力装置126はVRデバイス120の外部にある。例えば、入力装置126は、制御ユニット106に組み込まれるか、又はI/O回路108を介してVRデバイス120及びプロセッサ130の両方と通信するように構成された別個のユニットとされる。

#### 【0032】

【0038】 制御ユニット106は、手術用ロボットシステム100の全体的な動作を制御し、その他の形で連携させるように構成される。制御ユニット106は、入力/出力（I/O）回路106及びプロセッサ130を含む。プロセッサ130は、処理を可能にするための関連付けられたメモリ134と、コンピュータ可読媒体（CRM）136とを含む。プロセッサ130は一般に、獲得されたライブ画像を画像獲得デバイス112からI/O

Ｏ回路１０８を介して受け取り、獲得されたライブ画像を処理して、例えばメモリ１３４及び／又はＣＲＭ１３６に記憶するように構成され、それにより、プロセッサ１３０は、画像獲得デバイス１１２によって通過された患者Ｐの内部部分同士を基本的に視覚的にマッピングするデータベースを構築することができる。このデータベースはその後、下記で述べるように、ターゲットＴが選択されると、ターゲットＴまでの経路を決定するために使用することができる。プロセッサ１３０は、獲得されたライブ像を、表示ユニット１２１に表示するためにＩ／Ｏ回路１０８を介してＶＲデバイス１２０に送信する。代替の構成では、獲得されたライブ画像は、獲得されたライブ画像がＩ／Ｏ回路１０８によって受け取られると、プロセッサ１３０による撮像処理は行われずに、Ｉ／Ｏ回路１０８からＶＲデバイス１２０に送信される。

10

#### 【００３３】

[0039] プロセッサ１３０はさらに、ＶＲ追跡システム１２２によって判定される追跡データを、Ｉ／Ｏ回路１０８を介してＶＲデバイス１２０から受け取り、判定された追跡データを処理して、患者Ｐ内の手術部位Ｓでターゲット（例えばターゲットＴ）を選択するように構成される。プロセッサ１３０はさらに、例えば例示的な画像獲得デバイス１１２及び器具１１３を含むロボット１０１の１つ又は複数のエンドエフェクタが選択されたターゲットＴに到達するための経路を、獲得されたライブ画像と、処理され判定された追跡データとに基づいて決定するように構成される。プロセッサ１３０は、Ｉ／Ｏ回路１０８を介してロボット１０１にロボット制御信号を送信して、１つ又は複数のエンドエフェクタを、決定された経路に沿って選択されたターゲットＴまで移動させる。

20

#### 【００３４】

[0040] そのために、Ｉ／Ｏ回路１０８は、獲得されたライブ画像を画像獲得デバイス１１２から受け取り、獲得されたライブ画像を、表示ユニット１２１に表示するためにプロセッサ１３０及び／又はＶＲデバイス１２０に提供する（直接、又は画像処理後にプロセッサ１３０から転送されるかのいずれか）。Ｉ／Ｏ回路１０８は、ＶＲデバイス１２０から入力データ（追跡データを含む）も受け取り、それをプロセッサ１３０に提供し、追跡データに応じてプロセッサ１３０が決定したロボット制御信号をロボット１０１に送る。

#### 【００３５】

[0041] 描かれる実施形態では、ロボット１０１は、患者Ｐの身体内の入口点Ｅに位置決めされる硬い近位部分１０２（例えばロボットアーム又はロボットアームの一部）と、患者Ｐ内の手術部位Ｓに位置決めされる柔軟な遠位部分１０３とを有する。ロボット１０１は、本明細書では、特定のロボット処置に対して要求されるように柔軟な遠位部分１０３を操縦するための１つ又は複数の関節とそれに対応する２つ以上のリンクとが動力制御されるように構造的に構成された、任意のロボットデバイスと広く定義される。柔軟な遠位部分１０３は、画像獲得デバイス１１２と器具１１３とを含む１つ又は複数のエンドエフェクタを含む。器具１１３は、例えば、グリッパー若しくは道具ホルダー、腹腔鏡器具、腹腔鏡、例えば脊椎固定手術でネジを配置するための道具、生検若しくは治療用の針、組織若しくは腫瘍の撮像及びアブレーション用の超音波トランスデューサ、又は他の手術用若しくは介入用道具である。

30

40

#### 【００３６】

[0042] 実際には、当業者には認識されるように、ロボット１０１は最低でも３自由度を有し、有益には６自由度以上を有する。ロボット１０１は、２つの交差するモータ軸を備えた遠隔運動中心（remote center of motion）（ＲＣＭ）機構を有してよい。また、ロボット１０１には投光装置（図示せず）が関連付けられていてもよい。組み込むことが可能な操縦可能又は器用な手術用ロボットデバイスの一例は、参照により本明細書に組み込まれる、Sanchezによる米国特許第７，１２１，７８１号（２００６年１０月１７日）に記載されるものなどの、７自由度の汎用手関節である。この汎用手関節は、遠位部分に複数の関節とジョイントを含み、近位部分に駆動システムを含む。このデバイスはさらに、ロボット位置決め機構とコンピュータコントローラとを使

50

用して位置決めすることができる。ロボット位置決めにより、解剖学的構造に対するデバイスの運動を追跡することが可能になる。エンドエフェクタを上記手関節に結合することができ、それにより、同じ枢動点を中心とした2つの別々の自由度が得られる。エンドエフェクタは、ピンによって移動させ、作動させることができ、小型の低侵襲医療器具が可能となる。

#### 【0037】

[0043] 図1には、単一の硬い近位部分102とそれに対応する単一の遠位部分103とを操作するための単一のロボット101が描かれているが、本教示の範囲から逸脱することなく、対応する複数の硬い近位部分及び/又は複数の硬い遠位部分を備えた複数のロボットが組み込まれてもよいことが理解される。すなわち、ロボット101は、手術部位S内で異なるエンドエフェクタを制御する複数のロボットアーム(図示せず)を含んでもよい。例えば、1つのロボットアームが、手術部位Sのライブ画像を提供するための画像獲得デバイス112などの前方視カメラを含み、別のロボットアームが器具113並びにその他の器具を含んでもよい。

#### 【0038】

[0044] 画像獲得デバイス112は、手術用ロボットシステム100の制御ユニット106と共に撮像システムの一部をなし、前方光学視野又は傾斜光学視野を有する任意種類のカメラを1つ又は複数個含み、事前に定められたフレームレート(例えば毎秒30フレーム)で一連の2次元デジタルビデオフレームを獲得することが可能であり、また、それぞれのデジタルビデオフレームを、入力/出力回路108を介して制御ユニット106に提供することが可能であってよい。詳細には、画像獲得デバイス112は、その視野の中で、ロボット101の柔軟な遠位部分103から手術部位S及び解剖学的ターゲットT(例えば臓器)のライブ画像を獲得できるように位置及び向きが設定された前方視カメラであってよい。一実施形態では、硬い近位部分102は、ロボット101によって制御される内視鏡のようなデバイスであり、単一の近位部分102が複数のチャンネルを含み、それらの1つは、画像獲得デバイス112の制御及び/又はそれとの通信を可能にし、チャンネルのうち少なくとも1つの他のチャンネルは、器具113又は他のエンドエフェクタの進入及び制御を可能にする。代替の実施形態では、画像獲得デバイス112は、硬い近位部分102に対応する柔軟な遠位部分103にあり、一方、他のエンドエフェクタは、他の硬い近位部分(図示せず)に対応する柔軟な遠位部分にあり、それらはすべてロボット101を介して制御される。さらに別の実施形態では、画像獲得デバイス112は、別個の内視鏡の柔軟な遠位部分にあり、ロボット101の一部ではなく、図2を参照して下記で述べるように、別個の内視鏡コントローラ(ロボット101と連携して動作する)の制御下にある。また、画像獲得デバイス112は、3次元で知覚できる画像を提供する立体視カメラ又は立体視内視鏡であってもよい。立体視内視鏡の一例が、参照により本明細書に組み込まれる、Breidenthalらの米国特許第6,139,490号(2000年10月31日)に記載されている。それに代えて、画像獲得デバイス112は単眼であってもよく、表示ユニット121はユーザの両目に対応する2つの眼用ディスプレイに分割され、その場合、単眼画像は、2つの重なり合う半画像に分割され、2つの眼用ディスプレイの各々に別々に呈示されて、擬似的な立体視を作り出す。

#### 【0039】

[0045] 外部の医療画像デバイスが含まれてもよい。医療画像デバイスは、手術用ロボット101の柔軟な遠位部分103及び手術部位SにあるターゲットTのライブ画像を1つ又は複数獲得するように構成され、より包括的な概観を提供する。そのような医療画像デバイスは、患者Pの一部分を少なくとも部分的に包囲するCアーム(図示せず)を含み得る。Cアームは撮像スキャナの増強器であり、C字型に構成されていることからその名がある。Cアームは、放射線撮影機能を持ち、当業者に知られるように、手術処置中の蛍光透視撮像に使用される。X線システムを実施するCアームの一例が、参照により本明細書に組み込まれる、Popovicの米国特許第9,095,252号(2015年8月4日)に記載されている。

## 【 0 0 4 0 】

[0046] 図 2 は、別個の撮像内視鏡とそれに対応する内視鏡コントローラとを含む、本発明の代表的実施形態による手術用ロボットシステムを示す概略ブロック図である。図 2 は、手術用ロボットシステム 200 を描いており、これは、通例は、患者の身体内で特定された手術部位で、ロボットにより操作可能な手術用器具及び他の道具を操作することを伴う医療処置に利用される。そのような医療処置には、これらに限定されないが、例えば、低侵襲心臓手術（例えば冠動脈バイパスグラフトや僧帽弁置換）、低侵襲腹部手術（腹腔鏡）（例えば前立腺切除や胆嚢切除）、及び自然開口部越経管腔内視鏡手術が含まれる。

## 【 0 0 4 1 】

[0047] 図 2 を参照すると、描かれる実施形態では、手術用ロボットシステム 200 は、少なくとも 1 つのロボット 101、制御ユニット 106、及び VR デバイス 120 を含む点で手術用ロボットシステム 100 と同様である。ロボット 101 は、内部の手術処置を行うための手術道具などの少なくとも 1 つの器具 113 を含む 1 つ又は複数のエンドエフェクタを、患者 P 内の手術部位 S に位置決めすべく操作するように構成される。内部の手術処置には、例えば、手術部位 S 内の解剖学的ターゲット T に関連する低侵襲手術や自然開口部手術が含まれ、その例は上記で挙げた。

## 【 0 0 4 2 】

[0048] 加えて、手術用ロボットシステム 200 は、ロボット 101 とは別個の内視鏡 142 を制御するように構成された内視鏡コントローラ 140 を含む。内視鏡 142 は、画像獲得デバイスであり、上記で図 1 を参照して論じた少なくとも 1 つの画像獲得デバイス 112 と機能が似ている。内視鏡 142 は、手術部位 S でライブ画像を獲得するように構成される。「内視鏡検査法」は内部を見ることを意味し、通例は医療上の理由から、身体及び/又は臓器に直接挿入される内視鏡 142 などの内視鏡を使用して身体の内側を見ることを言う。VR デバイス 120 は、内視鏡 142 により獲得されたライブ画像をユーザによって見られる VR 表示ユニット 121 に表示するように構成されると共に、上述のように代表的な運動センサ 124 によって示される 1 つ又は複数の運動感知回路を介してユーザの（表示された画像にตอบสนองした）動きを捕捉する VR 追跡システム 122 を使用して追跡データを検出するように構成される。

## 【 0 0 4 3 】

[0049] 様々な実施形態において、内視鏡 142 は、硬い管又は柔軟な管、検査対象の臓器又は物体を照明する光送達システム（例えば、光源は通常は身体の外側にあり、光は通例光ファイバシステムを介して誘導される）、対物レンズからビューワに画像を伝送するレンズ系、通例は、硬い内視鏡の場合にはリレーレンズ系、又はファイバスコープの場合は光ファイバの束、を含む。また、アイピースを持たないビデオスコープも企図され、その場合は、画像捕捉のためにカメラが画面に画像を送信する。また、様々な実施形態において、内視鏡 142 は、例えば立体視内視鏡であり、その画像データは、見かけ上 3 次元の画像を、例えば VR 表示ユニット 121 に表示することを可能にする。

## 【 0 0 4 4 】

[0050] 描かれる実施形態では、ロボット 101 は、患者 P の身体内で第 1 の入口点 E1 に位置決めされる硬い近位部分 102 と、患者 P 内の手術部位 S に位置決めされる柔軟な遠位部分 103 とを有する。内視鏡 142 は、患者 P の身体内で第 2 の入口点 E2 に位置決めされるシースを含む。様々な実施形態において、内視鏡 142 は複数のチャネルを含み、そのうちの 1 つは画像の獲得を提供し、チャネルのうち少なくとも 1 つの他のチャネルは、内視鏡コントローラ 140 によって制御される、医療器具若しくは操縦器、及び/又は手術部位 S を照明するための光源などの別の器具の進入及び制御を可能にする。

## 【 0 0 4 5 】

[0051] 制御ユニット 106 は、ロボット 101 と内視鏡 142 の制御及び連携を含む、手術用ロボットシステム 200 の全体的な動作を制御し、その他の形で連携させるように構成される。制御ユニット 106 は I/O 回路 208 を含み、これは、内視鏡コントロ

ーラ 140 と通信するための追加的なインターフェースを有する点で I/O 回路 108 と異なる。したがって、プロセッサ 130 は一般に、獲得されたライブ画像を内視鏡 142 から内視鏡コントローラ 140 及び I/O 回路 208 を介して受け取り、獲得されたライブ画像を処理して、例えばメモリ 134 及び/又は CRM 136 に記憶するように構成され、それにより、プロセッサ 130 は、内視鏡 142 が通過した患者 P の内部部分同士を基本的に視覚的にマッピングするデータベースを構築することができる。このデータベースはその後、下記で述べるように、ターゲット T が選択されると、ターゲット T までの経路を決定するために使用することができる。プロセッサ 130 は、獲得されたライブ画像を、表示ユニット 121 に表示するために I/O 回路 208 を介して VR デバイス 120 に送信する。代替の構成では、獲得されたライブ画像は、獲得されたライブ画像が内視鏡コントローラ 140 から I/O 回路 208 によって受け取られると、プロセッサ 130 による撮像処理は行われずに、I/O 回路 208 から VR デバイス 120 に送信される。

10

**【0046】**

[0052] プロセッサ 130 はさらに、VR 追跡システム 122 によって判定される追跡データを、I/O 回路 208 を介して VR デバイス 120 から受け取り、判定された追跡データを処理して、患者 P 内の手術部位 S でターゲット（例えばターゲット T）を選択するように構成される。プロセッサ 130 はさらに、例えば例示的な器具 113 を含むロボット 101 の 1 つ又は複数のエンドエフェクタが選択されたターゲット T に到達するための経路を、獲得されたライブ画像と、処理され判定された追跡データとに基づいて決定するように構成される。プロセッサ 130 は、I/O 回路 208 を介してロボット 101 にロボット制御信号を送信して、1 つ又は複数のエンドエフェクタを、決定された経路に沿って選択されたターゲット T まで移動させる。

20

**【0047】**

[0053] そのために、I/O 回路 208 は、獲得されたライブ画像を画像獲得デバイス 112 から内視鏡 142 及び内視鏡コントローラ 140 を介して受け取り、獲得されたライブ画像を、表示ユニット 121 に表示するためにプロセッサ 130 及び/又は VR デバイス 120 に提供する（直接、又は画像処理後にプロセッサ 130 から転送されるかのいずれか）。I/O 回路 208 は、VR デバイス 120 から入力データ（追跡データを含む）も受け取り、それをプロセッサ 130 に提供し、追跡データに応じてプロセッサ 130 が決定したロボット制御信号をロボット 101 に送る。

30

**【0048】**

[0054] VR デバイス 120（図 1 及び図 2 に示される）を参照すると、表示ユニット 121 は、ユーザの近くに併置される場合もある 1 つ又は複数のディスプレイを含む。例えば、図 3 及び図 4A を参照すると、VR デバイス 120 が HMD デバイスとして実施される場合、表示ユニット 121 は、ゴーグルのように、ヘッドピース 220 の前部のユーザ 333 の目のすぐ前に取り付けられる。表示ユニット 121 は、上述のように手術部位 S のライブ画像を表示するように構成され、ユーザは自身の頭部及び/又は目を動かして表示ユニット 121 に表示されたライブ画像を観察し、選択のためにターゲットを追跡し、それにより、手術部位を観察して処置を行うために外科医が自身の頭部及び/又は目を動かす実際の手術処置を模擬する。画像獲得デバイス 112 が立体視画像を提供する場合、表示ユニット 121 に表示されるライブ画像は 3 次元に見える。一実施形態では、表示ユニット 121 は、術前画像も表示する。したがって、少なくとも 1 つの画像獲得デバイス 112 からの画像は、捕捉されて HMD デバイスに表示される。

40

**【0049】**

[0055] 本発明の例示的实施形態による手術用ロボットシステム 100 又は 200 の一部として頭部追跡機能を備えた HMD デバイスを示す概略図である図 3 を特に参照すると、HMD デバイスの VR 追跡システム 122 は、ユーザの頭部の運動に基づく追跡データを生成するように構成される。例えば、立体視内視鏡が手術部位 S のライブ画像を獲得し、そのライブ画像が HMD デバイスに表示される。立体視内視鏡は、ロボット 101 及び制御ユニット 106 又は内視鏡 142 によって制御される画像獲得デバイス 112 であっ

50

てよく、図2を参照して述べたようにロボット101に取り付けられて別個の内視鏡コン  
トローラ140によって制御されるのではない。

【0050】

[0056] ユーザ333は、入力装置126（例えば、足ペダル、押しボタン、又は音声  
コマンド）を使用して頭部追跡モードを起動する。VR追跡システム122は、ユーザの  
頭部の運動を追跡し、プロセッサ130に追跡データを送って、HMDデバイス内の表示  
ユニット121の裏面の画面又はビューワ（図示せず）においてターゲットTを選択する  
ための運動を計算させる。例えば、運動の計算は、画像面内の平面状の頭部の運動を使用  
して行われる。この場合、少なくとも1つの運動センサ124は、ユーザ333の頭部の  
運動を測定する1つ又は複数の加速度計を備える。より詳細には、描かれる実施形態では  
、VR追跡システム122は、y軸を中心とした頭部の運動（ヨーを示す）を測定するた  
めの第1の加速度計221、z軸を中心とした頭部の運動（ロールを示す）を測定するた  
めの第2の加速度計222、及びx軸を中心とした頭部の運動（ピッチを示す）を測定す  
るための第3の加速度計223の3つの加速度計を含んでいる。VR追跡システム122  
は、第1～第3の加速度計221～223によってそれぞれ検出された軸周りの運動を追  
跡データに変換し、それが、I/O回路108を介して入力データとしてプロセッサ13  
0に提供される。

10

【0051】

[0057] そして、プロセッサ130は、追跡データを処理して、表示ユニット121（  
及びそこに表示されたライブ画像）との関係でユーザの頭部の角度を判定することによ  
ってターゲットTを特定又は選択することができ、ここで、頭部の角度は、ユーザ333が  
見ている、手術部位S内のターゲットTを構成するライブ画像の領域又は点を示す。ユー  
ザ333が表示ユニット121の手術野S内でのターゲットTの位置に満足すると、制御  
システム106内のプロセッサ130に確認信号が送られる（例えば、足ペダル、押しボ  
タン、又は音声コマンドを介して）。プロセッサ130は、選択されたターゲットTに対  
応する2次元又は3次元の座標を割り当てる（又はアドレス指定する）ことができる。患  
者Pの身体内の入口点Eの場所と、選択されたターゲットTの座標とを把握し、それに画  
像獲得デバイス112（又は内視鏡142）から獲得されたライブ画像のデータベースを  
併用して、プロセッサ130は、ロボット101により操作可能な少なくとも1つの器具  
113が選択されたターゲットTに到達するための経路（又はベクトル）を決定すること  
ができる。ロボットにより制御される器具が患者の手術部位内のターゲットに到達するた  
めのそのような経路を決定する一例が、参照により本明細書に組み込まれる、Popov  
icらの米国特許第8,934,003号（2015年1月13日）により提供される。  
プロセッサ130はそして、ロボット101にロボット制御信号を送信して、ロボット1  
01に、少なくとも1つの器具113の遠位端を、決定された経路を通してターゲットT  
まで誘導させる。すなわち、制御システム106は、ロボット101にコマンドを発して  
、選択されたターゲットTの位置まで移動させる。ロボット101の各関節の必要とされ  
る運動は、当技術分野で知られる方法を使用してプロセッサ130によって実施される。  
例えば、ロボット101は、当技術分野で知られる視覚的サーボ制御方法を利用する。

20

30

【0052】

[0058] 図4Aを参照すると、HMDデバイスのVR追跡システム122は、上記で図  
3を参照して述べたように、ユーザの頭部の運動に基づいて追跡データを生成するよう  
に構成される。ここでも、ユーザ333は、入力装置126（例えば、足ペダル、押しボタ  
ン、又は音声コマンド）を使用して頭部追跡モードを起動する。少なくとも1つの運動セ  
ンサ124は、各軸を中心としたユーザ333の頭部運動を測定する1つ又は複数の加速  
度計（第1～第3の加速度計221～223）を備える。VR追跡システム122は、軸  
周りの運動を追跡データに変換し、それが、I/O回路108を介して入力データとして  
プロセッサ130に提供される。そして、プロセッサ130は、上述のように、追跡デー  
タを処理して、表示ユニット121（及びそこに表示されたライブ画像）との関係でユー  
ザの頭部の角度を判定することによってターゲットTを特定又は選択することができ  
る。

40

50

## 【 0 0 5 3 】

[0059] ただし、図 4 A は、画像獲得デバイス 1 1 2 が前方視カメラをロボットの一部として含む場合の動作を特に描いており、ロボットは、低侵襲手術のために硬い内視鏡を保持するマルチリンク若しくは同心弧ロボット、又は自然開口部 1 5 0 を通過するため（例えば気管支鏡検査）の図 4 B に示すようなヘビ状若しくはカテーテル状ロボット 1 0 0 0 である。描かれる実施形態では、ユーザ 3 3 3 は、解剖学的構造の仮想的なウォークスルーを行うことができ、ロボット 1 0 0 0 はこの経路に沿って追従する。ターゲットの選択及び運動は連続的である。換言すると、プロセッサ 1 3 0 は、前方視カメラからの前方視画像を処理し、HMD からの判定された頭部追跡及び／又は目追跡データを継続進行モードで処理し、ロボット制御信号を送信して、ロボットに、前方視画像と判定された頭部追跡又は目追跡データとに基づいて、前方視カメラを継続進行モードで患者の内部を移動させるように構成される。

10

## 【 0 0 5 4 】

[0060] 上述のように、VR デバイス 1 2 0 の運動センサ 1 2 4 は、ユーザの目の動きを検出する 2 つの後ろ向きのカメラを含む目追跡システムであってよい。これは、例えば、VR デバイス 1 2 0 が、上述のように、表示ユニット 1 2 1 と、ヘッドピース 2 2 0 の表示ユニット 1 2 1 の近傍又は表示ユニット 1 2 1 自体の裏面のどちらかに装着された 2 つの後ろ向きのカメラとを含む、ユーザ 3 3 3 に装着されるヘッドピース 2 2 0 を含む HMD デバイスである場合に実施される。

## 【 0 0 5 5 】

[0061] 図 6 は、本発明の例示的实施形態による、手術用ロボットシステム 1 0 0 又は 2 0 0 の一部として目追跡能力を備えた HMD デバイスを示す概略図である。図 6 を参照すると、ユーザ 3 3 3 に装着されたヘッドピース 2 2 0 の表示ユニット 1 2 1 の裏面には、左アイピース 3 3 1 及び右アイピース 3 3 2 を備える両眼画面又はビューワがあり、各アイピースは、それぞれユーザ 3 3 3 の左目及び右目と概ね位置が合わせられる。表示ユニット 1 2 1 の裏面は、左目トラッカー 3 3 5 及び右目トラッカー 3 3 6 として示される 2 つの後ろ向きのカメラをさらに含み、これらは、特にユーザの目の虹彩を追従するように構成される。そして、ターゲットの選択は、HMD デバイス及び／又はプロセッサ 1 3 0 に組み込まれた目追跡システムを使用して行う。目の動きは、プロセッサ 1 3 0 により、それぞれ左アイピース 3 3 1 及び右アイピース 3 3 2、並びに／又は手術部位 S にマッピングされ、それに応じてターゲット T が移動される。したがって、VR 追跡システム 1 2 2 の追跡信号は目追跡信号と称される。代替の構成では、表示ユニット 1 2 1 の裏面は、ライブ画像を表示するための単一の（単眼）画面又はビューワを含む。ただし、目追跡能力を可能にするために、2 つの後ろ向きのカメラ、左目トラッカー 3 3 5、及び右目トラッカー 3 3 6 がやはりあってもよい。

20

30

## 【 0 0 5 6 】

[0062] 再度図 1 を参照すると、制御ユニット 1 0 6 は、本明細書では、手術部位 S にあるロボット 1 0 1 の柔軟な遠位部分 1 0 3 及び解剖学的物体又はターゲット T に関するライブ画像及び術前画像の獲得及び処理を制御する 1 つ又は複数の制御コマンドを提供し、VR デバイス 1 3 0 からのターゲット T の選択に関する追跡情報を利用してターゲット T までの経路を決定し、さらに、柔軟な遠位部分 1 0 3 を制御するように構造的に構成された、任意のコントローラとして広く定義される。一般に、I/O 回路 1 0 8 は、制御ユニット 1 0 6 の外部にあるデバイスと要素との間の通信を制御する。I/O 回路 1 0 8 は、プロセッサ 1 3 0、VR デバイス 1 2 0、及びロボット 1 0 1 との間の入力信号及び出力信号又はデータを解釈するための必要な論理を含んだインターフェースの役割を果たす。I/O 回路 1 0 8 は、画像獲得デバイス 1 1 2 から獲得されたライブ画像を受け取るように構成された第 1 の入力と、獲得されたライブ画像を、最終的には表示のためにプロセッサ 1 3 0 及び VR デバイス 1 2 0 のうち少なくとも一方に提供するように構成された第 1 の出力とを含む。I/O 回路 1 0 8 はさらに、追跡データを含む判定された入力データを VR デバイス 1 2 0 から受け取るように構成された第 2 の入力と、判定された入力

40

50



データをプロセッサ 130 に提供する（プロセッサ 130 はその入力データを処理して、それに応じてターゲット T を特定し、選択する）ように構成された第 2 の出力と、ロボット制御信号をロボット 101 に提供するように構成された第 3 の出力とを含んでよい。

【0057】

[0063] プロセッサ 130 は、記載される機能及び動作を、ハードウェア、ソフトウェア、及びファームウェアの組み合わせを使用して行う。プロセッサ 130 は、手術部位 S にある手術用ロボット 101 の柔軟な遠位部分 103 に関する医療画像（例えば、画像獲得デバイス 112 又は外部の医療画像デバイスからの）を処理して、柔軟な遠位部分 103 を、手術部位 S にある対応する解剖学的構造と位置合わせするように構成される。プロセッサ 130 は、位置追跡システム（図示せず）から得る手術用ロボット 101 の硬い近位部分 102 の追加的な位置追跡情報を処理して、硬い近位部分 102 の運動を決定するように構成される。位置追跡システムは、追跡システム 120 とは別個であり、当業者に理解されるように、光学追跡システム、機械的追跡システム、電磁追跡システムの 1 つ又は複数であってよい。センサ又はタグ（例えば発光ダイオード（LED）、受動マーカ、反射マーカ等）を手術用ロボット 101 の硬い近位部分 102 に含めて、位置追跡システムと協働するようにしてもよい。一実施形態では、位置補償モードが設けられ、そのモードに従って、プロセッサ 130 は、硬い近位部分 102 の判定された位置及び運動に基づいて、手術用ロボット 101 の柔軟な遠位部分 103 の運動補償信号を生成するように構成される。

【0058】

[0064] 図 2 ～ 図 4 を追加的に参照すると、ロボット 101 は器用であり、入口点 E を通して患者に挿入される。硬い近位部分 102 は手持ち型であってよい。この硬い近位部分 102 は、入口点 E（「枢動点」）を中心として枢動する。柔軟な遠位部分 103 は、入口点 E を傷つけることなく患者 P の内部を移動する。

【0059】

[0065] 位置補償モードでは、上述のように、画像獲得デバイス 112、又は X 線（若しくは円錐ビーム CT、US、内視鏡等）などの外部の医療画像デバイスを使用して、柔軟な遠位部分 103 に関する画像が撮影される。手術部位 S 内での柔軟な遠位部分 103 の形状及び姿勢並びに / 又は位置合わせは、画像に基づく位置合わせ及び道具追跡位置合わせを伴う、術前手術計画及び術中画像に対する手術道具のリアルタイム追跡など、当技術分野で知られる様々な手法を使用して決定される。

【0060】

[0066] すなわち、内視鏡 142 を備えた又は備えていないロボット 101 は、追加的な座標系を生じさせるため、何らかの要求される基準枠に対するロボット 101 の位置整合（位置及び向き）は、保証し維持することが難しい。その理由は、ロボット 101 の位置決めには作業空間及び運動の制約が伴うからである。位置合わせにより異種の座標系間の位置ずれの問題に対処し、よって、同じ位置整合を臨床医が頭の中で行う必要がない。ロボット 101 の位置合わせにより、術前画像をライブ内視鏡フィールドに位置合わせするなどの能力が可能になり、それにより、解剖学的ターゲットの位置特定を助けることができる。術前画像は、コンピュータ断層撮影（CT）、超音波、磁気共鳴撮像（MRI）、陽電子放射断層撮影（PET）、単一光子放射コンピュータ断層撮影（SPECT）等により得られるような 3D 画像を含む。

【0061】

[0067] 手術用ロボット 101 をそれがいる作業空間に位置合わせするには各種の方法が存在する。位置合わせは、画像獲得デバイス 112 のライブビュー内で見えている特徴を、術前 CT などの他の方式で知られる対応する特徴と一致させることにより行うことができる。内視鏡手術における画像に基づく位置合わせ及び道具追跡位置合わせの一例が、参照により本明細書に組み込まれる、Popovic の米国特許第 9,095,252 号（2015 年 8 月 4 日）に記載されている。柔軟な遠位部分 103 の位置合わせは、1）ロボット 101 の柔軟な遠位部分 103 及びその周囲にある解剖学的構造の術中画像を（

例えば、上述の外部の医療画像デバイスから)獲得し、位置合わせを行うこと、又は2)ロボット101の柔軟な遠位部分103から、周囲にある解剖学的構造の画像を獲得すること(例えば、カメラや超音波トランスデューサなどの画像獲得デバイス112から)、を含む。

#### 【0062】

[0068] 実際には、上述の制御プロセスは、ハードウェア、ソフトウェア、及び/又は任意のプラットフォーム(例えば汎用コンピュータ、特定用途集積回路(AASIC)等)にインストールされたファームウェアの任意の組み合わせによって具現化されるモジュールによって実施される。さらに、処理は、制御ユニット106のプロセッサ130によって行うことができる。

10

#### 【0063】

[0069] 本発明の実施形態は、患者Pの身体への入口に位置決めされる硬い近位部分102と、患者P内の手術部位Sに位置決めされる柔軟な遠位部分103とを有する手術用ロボット101を含む手術用ロボットシステム100を制御するためにプロセッサ130により実行されるように構成された機械可読命令が記憶された非一時的なコンピュータ可読記憶媒体136も対象とする。それに対応する機械可読命令が、方法500を行うように構成される。

#### 【0064】

[0070] 図5は、手術用ロボットシステムを制御し誘導するための方法500の代表的実施形態の動作を示すフローチャートであり、例えばプロセッサ130によって実施される。説明のために、方法500は、図1に描かれるバージョンの手術用ロボットシステム100によって行われるものとするが、この方法は、本発明の教示の範囲から逸脱することなく、手術用ロボットシステム200を含む代替の構成にも実質的に適用することができる。

20

#### 【0065】

[0071] 図5を参照すると、S511で、獲得されたライブ画像が動作画像獲得デバイスから受け取られる。ライブ画像は、例えば、ロボットの遠位部分に付いている1つ又は複数のカメラによって獲得される。ライブ画像は、静止画像又はビデオであり、手術部位を示す。代替の実施形態では、画像は、ロボットコントローラ又は別個の内視鏡コントローラの制御下にある内視鏡によって獲得される。動作S512で、ライブ画像(又はライブ画像データ)がHMDデバイスなどのVRデバイスに送信され、そこでライブ画像がユーザに表示される。ライブ画像をVRデバイスに送信する前に、ライブ画像に画像処理を行ってもよい。例えばVRデバイスがHMDデバイスである場合、ライブ画像は、HMDヘッドピース内の表示画面又はビューワに表示される。それに代えて、ライブ画像は、ユーザの視野内の固定された位置に位置する、コンピュータモニタなどの別個の表示ユニットに表示されてもよい。プロセッサは、運動の方向、ターゲットの場所、ロボットの位置などの視覚的標識と共にVRデバイスに送信するために、獲得されたライブ画像を増強してもよい。

30

#### 【0066】

[0072] 動作513で入力データがVRデバイスから受け取られ、入力データは、検出されたユーザの運動を示す追跡データを含んでいる。例えば、VRデバイスがHMDデバイスである場合、検出された運動は、HMDヘッドピースを装着しているユーザの頭部の運動又は目の動きである。HMDヘッドピースは、上述のように、そのような運動を検出するためのセンサを含むことができる。運動は、VRデバイス内のVR追跡システムによって追跡データに変換され、例えばプロセッサに送信される。それに代えて、生の運動データをプロセッサに送信し、プロセッサがその生の運動データを追跡データに変換してもよい。他の入力データには、ユーザによって入力されるコマンドが含まれ、そのようなコマンドには、ディスプレイ上の表示されたライブ画像の特徴を強調表示するためのカーソルの移動(例えば、選択されたターゲットを特定する)、選択されたターゲットを確定する確認信号、及び頭部追跡モード又は目追跡モードなどの追跡モードの種類を起動する起

40

50

動信号などがある。

【 0 0 6 7 】

[0073] 動作 5 1 4 で、V R デバイスから受け取られた入力データを処理して、患者内の手術部位でターゲットを選択する。ターゲットが選択されると、動作 5 1 5 で、手術用ロボットによって操作可能な一つのエンドエフェクタ（又は複数のエンドエフェクタ）が選択されたターゲットに到達するための経路が、ライブ画像と、処理され判定された入力データとに基づいて決定される。次いで、動作 5 1 6 でロボット制御信号を送信して、ロボットにエンドエフェクタを誘導させて、決定された経路を通して手術部位の選択されたターゲットに到達する。図 5 の説明を通じて、「送信される」という用語は、ケーブル若しくは導体及び／又はワイヤレス通信を含む、任意モードの信号通信によって送ることを言う。

10

【 0 0 6 8 】

[0074] 様々な実施形態について図面及び前述の説明に詳細に図示し、説明してきたが、そのような図示及び説明は、説明又は例示のためであり、制限的なものとはみなすべきでない。本発明は、開示された実施形態に制限されない。

【 0 0 6 9 】

[0075] 開示された実施形態の他の変形例を、図面、本開示、及び添付の特許請求の範囲の考察から、特許権が請求される本発明を実施する際に当業者によって理解し、実施することができる。特許請求の範囲では、「～を含む」という単語は、他の要素又はステップを排除せず、不定冠詞の「a」又は「an」は複数を排除しない。単一のプロセッサ又は他のユニットが、特許請求の範囲に記載される数個の項目の機能を実現することができる。特定の手段が相互に異なる従属請求項に記載されているという単なる事実は、それらの手段の組み合わせを有利に使用できないことを意味するものではない。コンピュータプログラムは、他のハードウェアと共に又はその一部として供給される光学記憶媒体又は固体状態媒体などの適切な媒体で記憶／配布することができるが、インターネット又は他の有線若しくは無線の遠隔通信システムを介するなど、他の形態で配布されてもよい。特許請求の範囲内に参照符号がある場合、範囲を制限するものとは解釈すべきでない。

20



【図 5】

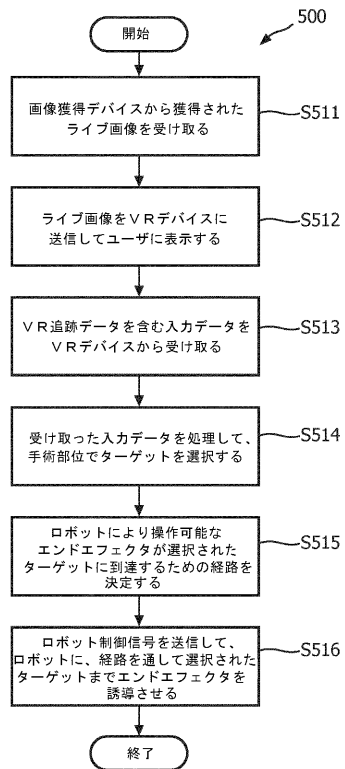


図 5

【図 6】

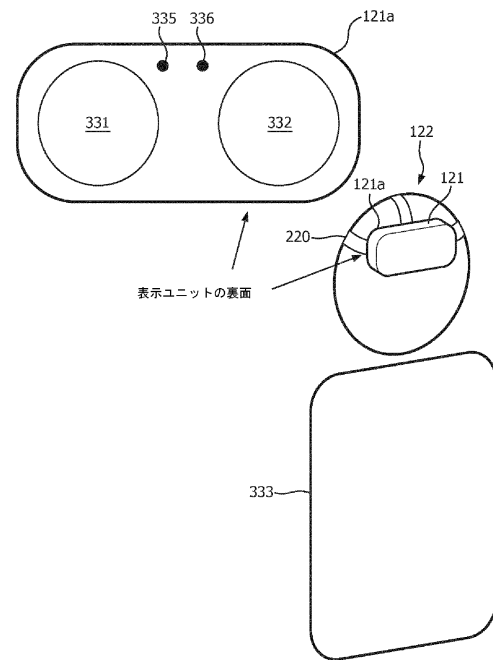


図 6

---

フロントページの続き

(72)発明者 ヌーナン デイビッド ポール  
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5

審査官 宮下 浩次

(56)参考文献 特表 2 0 1 7 - 5 1 2 5 5 4 ( J P , A )  
米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 3 0 5 7 1 ( U S , A 1 )  
特開 2 0 1 1 - 2 3 7 9 8 7 ( J P , A )  
特表 2 0 1 3 - 5 1 6 2 6 4 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
A 6 1 B 3 4 / 0 0 - 3 4 / 3 7  
G 0 6 T 1 9 / 0 0