

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7340619号
(P7340619)

(45)発行日 令和5年9月7日(2023.9.7)

(24)登録日 令和5年8月30日(2023.8.30)

(51)国際特許分類 F I
A 6 1 B 34/35 (2016.01) A 6 1 B 34/35

請求項の数 17 (全34頁)

(21)出願番号	特願2021-560920(P2021-560920)	(73)特許権者	516210894 シーエムアール・サージカル・リミテッド CMR SURGICAL LIMITED イギリス国, ケンブリッジシャー シービー24 9エヌジー, ケンブリッジ, ミルトン ロード, エヴォリューション ビジネス パーク 1
(86)(22)出願日	令和3年3月29日(2021.3.29)	(74)代理人	100087941 弁理士 杉本 修司
(65)公表番号	特表2022-530755(P2022-530755 A)	(74)代理人	100112829 弁理士 堤 健郎
(43)公表日	令和4年7月1日(2022.7.1)	(74)代理人	100142608 弁理士 小林 由佳
(86)国際出願番号	PCT/GB2021/050766	(74)代理人	100155963
(87)国際公開番号	WO2021/198662		
(87)国際公開日	令和3年10月7日(2021.10.7)		
審査請求日	令和3年10月13日(2021.10.13)		
(31)優先権主張番号	2004753.6		
(32)優先日	令和2年3月31日(2020.3.31)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	英国(GB)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 外科手術ロボットの制御システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

外科手術ロボットアームの制御システムであって、前記外科手術ロボットアームが、前記外科手術ロボットアームの構成を変更することができる一連のジョイントと、1つ以上のトルクセンサと、を備え、各トルクセンサが、前記一連のジョイントのうちのあるジョイントのトルクを検知するように構成されており、前記制御システムが、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される前記外科手術ロボットアームの前記構成を、受信するステップにおいて、前記1つ以上のトルクセンサから、前記外部から加えられた力またはトルクに起因する前記外科手術ロボットアームの検知されたトルク状態であって、前記外科手術ロボットアームの前記1つ以上のトルクセンサが検知した1つ以上の前記トルクを表すトルク状態を示す官能データを受信すること、
 選択するステップにおいて、前記検知されたトルク状態を、候補のトルク状態の集合のうち、前記検知されたトルク状態に最も近いトルク状態に写像することによって、前記候補のトルク状態の集合のうち、1つのトルク状態を選択すること、および
 送信するステップにおいて、前記ロボットアームの前記構成が前記選択されたトルク状態に準拠するように変更されるように、指令信号を前記外科手術ロボットアームに送信して前記ロボットアームを駆動することによって、制御するように構成されている、制御システム。

10

【請求項2】

前記制御システムが、前記受信するステップ、選択するステップ、および送信するステ

20

ップを含む、制御ループを反復して実施するようにさらに構成されている、請求項 1 に記載の制御システム。

【請求項 3】

前記検知されたトルク状態が、前記 1 つ以上のトルクセンサの各々から受信されたトルクデータを含む列ベクトルによって表される、請求項 1 または 2 に記載の制御システム。

【請求項 4】

前記制御システムが、

前記選択されたトルク状態に対応する 1 つ以上の力を決定するように構成されており、各力が、前記外部から加えられた力またはトルクの結果として、前記ロボットアームのある点で作用する力を示し、前記力が、前記点に対して定義される方向に対して定義される、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の制御システム。

10

【請求項 5】

前記制御システムが、各決定された力に対して、

前記外科手術ロボットアームの前記点の位置を決定することであって、前記点で作用する前記力が、前記点を前記決定された位置へと移動させることによって準拠され得るか、または低減され得るように前記点の位置を決定することと、

指令信号を前記外科手術ロボットアームに送信して、前記決定された位置へと前記外科手術ロボットアームの前記点を駆動することと、を行うように構成されている、請求項 4 に記載の制御システム。

【請求項 6】

前記制御システムが、

前記ロボットアームの単一の点で作用する力、および/または

前記ロボットアームの n 個 ($n > 1$) の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力を決定するように構成されている、請求項 4 または 5 に記載の制御システム。

20

【請求項 7】

前記候補のトルク状態の集合の各トルク状態が、各トルク状態のそれぞれの 1 つ以上の力とヤコビ行列との積であり、前記ヤコビ行列は、ジョイント角度の変化が前記外科手術ロボットアーム上の 1 つ以上の点を移動させる程度を表し、任意選択で、

前記候補のトルク状態の集合の各トルク状態が、前記ヤコビ行列の像の要素である、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の制御システム。

30

【請求項 8】

前記制御システムが、前記ロボットアームの単一の点で作用する力を決定するように構成されており、

前記制御システムが単一の点で作用する力を決定するように構成されている場合、前記候補のトルク状態の集合の各トルク状態が、各トルク状態のそれぞれの 1 つ以上の力と、前記一連のジョイントのうちの 1 つ以上のジョイントのジョイント角度の変化が前記ロボットアームの前記単一の点の前記位置をどのように変化させるかを表す、第 1 のヤコビ行列との積である、請求項 7 に記載の制御システム。

【請求項 9】

前記制御システムが、前記ロボットアームの n 個 ($n > 1$) の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力を決定するように構成されており、

前記制御システムが、 n 個 ($n > 1$) の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力を決定するように構成されている場合、前記候補のトルク状態の集合の各トルク状態が、各トルク状態のそれぞれの 1 つ以上の力と、前記一連のジョイントのうちの 1 つ以上のジョイントのジョイント角度の変化が前記 n 個の点の各々の前記位置をどのように変化させるかを表す、第 2 のヤコビ行列との積である、請求項 7 に記載の制御システム。

40

【請求項 10】

前記第 2 のヤコビ行列が、前記一連のジョイントのジョイントのサブセットの各ジョイントのジョイント角度の変化が前記 n 個の点のうちの第 1 の点の前記位置をどのように変化させるか、および前記一連のジョイントのジョイントの異なるサブセットの各ジョイン

50

トのジョイント角度の変化が前記 n 個の点のうちの第 2 の点の前記位置をどのように変化させるかを表す、請求項 9 に記載の制御システム。

【請求項 1 1】

前記制御システムが、

前記ロボットアームの現在の動作モードに依存して、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される前記外科手術ロボットアームの前記構成を、

(i) 前記ロボットアームの単一の点で作用する力、または

(i i) 前記ロボットアームの前記 n 個の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力に従って、制御するかどうかを決定するように構成されている、請求項 6 ~ 1 0 のいずれか一項に記載の制御システム。

10

【請求項 1 2】

前記制御システムが、前記ロボットアームの単一の点で作用する力を決定するように構成されており、前記制御システムが単一の点で作用する力を決定するように構成されている場合、前記候補のトルク状態の集合の各トルク状態が、各トルク状態のそれぞれの 1 つ以上の力と、前記一連のジョイントのうちの 1 つ以上のジョイントのジョイント角度の変化が前記ロボットアームの前記単一の点の前記位置をどのように変化させるかを表す、第 1 のヤコビ行列との積であり、

前記制御システムが、前記ロボットアームの n 個 ($n > 1$) の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力を決定するように構成されており、前記制御システムが、 n 個 ($n > 1$) の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力を決定するように構成されている場合、前記候補のトルク状態の集合の各トルク状態が、各トルク状態のそれぞれの 1 つ以上の力と、前記一連のジョイントのうちの 1 つ以上のジョイントのジョイント角度の変化が前記 n 個の点の各々の前記位置をどのように変化させるかを表す、第 2 のヤコビ行列との積であり、

20

前記制御システムが、

前記外科手術ロボットアームの現在の構成を推定するように、前記第 2 のヤコビ行列の行列式を計算することと、

前記第 1 のヤコビ行列を使用して決定された前記ロボットアームの単一の点で作用する力と、前記第 2 のヤコビ行列を使用して決定された前記ロボットアームの前記 n 個の点の同じ点で作用する力との間を補間することと、前記力が、前記第 2 のヤコビ行列の前記計算された行列式に依存して重み付けされる、補間することと、

30

外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される前記外科手術ロボットアームの前記構成を、前記補間された力に従って制御することと、を行うように構成されている、請求項 6 ~ 7 および 1 0 ~ 1 1 のいずれか一項に記載の制御システム。

【請求項 1 3】

前記選択されたトルク状態が、前記検知されたトルク状態に対して最も低いユークリッド距離を有する前記候補のトルク状態の集合の前記トルク状態であるか、または前記選択されたトルク状態が、前記検知されたトルク状態に対して最も低い最小二乗距離を有する前記候補のトルク状態の集合の前記トルク状態である、請求項 1 ~ 1 2 のいずれか一項に記載の制御システム。

【請求項 1 4】

前記制御システムが、各トルクセンサに関連付けられたノイズ干渉の決定されたレベルに依存して、前記 1 つ以上のトルクセンサの各トルクセンサから受信された前記官能データを重み付けするようにさらに構成されており、それにより、より大きな重みが、より低いレベルのノイズ干渉に関連付けられると決定されたトルクセンサから受信された官能データに加えられ、請求項 1 ~ 1 3 のいずれか一項に記載の制御システム。

40

【請求項 1 5】

前記外科手術ロボットアームが、前記ロボットアームの遠位端に外科手術器具のための取り付け部をさらに備え、前記制御システムが、前記ロボットアームに、

前記取り付け部に取り付けられた外科手術器具が患者の体の内側にある外科手術モード、および

50

前記外部から加えられた力またはトルクに応答して、前記外科手術器具が患者の体から回収可能である器具回収モードで動作させるように構成されている、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の制御システム。

【請求項 16】

前記候補のトルク状態の集合の各トルク状態が、各トルク状態のそれぞれの1つ以上の力とヤコビ行列との積であり、

前記器具回収モードでは、前記制御システムが、前記ヤコビ行列に、前記外科手術器具の長手方向軸に平行な軸の方向を表す列ベクトルを乗算するように構成されており、それにより、前記1つ以上の力が、前記外科手術器具の前記長手方向軸に平行な前記軸に沿って作用する力からなる、請求項 15 に記載の制御システム。

10

【請求項 17】

外科手術ロボットアームを制御する方法であって、前記方法は、前記外科手術ロボットアームの制御システムが実行する方法であり、前記外科手術ロボットアームが、前記外科手術ロボットアームの前記構成を変更することができる一連のジョイントと、1つ以上のトルクセンサと、を備え、各トルクセンサが、前記一連のジョイントのうちのあるジョイントのトルクを検知するように構成されており、前記方法が、外部から加えられた力またはトルクに

応答して変更される前記外科手術ロボットアームの前記構成を、前記制御システムが、前記1つ以上のトルクセンサから、前記外部から加えられた力またはトルクに起因する前記外科手術ロボットアームの検知されたトルク状態であって、前記外科手術ロボットアームの前記1つ以上のトルクセンサが検知した1つ以上の前記トルクを表すトルク状態を示す官能データを受信すること、

20

前記制御システムが、前記検知されたトルク状態を、候補のトルク状態の集合のうちの、前記検知されたトルク状態に最も近いトルク状態に写像することによって、前記候補のトルク状態の集合のうちの1つのトルク状態を選択すること、および

前記制御システムが、前記ロボットアームの前記構成が前記選択されたトルク状態に準拠するように変更されるように、指令信号を前記外科手術ロボットアームに送信して前記ロボットアームを駆動することによって、制御することを含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、外科手術ロボットアームの制御システムに関する。

30

【背景技術】

【0002】

外科手術ロボットシステムを使用して侵襲的医療処置が実施され得る。図1は、典型的な外科手術ロボットシステムを示す。手術台103の上に位置付けられた患者102に対して侵襲的医療処置を実施している外科手術ロボットシステム100が示されている。外科手術ロボットシステム100は、アーム101を備える。アーム101は、切断することもしくは把持することを実施するための用具、または内視鏡などの撮像装置といった、外科手術用具106を担持する。アーム101は、侵襲的処置の態様を実施するために、アーム101が担持する外科手術用具を操作することができる。

40

【0003】

侵襲的外科手術処置の前に、手術室スタッフのメンバー（例えば、臨床看護師）は通常、外科手術ロボットシステム100のセットアップを支援する。侵襲的処置の間、外科手術ロボットシステムは通常、リモートコンソール（図示せず）により外科医によって制御される。多くの場合、手術室スタッフのメンバーが、患者の世話を（例えば、外科手術部位を清浄する）ことができるように、侵襲的医療処置の間、手術台103に隣接して存在することも望ましい。侵襲的外科処置の後、手術室スタッフのメンバーは通常、外科手術ロボットシステム100の使用を停止することを支援する。

【0004】

したがって、侵襲的医療処置の前、間、および後に、手術室スタッフのメンバーが外科

50

手術ロボットシステムと相互作用することができる安全性と容易さを改善することが重要である。

【発明の概要】

【0005】

本発明の第1の態様によれば、外科手術ロボットアームの制御システムであって、外科手術ロボットアームが、その外科手術ロボットアームの構成を変更することができる一連のジョイントと、1つ以上のトルクセンサと、を備え、各トルクセンサが、一連のジョイントのうちのあるジョイントのトルクを検知するように構成されており、制御システムが、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される外科手術ロボットアームの構成を、1つ以上のトルクセンサから、外部から加えられた力またはトルクに起因する外科手術ロボットアームの検知されたトルク状態を示す官能データを受信すること、検知されたトルク状態を、候補のトルク状態の集合(セット)のうちの選択されたトルク状態に写像すること、およびロボットアームの構成が選択されたトルク状態に準拠するように変更されるように、指令信号を外科手術ロボットアームに送信してロボットアームを駆動することによって、制御するように構成されている、制御システムが提供される。

10

【0006】

制御システムは、受信するステップ、写像するステップ、および送信するステップを含む、制御ループを反復して実施するようにさらに構成され得る。

【0007】

検知されたトルク状態は、1つ以上のトルクセンサの各々から受信されたトルクデータを含む列ベクトルによって表され得る。

20

【0008】

制御システムは、選択されたトルク状態に対応する1つ以上の力を決定するように構成され得、各力は、外部から加えられた力またはトルクの結果として、ロボットアームのある点で作用する力を示し、力は、点に対して定義される方向に対して定義される。

【0009】

制御システムは、各決定された力に対して、外科手術ロボットアームの点の位置を決定することであって、それによって、その点で作用する力が、その点を決定された位置へと移動させることによって補償され得る、決定することと、指令信号を外科手術ロボットアームに送信して、決定された位置へと外科手術ロボットアームの点を駆動することと、を行うように構成され得る。

30

【0010】

制御システムは、ロボットアームの単一の点で作用する力、および/またはロボットアームのn個の点の各々で作用する少なくとも1つの力であって、式中、 $n > 1$ である、少なくとも1つの力を決定するように構成され得る。

【0011】

候補のトルク状態のセットの各トルク状態は、それぞれの1つ以上の力に対応し得、各トルク状態は、各トルク状態のそれぞれの1つ以上の力とヤコビ行列との積である。

【0012】

候補のトルク状態のセットの各トルク状態は、ヤコビ行列の像の要素であってもよい。

40

【0013】

制御システムが単一の点で作用する力を決定するように構成されている場合、ヤコビ行列は、一連のジョイントのうち1つ以上のジョイントのジョイント角度の変化がロボットアームの単一の点の位置をどのように変化させるかを表す、第1のヤコビ行列であってもよい。

【0014】

制御システムが、n個の点の各々で作用する少なくとも1つの力を決定するように構成されている場合、ヤコビ行列は、一連のジョイントのうち1つ以上のジョイントのジョイント角度の変化がn個の点の各々の位置をどのように変化させるかを表す、第2のヤコビ行列であってもよい。

50

【 0 0 1 5 】

第2のヤコビ行列は、一連のジョイントのジョイントのサブセットの各ジョイントのジョイント角度の変化がn個の点のうちの第1の点の位置をどのように変化させるか、および一連のジョイントのジョイントの異なるサブセットの各ジョイントのジョイント角度の変化がn個の点のうちの第2の点の位置をどのように変化させるかを表すことができる。

【 0 0 1 6 】

制御システムは、ロボットアームの現在の動作モードに依存して、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される外科手術ロボットアームの構成を、(i)ロボットアームの単一の点で作用する力、または(ii)ロボットアームのn個の点の各々で作用する少なくとも1つの力に従って、制御するかどうかを決定するように構成され得る。

10

【 0 0 1 7 】

制御システムは、外科手術ロボットアームの現在の構成を推定するように、第2のヤコビ行列の行列式を計算すること、第1のヤコビ行列を使用して決定されたロボットアームの単一の点で作用する力と、第2のヤコビ行列を使用して決定されたロボットアームのn個の点の同じ点で作用する力との間を補間することであって、上記力が、第2のヤコビ行列の計算された行列式に依存して重み付けされる、補間すること、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される外科手術ロボットアームの構成を、補間された力に従って制御すること、を行うように構成され得る。

【 0 0 1 8 】

制御システムは、ヤコビ行列のムーア - ペンローズの擬似逆行列を使用して、検知されたトルク状態を選択されたトルク状態に写像し、選択されたトルク状態に対応する1つ以上の力を決定するようにさらに構成され得る。

20

【 0 0 1 9 】

選択されたトルク状態は、検知されたトルク状態に対して最も低いユークリッド距離を有する候補のトルク状態のセットのトルク状態であってもよい。

【 0 0 2 0 】

選択されたトルク状態は、検知されたトルク状態に対して最も低い最小二乗距離を有する候補のトルク状態のセットのトルク状態であってもよい。

【 0 0 2 1 】

制御システムは、各トルクセンサに関連付けられたノイズ干渉の決定されたレベルに依存して、1つ以上のトルクセンサの各トルクセンサから受信された官能データを重み付けするようにさらに構成され得、それにより、より大きな重みが、より低いレベルのノイズ干渉に関連付けられると決定されたトルクセンサから受信された官能データに加えられる。

30

【 0 0 2 2 】

外科手術ロボットアームは、ロボットアームの遠位端に外科手術器具のための取り付け部をさらに備えることができ、制御システムは、ロボットアームに、取り付け部に取り付けられた外科手術器具が患者の体の内側にある外科手術モード、および外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、外科手術器具が患者の体から回収可能である器具回収モードで動作させるように構成され得る。

【 0 0 2 3 】

器具回収モードでは、制御システムは、ヤコビ行列に、外科手術器具の長手方向軸に平行な軸の方向を表す列ベクトルを乗算するように構成され得、それにより、1つ以上の力は、外科手術器具の長手方向軸に平行な軸に沿って作用する力からなる。

40

【 0 0 2 4 】

外科手術ロボットアームは、1つ以上のモータのセットをさらに備えることができ、セットの各モータは、制御システムによって送信された指令信号にตอบสนองして、一連のジョイントのうちのあるジョイントを駆動するように構成されている。

【 0 0 2 5 】

本発明の第2の態様によれば、外科手術ロボットアームを制御する方法であって、外科手術ロボットアームが、その外科手術ロボットアームの構成を変更することができる一連

50

のジョイントと、1つ以上のトルクセンサと、を備え、各トルクセンサが、一連のジョイントのうちのあるジョイントのトルクを検知するように構成されており、方法が、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される外科手術ロボットアームの構成を、1つ以上のトルクセンサから、外部から加えられた力またはトルクに起因する外科手術ロボットアームの検知されたトルク状態を示す官能データを受信すること、検知されたトルク状態を、候補のトルク状態のセットのうちを選択されたトルク状態に写像すること、およびロボットアームの構成が選択されたトルク状態に準拠するように変更されるように、指令信号を外科手術ロボットアームに送信してロボットアームを駆動することによって、制御することを含む、方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

10

【0026】

ここで、添付図面を参照して、本発明を例として説明する。図は、以下の通りである。

【0027】

【図1】典型的な外科手術ロボットシステムを示す。

【図2】外科手術ロボットシステムを示す。

【図3】外科手術ロボットシステムの外科手術ロボットアームを示す。

【図4】外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、外科手術ロボットアームの構成を変更するように制御システムによって実施される第1の制御ループを示す流れ図である。

【図5】外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、外科手術ロボットアームの構成を変更するように制御システムによって実施される第2の制御ループを示す流れ図である。

20

【図6】検知されたトルク状態を、候補のトルク状態のセットのうちを選択されたトルク状態に二次元で写像することを示す概略図である。

【図7】器具回収モードにおいて、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、外科手術ロボットアームの構成を変更するように制御システムによって実施される制御ループを示す流れ図である。

【0028】

図面の詳細な説明

以下の説明は、任意の当業者が本発明を作製および使用することを可能にするために提示され、特定の用途の文脈において提供される。開示される実施形態に対する様々な修正が、当業者には容易に明らかであろう。

30

【0029】

本明細書に定義される一般原則は、本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、他の実施形態および用途に適用され得る。したがって、本発明は、示される実施形態に限定されることを意図するものではなく、本明細書に開示される原理および特徴と一致する最も広い範囲を与えられるべきである。

【0030】

図2は、外科手術ロボットシステムを示す。図2は、患者202に対して侵襲的医療処置を実施している外科手術ロボットシステム200を示す。患者202は、手術台203の上に位置付けられている。外科手術ロボットシステム100は、ロボットアーム201を備える。1つのロボットアーム201が図2に示されているが、外科手術ロボットシステムは任意の数のロボットアームを備え得ることが理解されるべきである。ロボットアーム201は、その近位端で基部209から延在する。ロボットアーム201は、ロボットアームの構成を変更することができる複数のジョイント204を備える。

40

【0031】

ロボットアーム201は、その遠位端に外科手術器具206のための取り付け部を備える。外科手術器具は、侵襲的処置の態様を実施するために、遠位端にエンドエフェクタを備える薄い細長いシャフトを有し得る。外科手術器具の薄い細長いシャフトは、外科手術器具の長手方向軸を画定し得る。外科手術器具は、例えば、切断もしくは把持装置、または撮像装置（内視鏡など）であってもよい。外科手術器具206は、患者の体202の中に挿入可能である。外科手術器具206は、ポートを介して患者の体202の中に挿入さ

50

れ得る。

【 0 0 3 2 】

ロボットアーム 2 0 1 の構成は、リモート外科医コンソール 2 2 0 で受信された入力に
応答してリモートで制御され得る。外科医は、リモートコンソール 2 2 0 に入力を提供し
得る。リモート外科医コンソールは、1 つ以上の外科医入力装置 2 2 3 を備える。例えば
、これらは、ハンドコントローラおよび/またはフットペダルの形態をとり得る。外科医
コンソールはまた、ディスプレイ 2 2 1 を備える。

【 0 0 3 3 】

制御システム 2 2 4 は、外科医コンソール 2 2 0 を外科手術ロボットアーム 2 0 1 に接
続する。制御システムは、外科医入力装置から入力を受信し、これらをロボットアーム 2
0 1 のジョイントおよび外科手術器具 2 0 6 を移動させるための制御信号に変換する。制
御システム 2 2 4 は、これらの制御信号をロボットアームに送信し、それに応じて、対応
するジョイントが駆動される。制御システム 2 2 4 は、リモート外科医コンソール 2 2 0
およびロボットアーム 2 0 1 から分離していてもよい。制御システム 2 2 4 は、リモート
外科医コンソール 2 2 0 と併設され得る。制御システム 2 2 4 は、ロボットアーム 2 0 1
と併設され得る。制御システム 2 2 4 は、リモート外科医コンソール 2 2 0 とロボットア
ーム 2 0 1 との間に分散され得る。

【 0 0 3 4 】

ロボットアーム 2 0 1 の構成は、そのロボットアームに直接加えられた外部からの力に
応答して制御可能であってもよい。例えば、臨床チームのメンバー（例えば、手術室看護
師）は、ロボットアームに（例えば、ロボットアームのジョイントを押すことによって）
力またはトルクを直接加えることができる。この挙動について、本明細書でさらに詳細に
説明する。

【 0 0 3 5 】

図 3 は、ロボットアーム 3 0 1 の一例を示す。図 2 に示されるロボットアーム 2 0 1 は
、図 3 に示されるロボットアーム 3 0 1 と同じ特徴を有し得る。

【 0 0 3 6 】

ロボットアームは、基部 3 0 9 を備える。ロボットアームは、一連の剛性アーム部材を
有する。一連のアーム部材の各々は、それぞれのジョイント 3 0 4 a ~ g によって前のア
ーム部材に接合されている。ジョイント 3 0 4 a ~ e および 3 0 4 g は、外旋ジョイント
である。ジョイント 3 0 4 f は、フックスジョイントまたはユニバーサルジョイントのよ
うに、軸が互いに直交する 2 つの外旋ジョイントから構成されている。ジョイント 3 0 4
e ~ g の軸が交差する点は、「リスト」と呼ばれる場合がある。ロボットアームは、図 3
のアームとは異なる方法で接合され得る。例えば、ジョイント 3 0 4 d が省略される場
合があり、かつ/またはジョイント 3 0 4 f が単一の軸の周りの回転を可能にする場
合がある。ロボットアームは、ジョイントのそれぞれの側面の間での回転以外の動きを許容する、
器具取り付け部をロボットアームのより近位にある部分に対して直線的に摺動させるこ
とができるプリズムジョイントなどの 1 つ以上のジョイントを含むことができる。

【 0 0 3 7 】

ジョイントは、ロボットアームの構成を変更することにより、ロボットアームの遠位端
3 3 0 が、概して 3 3 5 で図示される三次元可動範囲内の任意の点へと移動することを可
能にすることができるように構成されている。これを達成する 1 つの方法は、ジョイント
が、図 3 に図示される配置を有することである。ジョイントの他の組み合わせおよび構成
は、少なくともゾーン 3 3 5 内で、同様の動きの範囲を達成し得る。より多くのまたはよ
り少ないアーム部材があってもよい。

【 0 0 3 8 】

ロボットアーム 3 3 0 の遠位端は、取り付け部 3 1 6 を有し、取り付け部 3 1 6 によっ
て、外科手術器具 3 0 6 を取り外し可能に取り付けることができる。外科手術器具は、直
線的な剛性シャフト 3 6 1、およびシャフトの遠位端にあるエンドエフェクタ 3 6 2 を有
する。エンドエフェクタ 3 6 2 は、処置に従事するための装置、例えば、切断、把持、ま

10

20

30

40

50

たは撮像装置からなる。本明細書に記載されるように、末端ジョイント304gは、外旋ジョイントであってもよい。外科手術器具306および/または取り付け部316は、器具がロボットアームの末端ジョイント304gの回転軸と平行に直線的に延在するように構成され得る。この実施例では、器具は、ジョイント304gの回転軸と一致する軸に沿って延在する。

【0039】

ロボットアームのジョイント304eおよび304fは、ロボットアーム330の遠位端が可動範囲335内の任意の場所に保持された状態で、外科手術器具306が円錐体内の任意の方向に向けられ得るように構成されている。かかる円錐体は、概して336で図示されている。これを達成する1つの方法は、アームの末端部分が、上述のように軸が相互に配置されている一対のジョイント304eおよび304fを備えることである。実際に、ジョイント304eが外旋ジョイントであり、ジョイント304fが(本明細書に記載されるように)2つの外旋ジョイントから構成されている実施例では、このジョイント配置により、外科手術器具が球状の表面(図示せず)上で任意の方向に向けられることを可能にすることができる。他の機構も同様の結果を達成し得る。例えば、ジョイント304gは、器具がジョイント304gの軸と平行ではない方向に延在する場合、器具の姿勢に影響を与え得る。

【0040】

外科手術器具306は、ポート317を通して患者の体の中に挿入され得る。ポート317は、中空管317aを備え得る。中空管317aは、外科手術器具が挿入および除去されるとき、ならびに器具が患者の体の内で操作されるときに、患者の外部組織302を、これらの組織の破壊を限定するように、通過し得る。ポート317は、カラー317bを備え得る。カラー317bは、ポート317が患者の外部組織302を通過してあまりにも遠くに挿入されることを防止し得る。

【0041】

ロボットアーム301は、一連のモータ310a~hを備える。2つのモータによって支配される複合ジョイント304fを除き、各モータは、ロボットアームのそれぞれのジョイントの周りで回転を駆動するように配置されている。モータは、制御システム(図2に示される制御システム224など)によって制御される。制御システムは、中央コントローラ、1つ以上のアームコントローラ、および1つ以上のジョイントコントローラを備え得る。中央コントローラは、ロボット外科手術システム(例えば、1つ以上のロボットアームを含む)に対して制御を行使し得る。各ロボットアームコントローラは、ロボットアームに対して制御を行使し得る。各ジョイントコントローラは、ロボットアームの一連のジョイントのうち1つ以上のジョイントに対して制御を行使し得る。中央コントローラ、アームコントローラ、およびジョイントコントローラの各々は、プロセッサおよびメモリを備え得る。メモリは、プロセッサによって実行され得るソフトウェアコードを非一時的な方法で記憶して、プロセッサに、本明細書に記載の様式で制御信号を出力させる。他の実施例では、制御システムは、本明細書に記載の中央コントローラ、1つ以上のアームコントローラ、および1つ以上のジョイントコントローラの機能を実施するように構成されている、単一のコントローラ、一対のコントローラ、または任意の他の数のコントローラを備え得る。

【0042】

ロボットアーム301はまた、一連のセンサ307a~hおよび308a~hを備え得る。これらのセンサは、各ジョイントに、ジョイントの回転位置を検知するための1つ以上の位置センサ307a~hと、ジョイントの回転軸の周りに加えられた力またはトルクを検知するための力またはトルクセンサ308a~hと、を備え得る。複合ジョイント304fは、センサの2つのセットを有し得る。ジョイントの位置センサおよび/または力もしくはトルクセンサは、そのジョイントのモータと一体化され得る。一実施例では、各ジョイントは、モータにある第1の位置センサと、ジョイントに直接ある第2の位置センサと、を含む、2つの位置センサを備え得る。ロボットアームはまた、モータに実際に供

10

20

30

40

50

給される電流が、そのモータに対する制御システムによって要求される電流に対応することを確保するために、モータ 310 a ~ h のうちの 1 つ以上に提供される電流を測定するための 1 つ以上の電流センサを備え得る。センサの出力は、制御システムに渡され、ここで、プロセッサのための入力形成する。

【0043】

制御システムは、位置センサ 307 a ~ h および力またはトルクセンサ 308 a ~ h から官能データを受信する。位置センサにより、制御システムは、ロボットアームの現在の構成を決定することができる。例えば、制御システムは、ロボットアームの各要素（例えば、ジョイントおよびアーム部材）、ならびに外科手術器具、外科手術器具の質量、ロボットアームの前のジョイントからの外科手術器具の重心の距離、および重心と前のジョイントの位置センサの位置出力との間の関係を記憶し得る。ロボットアームの現在の構成を、他の手段によって推測することができる。この情報を使用して、制御システムは、ロボットアームの現在の構成に対するロボットアームの構成要素に対する重力の影響をモデル化し、ロボットアームの各ジョイントに対する重力による力またはトルクを推定することができる。次いで、制御システムは、各ジョイントのモータ 310 a ~ h を駆動して、重力の作用にもかかわらずロボットアームの構成が維持されるように、計算された重力に正確に対抗する力またはトルクを加えることができる。

10

【0044】

手術室スタッフのメンバー（例えば、手術室看護師）は、侵襲的医療処置の前、間、および後に、外科手術ロボットアーム 301 と相互作用することができる。かかる相互作用が行われる容易さと安全性を改善するために、制御システム（例えば、図 2 の制御システム 224）は、手術室スタッフのメンバーによって（例えば、ロボットアームのジョイントを押すことによって）ロボットアームに直接加えられた力に応答して、ロボットアーム 301 の構成を制御することができる。制御システム 224 は、力またはトルクセンサ 308 a ~ h から、外部から加えられた力またはトルクに起因する外科手術ロボットアームで検知された力またはトルクを示す官能データを受信し、受信された官能データを処理し、ロボットアームの構成が、外部から加えられた力またはトルクに準拠するように変更されるように、指令信号を外科手術ロボットアームに送信してロボットアームを駆動するように構成されている。

20

【0045】

制御システムにより、外科手術ロボットアーム 301 を、外部から加えられた力またはトルクに対するロボットアームの指令応答が異なる、いくつかの異なるモードで動作させることができる。これを達成するために、受信された官能データに対して制御システムによって実施される処理は、これらのモードの各々で異なってもよい。かかるモードの 3 つの実施例は、準拠モード、外科手術モード、および器具回収モードである。これらのモードについて、本明細書でさらに詳細に説明する。

30

【0046】

準拠モード

準拠モードでは、制御システムは、構成が外部から加えられた力またはトルクに応答して変更され得るように、外科手術ロボットアームに指令する。このようにして、手術室看護師は、ロボットアームの任意の部分を所望の位置へと押すかまたは引っ張ることができる。その部分は、ロボットアームおよびロボットアームに依存する任意の部分に対する重力の影響にもかかわらず、その所望の位置へと移動し、その位置に留まる。このモードにおけるロボットアームの挙動は、準拠挙動と呼ばれる場合がある。準拠モードは、侵襲的医療処置の前または後に（例えば、手術室のセットアップまたは掃除の間に）、手術室スタッフのメンバーによって使用され得る。本明細書にさらに記載されるように、制御システムにより、ロボットアームの特定の部分が、侵襲的医療処置中に、準拠するような挙動（compliant-like behaviour）を呈する場合もある。

40

【0047】

例えば、準拠モードを使用して、外科手術器具を患者の体のポート 317 に挿入するこ

50

とができる。つまり、準拠モードを使用して、外科手術器具のエンドエフェクタ 3 6 2 をポート 3 1 7 に挿入することができる。図 3 を参照すると、オペレータ（例えば、手術室チームのメンバー）は、ロボットアーム 3 0 1 および外科手術器具 3 0 6 の一方または両方を把持し得る。次いで、オペレータは、器具のシャフト 3 6 1 の細長い軸がポート 3 1 7 の中空管 3 1 7 a を通る通路とほぼ整列するようにロボットアーム 3 0 1 の構成を変更することによって、制御システムが応答する外部からの力またはトルクを加えることができる。次いで、オペレータは、器具をその細長い軸とほぼ平行に、ポート 3 1 7 内の通路へと移動させることによって、制御システムが応答する外部からの力（例えば、押す力もしくは引っ張る力）またはトルク（例えば、ねじれ）をロボットアームおよび/もしくは器具に加えることができる。

10

【 0 0 4 8 】

図 4 は、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、外科手術ロボットアームの構成を変更するように制御システムによって実施されるステップの第 1 のセットを示す流れ図である。制御システムは、図 4 に示されるステップのセットを複数回反復して実施するように構成され得る。つまり、制御システムは、ステップ 4 0 1、4 0 2、4 0 3、および 4 0 4 を順番に実施し、その後ステップ 4 0 1 に戻って、その順番を反復することができる。言い換えれば、図 4 は、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、外科手術ロボットアームの構成を変更するように制御システムによって実施される第 1 の制御ループを示す流れ図である。

【 0 0 4 9 】

ステップ 4 0 1 では、ロボットアーム上の 1 つ以上の力またはトルクセンサから、外部から加えられた力またはトルクに起因する外科手術ロボットアームのある部分で検知された力またはトルクを示す官能データが受信される。受信された官能データは、実際には、ロボットアームの一部分に対する重力の影響に起因する力またはトルク、ならびに外科手術ロボットアームの一部分における外部から加えられた力またはトルクに起因する力またはトルクを示し得る。受信された官能データはまた、ロボットアームの一部分における振動、慣性、および/または加速度、ならびに外科手術ロボットアームの一部分における外部から加えられた力またはトルクに起因する力またはトルクを示し得る。制御システムは、官能データをフィルタリングすることによって、ロボットアームの一部分における重力、外部からの力、ならびに振動、慣性、および/または加速度を区別することができる場合がある。例えば、アームの振動に関するトルク測定値は通常、重力および外部から加えられた力またはトルクに起因するものよりも周波数が高いため、ローパスフィルタを使用して、ロボットアームの一部分における振動を識別することができる。本明細書に記載されるように、制御システムは、ロボットアームの現在の構成に対するロボットアームの構成要素に対する重力の影響をモデル化し、かつそれによって、ロボットアームのある部分に対する重力による力またはトルクを推定することができる。したがって、官能データは最初に、ロボットアームの一部分に対する重力の影響によって引き起こされた力またはトルク、ならびに/またはロボットアームのその部分における任意の振動、慣性、および/もしくは加速度を斟酌するように調節され得る。例えば、ロボットアームの一部分に対する重力の影響によって引き起こされた力もしくはトルク、ならびに/またはロボットアームの一部分における振動、慣性、および/もしくは加速度を、官能データから減算することができる。代替的に、官能データを、外部から加えられた力またはトルクに起因する力またはトルクのみを考慮に入れるだけで、制御システムを用いて（例えば、本段落に記載されるように官能データをフィルタリングすることによって）デジタル分析することができる。

20

30

40

【 0 0 5 0 】

制御システムは、ロボットアームの一連のジョイントの各ジョイントで独立して作用する力またはトルクを考慮し得る。この場合、ロボットアームの一部分は、一連のジョイントのうちのあるジョイントである。

【 0 0 5 1 】

50

代わりに、ロボットアームの一部分が、ロボットアームに対して定義される点、または外科手術器具に対して定義される点であってもよい。ロボットアームに対して定義される点は、ロボットアーム上にあってもよく、またはロボットアーム上にはないが、ロボットアームに対して固定された空間的關係を有し得る。外科手術器具に対して定義される点は、外科手術器具上にあってもよく、または外科手術器具上にはないが、外科手術器具に対して固定された空間的關係を有し得る。例えば、点は、「リスト」であってもよい。

【0052】

ロボットアームまたは器具の定義された点における外部から加えられた力またはトルクは、ロボットアームの複数のジョイントにおける力またはトルクをもたらし得る。したがって、官能データは、定義された点における外部から加えられた力またはトルクに起因する力またはトルクを決定するように制御システムによって解かれる、複数の力またはトルクセンサからの検知された力またはトルクデータを含み得る。複数のジョイントの各々で局所的に作用する測定された力またはトルクから定義された点で結果として生じる力またはトルクを決定するために、広域的な基準系内の各ジョイントの回転軸の方向が考慮され得る。このようにして、順運動学を使用して、定義された点で作用する力またはトルクに対する、各ジョイントで測定された力またはトルクの寄与を決定することができる。制御システムが、定義された点および一連のジョイントのうち特定のジョイントで作用する力またはトルクを同時に考慮することも可能である。つまり、制御システムは、並行して、(i) 定義された点で作用する力またはトルク、および(ii) ロボットアームの一連のジョイントのうち特定のジョイントで作用する力またはトルクを考慮し得る。

【0053】

ステップ402では、外科手術ロボットアームの一部分の位置が、基準位置を使用して決定され、それによって、検知された力またはトルクが、外科手術ロボットアームの一部分を決定された位置に移動させることによって補償されることになる。つまり、位置は、外部から加えられた力またはトルクに起因する検知された力またはトルクが、その決定された位置へと外科手術ロボットアームの一部分を移動させることによって準拠され得るか、適合され得るか、または(例えば、ゼロに)低減され得るように決定される。

【0054】

基準位置は、一部分において外部からの力またはトルクが作用していない場合に、制御システムが、外科手術ロボットアームの一部分を駆動されるように構成されている位置である。例えば、基準位置は、外部からの力が加えられる前のロボットアームの一部分の位置であってもよい。基準位置は、位置センサ307a~hを使用して最初に決定され得る。代替的に、参照位置は、例えば、外科医入力装置で受信された入力によって、最初にユーザ決定され得る。その後、参照位置は、本明細書にさらに記載されるように、反復して更新され得る。

【0055】

基準位置を使用して外科手術ロボットアームの一部分の位置を決定することは、基準位置および決定された位置に依存する位置項を有する質量-ばね-ダンパモデルを満たす位置を決定することを含み得る。実施例1および2は、ステップ402がどのように実施され得るかを図示する詳細な実施例である。

【0056】

実施例1

実施例1では、ロボットアームの一部分は、ロボットアームの一連のジョイントのうちジョイントjであり、官能データは、外部から加えられた力またはトルクに起因するそのジョイントにおける検知されたトルク τ_j を示す。ジョイントの角度位置 θ_j は、基準位置 $\theta_{j,ref}$ を使用して決定される。角度位置 θ_j は、以下を満たす位置 θ_j として決定され、

【数1】

10

20

30

40

50

$$M\ddot{\theta}_j + D\dot{\theta}_j + K(\theta_j - \theta_{j, \text{ref}}) = -\tau_j \quad (\text{方程式 1})$$

式中、M、D、およびKは、定数である。例えば、Mは、質量定数であってもよく、Dは、減衰定数であってもよく、Kは、ばね定数であってもよい。K ($\theta_j - \theta_{j, \text{ref}}$) は、決定された位置および基準位置に依存する位置項である。D $\dot{\theta}_j$ は、決定された位置の時間に対する第1の導関数に依存する速度項である。M $\ddot{\theta}_j$ は、決定された位置の時間に対する第2の導関数に依存する加速度項である。速度 $\dot{\theta}_j$ は、ジョイントjの連続する角度位置間の差をサンプリングレートで除算することによって近似され得る。加速度 $\ddot{\theta}_j$ について同様の近似がなされてもよい。

10

【 0 0 5 7 】

一連のジョイントの各ジョイントに対する角度位置 θ_j は、実施例 1 に従って独立して決定され得る。

20

【 0 0 5 8 】

実施例 2

実施例 2 では、ロボットアームの一部分は、定義された点 p であり、官能データは、外部から加えられた力またはトルクに起因する、定義された点においてある方向に作用する検知された力 f_p を示す。方向は、検知された力が定義される方向である。方向は、ロボットアームの幾何学的特徴に対応する必要はない。点の位置 S_p は、基準位置 $S_{p, \text{ref}}$ を使用して決定される。位置 S_p は、以下を満たす位置 S_p として決定され、

【 数 2 】

$$M\ddot{S}_p + D\dot{S}_p + K(S_p - S_{p, \text{ref}}) = -f_p \quad (\text{方程式 2})$$

30

式中、M、D、およびKは、定数である。例えば、Mは、質量定数であってもよく、Dは、減衰定数であってもよく、Kは、ばね定数であってもよい。K ($S_p - S_{p, \text{ref}}$) は、決定された位置および基準位置に依存する位置項である。D \dot{S}_p は、決定された位置の時間に対する第1の導関数に依存する速度項である。M \ddot{S}_p は、決定された位置の時間に対する第2の導関数に依存する加速度項である。速度 \dot{S}_p は、ジョイントjの連続する角度位置間の差をサンプリングレートで除算することによって近似され得る。加速度 \ddot{S}_p について同様の近似がなされてもよい。

40

【 0 0 5 9 】

図 4 に戻ると、ステップ 4 0 3 では、指令信号を外科手術ロボットアームに送信して、決定された位置へと外科手術ロボットアームの一部分を駆動する。制御システムは、逆運動学を使用して、決定された位置に位置付けられる外科手術ロボットの一部分に必要な口

50

ロボットアームの一連のジョイントのジョイントの角度位置を決定することができる。制御システムは、外科手術ロボットアームの一部を決定された位置へと駆動するように、モータ310a~hのうちの1つ以上を制御し得る。このようにして、臨床スタッフのメンバーは、実際には、ロボットアームのモータが運動を駆動している場合に、メンバーらが加えている力またはトルクにตอบสนองしてロボットアームが自由に動いていると感じる場合がある。

【0060】

実施例1および2に戻ると、定数M、D、およびKは、ロボットアームと相互作用している手術室スタッフのメンバーに対する、ロボットアームの「感覚」に影響を与え得る。質量定数Mは、慣性項であり、制御システムが、力またはトルクにตอบสนองして、ロボットアームの一部をどの程度容易に加速/減速させるかを決定し得る。減衰定数Dは、制御システムが、ロボットアームの一部を変化する力またはトルクにどの程度容易に反応させるかを決定し得る。例えば、減衰定数Dは、制御システムが、臨床チームのメンバーによって加えられる押す力またはねじれなどのより低い周波数の力またはトルクとは対照的に、振動などの高い周波数の力またはトルクにตอบสนองして、ロボットアームを容易に移動させないように設定され得る。例えば、振動は、摩擦によって生じ得るモータ振動によって引き起こされ得る。制御システムが、これらの振動によって引き起こされた高い周波数の力またはトルクにตอบสนองして、ロボットアームの構成を変化させることは望ましくないであろう。したがって、定数MおよびDは、質量-ばね-ダンパモデルが、かかる高い周波数の力またはトルクをフィルタリングするデジタルフィルタとして作用するように選択され得る。ばね定数Kは、ロボットアームの一部の位置の変化を引き起こすために制御システムに必要な力またはトルクの量を決定し得る。定数M、D、およびKは、あらかじめ決定され、制御システムによって入力として記憶され得る。定数M、D、およびKは、例えば、手術室スタッフのメンバーが、メンバーらの個人的な好みに応じて、ロボットアームの「感覚」を変更することができるように、ユーザ構成可能であってもよい。異なる定数M、D、およびKを、異なるモードで使用するよう設定することができる。

【0061】

ステップ404では、基準位置と決定された位置との間の差が閾値変位よりも大きい場合、基準位置が更新される。基準位置と決定された位置との間の差が閾値変位よりも小さい場合、制御システムは、次のまたは後続の反復の間、制御ループの現在の反復のステップ402で使用された基準位置を維持する。本明細書に記載されるように、基準位置は、一部分において外部からの力が作用していない場合に、制御システムが、外科手術ロボットアームの一部を駆動されるように構成されている位置である。したがって、このようにして、制御システムは、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、ロボットアームを「弾性的に」または「可塑的に」を挙動させ得る。弾性的な挙動とは、ロボットアームが、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、ある位置から変位するが、外部から加えられた力またはトルクが加えられなくなると、その位置に戻ることを意味する。弾性的な挙動は、基準位置が制御ループの連続的な反復で更新されないときに発生する。可塑的な挙動とは、ロボットアームが、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、ある位置から変位し、外部から加えられた力またはトルクが加えられなくなっても、その位置を保つことを意味する。可塑的な挙動は、基準位置が制御ループの連続的な反復で更新されたときに発生する。

【0062】

閾値変位は、あらかじめ決定され、制御システムによって入力として記憶され得る。閾値変位の大きさは、ロボットアームと相互作用している手術室スタッフのメンバーに対する、ロボットアームの「感覚」に影響を与え得る。つまり、閾値変位の大きさは、制御システムが、外部から加えられたトルクまたは力の量にตอบสนองして、ロボットアームを「弾性的に」または「塑性的に」挙動させるかどうかの決定要因であってもよい。異なる閾値変位を、異なるモードで使用するよう設定することができる。閾値変位は、例えば、手術室スタッフのメンバーが、メンバーらの個人的な好みに応じて、ロボットアームの「感覚

10

20

30

40

50

」を変更することができるように、ユーザ構成可能であってもよい。

【0063】

一実施例では、実施例1を再び参照すると、閾値変位は $displacement$ によって表され得る。基準位置 j, ref は、以下の条件

【数3】

$$\|\theta_{j,ref} - \theta_j\| > \theta_{displacement}$$

にかなう場合に更新され得る。基準位置 j, ref は、 $j \pm displacement$ に等しくなるように更新され得る。このようにして、ロボットアームは、検知されたトルクが閾値期間にわたって $K \times displacement$ を超えると、可塑的に挙動し得る。 $K \times displacement$ は、 K および $displacement$ の両方が定数であるため、トルク定数である。したがって、ロボットアームは、検知されたトルクが閾値期間にわたってトルク定数を超えると、可塑的に挙動し得る。閾値期間は、ロボットアームが決定された位置にどの程度迅速に到達するか（例えば、制御システムがロボットアームに移動するように指令する、本明細書に記載の質量 - ばね - ダンパモデルの速度項および加速度項にそれぞれ依存し得る速度および加速度）、および制御システムが基準位置を更新するかどうかをどの程度頻繁に決定するかに依存する。例えば、制御システムは、基準位置が 5 kHz の周波数で更新されるべきかどうかを評価し得る。周波数は、あらかじめ決定され、制御システムによって入力として記憶され得る。周波数は、ロボットアームと相互作用している手術室スタッフのメンバーに対する、ロボットアームの「感覚」に影響を与え得る。異なる周波数を、異なるモードで使用するよう設定することができる。

【0064】

図5は、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、外科手術ロボットアームの構成を変更するように制御システムによって実施されるステップの第2のセットを示す流れ図である。図5を参照して説明されるステップのセットは、図4を参照して説明されるステップのセットと組み合わせて使用され得る。図5を参照して説明されるステップのセットはまた、図4を参照して説明されるステップのセットとは独立して使用され得る。

【0065】

制御システムは、図5に示されるステップのセットを複数回反復して実施するように構成され得る。つまり、制御システムは、ステップ501、502、および503を順番に実施し、その後ステップ501に戻って、その順番を反復することができる。言い換えれば、図5は、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、外科手術ロボットアームの構成を変更するように制御システムによって実施される第2の制御ループを示す流れ図である。

【0066】

図5を参照して説明されるステップのセットは、ロボットアームが、1つ以上のトルクセンサ308a~hを備え、各トルクセンサが、ロボットアームの一連のジョイントのうちのあるジョイントのトルクを検知するように構成されている場合に、使用され得る。特定のトルクセンサによって提供される官能データには、ノイズなどの干渉が含まれ得る。つまり、官能データは、対象となるものの外部からの要因による、いくつかの変動的な値、外れ値、および/または誤った値を含み得る。したがって、（例えば、図4のステップ402において）トルクセンサによって出力された未加工の官能データを使用することが可能であるが、それに含まれるノイズの量を低減するために、官能データをさらに処理することが好ましい。

【0067】

ステップ501では、制御システムは、1つ以上のトルクセンサから、外部から加えられた力またはトルクに起因する外科手術ロボットアームの検知されたトルク状態を示す官能データを受信する。本明細書に記載されるように、受信された官能データは、実際には

、ロボットアームの一部分に対する重力の影響に起因するトルク、ならびに／またはロボットアームのその部分における任意の振動、慣性、および／もしくは加速度、加えて外科手術ロボットアームの一部分における外部から加えられた力またはトルクに起因するトルクも示し得る。したがって、官能データは最初に、ロボットアームの一部分に対する重力の影響によって引き起こされたトルク、ならびに／またはロボットアームのその部分における任意の振動、慣性、および／もしくは加速度に対して調節され得る。

【 0 0 6 8 】

ステップ 5 0 2 では、検知されたトルク状態が、候補のトルク状態のセットのうちの選択されたトルク状態に写像される。候補のトルク状態のセットは、ロボットアームに対する許容可能なトルク状態のセットであってもよい。候補のトルク状態のセットは、関数でエンコードされ得る。候補のトルク状態のセットは、あらかじめ決定され得る。

10

【 0 0 6 9 】

図 6 は、検知されたトルク状態 6 0 2 を、候補のトルク状態 6 0 1 のセットのうちの選択されたトルク状態 6 0 1 に二次元で写像することを示す概略図 6 0 0 である。図 6 では、候補のトルク状態のセットは、直線的な関数 6 0 1 でエンコードされている。検知されたトルク状態 6 0 2 は、直線的な関数 6 0 1 の解ではなく、例えば、関数が写像される状態のセットの外側にある。検知されたトルク状態 6 0 2 は、その直線的な関数 6 0 1 に対する解である最も近いトルク状態、この場合では、選択されたトルク状態 6 0 3 に写像または投影される。選択されたトルク状態 6 0 3 は、検知されたトルク状態 6 0 2 に対して最も低いユークリッド距離または最小二乗距離を有する候補のトルク状態のセットのトルク状態であってもよい。選択されたトルク状態 6 0 3 は、候補のトルク状態のセットのトルク状態が、検知されたトルク状態 6 0 2 に対して最も低いユークリッド距離または最小二乗距離を有する近似値を反復して精密化することによって決定され得る。

20

【 0 0 7 0 】

検知されたトルク状態は、1 つ以上のトルクセンサの各々から受信されたトルクデータを含む列ベクトルによって表され得る。トルク状態は、任意の他の適切な方法で表され得る。候補のトルク状態のセットの各トルク状態は、それぞれの 1 つ以上の力に対応し得る。各トルク状態は、各トルク状態のそれぞれの 1 つ以上の力とヤコビ行列との積であってもよい。トルク状態は、ジョイント空間で表現され得る。力は、デカルト座標で表現され得る。ヤコビ行列は、ジョイント空間の変化をデカルト座標の変化に変換し得る。候補のトルク状態のセットの各トルク状態は、ヤコビ行列の像の要素であってもよい。行列の像は、その行列を写像することができる値のセットである。

30

【 0 0 7 1 】

実施例 3 は、ステップ 5 0 2 がどのように実施され得るかを図示する詳細な実施例である。

【 0 0 7 2 】

【 数 4 】

40

50

実施例 3

実施例 3 では、単一の点 p が、ロボットアームに対して、または器具に対して定義される。 p で加えられる外部からの力 f については、正味ジョイントトルク τ に仮想的作業の原則を適用することによって力 f を推理することが可能である。正味ジョイントトルク τ は、トルク状態と呼ばれる場合があり、1 つ以上のトルクセンサの各々から受信されたトルクデータを含む列ベクトルによって表され得る。この原理によれば、点 p をある距離だけ移動させる場合、 $\delta \hat{f}$ は、一連のジョイントのうちのジョイント j を角度 ϑ_j だけ移動させる

10

ることを必要とし、次いで、力が \hat{f} の方向に p で加えられた場合、ジョイント j によって

見られるトルク τ_j は、 $\frac{\delta}{\vartheta_j}$ に比例する。これは、 $\tau_j = \|f\| \frac{\delta}{\vartheta_j}$ によって表現され得る。この情報は、以下に従ってヤコビアン J_p でエンコードされ得る。

$$\tau = \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \vdots \\ \tau_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial p_x}{\partial \theta_1} & \dots & \frac{\partial p_z}{\partial \theta_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial p_x}{\partial \theta_n} & \dots & \frac{\partial p_z}{\partial \theta_n} \end{pmatrix} f = J_p f$$

20

(方程式 3)

【 0 0 7 3 】

ヤコビアン J_p は、正味ジョイント角度 $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ の小さな変化が点 p を移動させる程度を表す。ロボットアームの一連のジョイントのジョイントの各々が考慮され得る。つまり、列ベクトルは、ジョイント 3 0 4 a ~ g の各々でトルクセンサから受信されたトルクデータを含み得る。代替的に、ロボットアームの一連のジョイントのジョイントのサブセットが考慮され得る。例えば、定義された点 p に隣接するジョイントのみ、または定義された点のいずれかの側にある任意の数のジョイントが考慮され得る。

30

【 0 0 7 4 】

【 数 5 】

本明細書に記載されるように、検知されたトルク状態 τ を示す官能データには、多くの場合、ノイズ干渉が含まれる。したがって、 $\tau \notin \text{Im}(J_p)$ に対して、いくつかの検知されたトルク状態がある。つまり、検知されたトルク状態 τ については、ヤコビ行列 J_p の像の要

40

素ではない。言い換えれば、1 つ以上の検知されたトルク状態 τ については、 $f = J_p^{-1} \tau$ に対する解である力 f はない。

【 0 0 7 5 】

【 数 6 】

50

したがって、本明細書に記載されるように、検知されたトルク状態 τ は、候補のトルク状態のセットの選択されたトルク状態 $\tilde{\tau}$ に写像される。選択されたトルク状態 $\tilde{\tau}$ は、ヤコビ行列 J_p の像の要素である。これは、 $\tilde{\tau} \in \text{Im}(J_p)$ として表現され得る。選択されたトルク状態 $\tilde{\tau}$ は、検知されたトルク状態 τ に対して最も低いユークリッド距離または最小二乗距離を有する候補のトルク状態のセットのトルク状態であってもよい。

10

【 0 0 7 6 】

【 数 7 】

図5に戻ると、ステップ503で、制御システムは、ロボットアームの構成が、選択されたトルク状態（例えば、 $\tilde{\tau}$ ）に準拠するか、当該トルク状態を補償するか、または当該トルク状態に適合するように変更されるように、指令信号を外科手術ロボットアームに送信してロボットアームを駆動する。例えば、選択されたトルク状態 $\tilde{\tau}_n$ の各ジョイントに関するトルクデータ $\tilde{\tau}$ は、図4および実施例1を参照して説明される質量-ばね-ダンパモデルへの入力として使用され得る。

20

【 0 0 7 7 】

【 数 8 】

ステップ502および実施例3に戻ると、任意選択で、制御システムは、選択されたトルク状態に対応する力を決定し得る。例えば、選択されたトルク状態 $\tilde{\tau}$ を決定すると、制御システムは、 $f = J_p^{-1} \tilde{\tau}$ を解くことによって、対応する力 f を決定し得る。力 f は、外部から加えられた力またはトルクの結果として、定義された点で作用する力を示し得、力は、点に対して定義された方向 \hat{f} に対して定義される。多くの場合、ヤコビアン J_p は、反転可能ではない。これは、考慮されるジョイントの数 n が、多くの場合、デカルト軸（例えば、 x 、 y 、 z ）の数とは異なり、かつそのため、ヤコビアンが、この場合、正方形ではないことになるためである。したがって、 $f = J_p^{-1} \tilde{\tau}$ を解くために、ヤコビアンが反転可能ではない場合に $\tilde{\tau}$ を決定すると、右逆関数を使用することができる。反転可能ではない行列の反転を近似するための他の解も存在する。

30

代替的に、ヤコビ行列のムーア-ペンローズの擬似逆行列を使用して、1つのステップで、検知されたトルク状態を選択されたトルク状態に写像し、選択されたトルク状態に対応する力を決定することができる。例えば、力 f は、検知されたトルク状態 τ に依存して、以下に従って決定され得、

40

$$f = J_p^+ \tau \quad (\text{方程式 4})$$

式中、 J_p^+ は、 J_p のムーア-ペンローズの擬似逆行列である。

50

【 0 0 7 8 】

制御システムは、ロボットアームの構成が、決定された力 f に準拠するか、当該力を補償するか、または当該力に適合するように変更されるように、指令信号を外科手術ロボットアームに送信してロボットアームを駆動することができる。例えば、力 f は、図 4 および実施例 2 を参照して説明される質量 - ばね - ダンパモデルへの入力として使用され得る。

【 0 0 7 9 】

ステップ 7 0 2 に戻ると、実施例 3 のように、単一の点 p で作用する力を決定するのではなく、制御システムは、代替的に、ロボットアームの n 個の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力であって、式中、 $n > 1$ である、少なくとも 1 つの力を決定することができる。実施例 4 は、この方法でステップ 5 0 2 がどのように実施され得るかを図示する詳細な実施例である。

10

【 0 0 8 0 】

【 数 9 】

20

30

40

50

実施例 4

実施例 4 では、ロボットアームに対して 2 つの点が定義されている。第 1 の点は、「リスト」（例えば、ジョイント 304 e ~ g の軸が交差する点）であり、第 2 の点は、「エルボ」（例えば、ジョイント 304 d に対して定義される点）である。エルボで加えられる外部からの力 f_{elbow} については、正味ジョイントトルクに仮想的作業の原則を適用することによって力 f_{elbow} を推理することが可能である。正味ジョイントトルクは、トルク状態と呼ばれる場合があり、1 つ以上のトルクセンサの各々から受信されたトルクデータを含む列ベクトルによって表され得る。この原理によれば、エルボをある距離だけ移動

させる場合、 $\delta \widehat{f}_{elbow}$ は、一連のジョイントのうちのジョイント j を角度 θ_j だけ移動させる

ことを必要とし、次いで、力が \widehat{f}_{elbow} の方向にエルボで加えられた場合、ジョイント τ_j に

よって見られるトルク τ_j は、 $\frac{\delta}{\theta_j}$ に比例する。これは、 $\tau_j = \|f_{elbow}\| \frac{\delta}{\theta_j}$ によって表現され得る。実施例 4 では、リストに加えられる力は、デカルト方向 x 、 y 、および z の 3 つの方向に関して考慮される。 x 、 y 、および z 方向は、広域的な基準系において定義され得る。代替的に、 x 、 y 、および z 方向は、局所的なリストの基準系において定義され得る。例えば、 z 方向は、器具の方向と同じ方向であってもよく、 x および y は、その z 方向に対して、および互いに対して直角をなすように定義され得る。この実施例では、リストジ

ョイントが移動するにつれて、 x 、 y 、および z 方向が変化し得る。力 f_{wrist_x} 、 f_{wrist_y} 、

および f_{wrist_z} は、 f_{elbow} について本明細書に説明されるのと同じ方法で対処される。

この情報は、以下に従ってヤコビアン J_p でエンコードされ得る。

$$\begin{pmatrix} f_{elbow} \\ f_{wrist_x} \\ f_{wrist_y} \\ f_{wrist_z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial elbow}{\partial \theta_1} & \frac{\partial wrist_x}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial wrist_z}{\partial \theta_1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial elbow}{\partial \theta_n} & \frac{\partial wrist_x}{\partial \theta_n} & \cdots & \frac{\partial wrist_z}{\partial \theta_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \vdots \\ \tau_n \end{pmatrix}$$

(方程式 5)

【0081】

ヤコビアンは、正味ジョイント角度 $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ の小さな変化が n 個の点の各々の位置を変化させる程度を表す。実施例 4 では、エルボおよびリストといった 2 つの点を考慮するが、任意の数の点を考慮することが可能である。例えば、器具先端に対して点を定義することができる。

【0082】

実施例 4 では、リストに加えられる力は、デカルト方向 x 、 y 、および z の 3 つの方向に関して考慮される。ある点で作用する力は、任意の数の方向に関して考慮され得る。

【0083】

ロボットアームの一連のジョイントのジョイントの各々が考慮され得る。代替的に、口

10

20

30

40

50

ロボットアームの一連のジョイントのジョイントのサブセットが考慮され得る。例えば、各点（例えば、リストおよびエルボ）に隣接するジョイントのみ、またはこれらの点のいずれかの側にある任意の数のジョイントが考慮され得る。各点に対して、ジョイントの異なるサブセットが考慮され得る。実際には、これは、ゼロとは考慮されないジョイントに対応するヤコビアンへの入力を設定することによって達成され得る。

【 0 0 8 4 】

実施例 4 では、検知されたトルク状態は、実施例 3 を参照して説明されるのと同じ方法で、選択されたトルク状態に写像され得る。つまり、検知されたトルク状態は、候補のトルク状態のセットのうちの選択されたトルク状態に写像される。選択されたトルク状態は、方程式 5 に示されるヤコビ行列の像の要素である。選択されたトルク状態は、検知されたトルク状態に対して最も低いユークリッド距離または最小二乗距離を有する候補のトルク状態のセットのトルク状態であってもよい。

10

【 0 0 8 5 】

【 数 1 0 】

検知されたトルク状態を選択されたトルク状態に写像すると、ステップ 5 0 3 で、制御システムは、ロボットアームの構成が、選択されたトルク状態に準拠するか、当該トルク状態を補償するか、または当該トルク状態に適合するように変更されるように、指令信号を外科手術ロボットアームに送信してロボットアームを駆動する。例えば、選択されたト

20

ルク状態 $\tilde{\tau}$ の各ジョイントに関するトルクデータ $\tilde{\tau}_n$ は、図 4 および実施例 1 を参照して説明される質量-ばね-ダンパモデルへの入力として使用され得る。

【 0 0 8 6 】

【 数 1 1 】

30

40

50

任意選択で、実施例 4 では、各点で作用する少なくとも 1 つの力は、選択されたトルク状態に対応するこれらの力を決定することによって決定され得る。実施例 4 では、エルボで作用する 1 つの力 f_{elbow} 、ならびにリストで作用する 3 つの力 f_{wrist_x} 、 f_{wrist_y} 、および f_{wrist_z} が決定される。これは、実施例 3 を参照して説明されるのと同様の方法で達成され得る。つまり、検知されたトルク状態を選択されたトルク状態に写像すると、これは、ヤコビ行列が反転可能である場合に、単に方程式 5 を再配置することによって、またはヤコビアンが反転可能ではない場合に、右逆行列などの関数を使用することによって、達成され得る。代替的に、ヤコビ行列のムーア-ペンローズの擬似逆行列を使用して、1 つのステップで、検知されたトルク状態を選択されたトルク状態に写像し、選択されたトルク状態に対応する複数の力 f_{elbow} 、 f_{wrist_x} 、 f_{wrist_y} 、および f_{wrist_z} を決定することができる。

次いで、制御システムは、ロボットアームの構成が、決定された力の各々に準拠するか、当該力を補償するか、または当該力に適合するように変更されるように、指令信号を外科手術ロボットアームに送信してロボットアームを駆動することができる。例えば、力 f_{elbow} 、 f_{wrist_x} 、 f_{wrist_y} 、および f_{wrist_z} は、図 4 および実施例 2 を参照して説明される質量-ばね-ダンパモデルへの入力として使用され得る。

【 0 0 8 7 】

任意選択で、ステップ 5 0 1 でロボットアームのトルク状態を示す官能データを受信した後、制御システムは、ロボットアームの現在の構成の推定値に依存して、ステップ 5 0 2 および 5 0 3 で外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される外科手術ロボットアームの構成を、実施例 3 に従って決定されたロボットアームの単一の点で作用する力、もしくは実施例 4) に従って決定されたロボットアームの n 個の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力に従って、または実施例 3 に従って決定されたロボットアームの単一の点で作用する力と、実施例 4 に従って決定されたロボットアームの n 個の点の同じ点で作用する力との重み付けされた組み合わせを使用することによって、制御するかどうかを決定し得る。

【 0 0 8 8 】

例えば、実施例 4 で使用されるヤコビ行列が、一連のジョイントのジョイントのサブセット（複数の定義された点に隣接するものなど）のみにおいてトルクセンサから受信される官能データを考慮する場合、実施例 4 を参照して説明されるアプローチがロボットアームの特定の部分で加えられた力またはトルクを解き得る精度は低減する。例えば、外部からの力またはトルクが実施例 4 を参照して説明されるアプローチを使用して正確に解くことができないロボットアームの特定の部分に加えられることが予想されるモードで制御システムが動作している場合、制御システムは、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される外科手術ロボットアームの構成を、（実施例 3 を参照して説明されるように）ロボットアームの単一の点で作用する力に従って、かつ全てのトルクセンサから受信された官能データを考慮して、決定し得る。

【 0 0 8 9 】

別の実施例では、ロボットアームの構成は、複数の定義された点において考慮される方

向のうちの2つ以上（例えば、実施例4では、エルボ304dで考慮される方向、およびリストジョイント304e~gで考慮されるx、y、またはz方向のうちの1つ）が整列するようなものであってもよい。これは、ロボットアームの特異な構成と呼ばれる場合がある。ロボットアームが特異な構成をとる場合、実施例3および4を参照して説明されるアプローチのいずれかが、ある点（例えば、エルボなど）で作用する加えられた力またはトルクを解くことができる精度は低減する。したがって、このシナリオでは、制御システムは、外科手術ロボットアームの構成を制御するために使用されることになる、エルボで作用する力を決定するために、実施例3および4を参照して説明されるアプローチの各々を使用してロボットアームのある点（例えば、エルボ）で作用する力を推定し、これらの決定された力の間を補間することができる。例えば、方程式6を使用して、実施例3および4を参照して説明されるアプローチの各々を使用して決定された力の間を補間することができる。

10

【数12】

$$f_{\text{elbow}} = (1 - \beta) f_{\text{elbow}}^{\text{Example 3}} + \beta f_{\text{elbow}}^{\text{Example 4}}$$

(方程式6)

20

【0090】

式中、 β は、正味ジョイント角度の小さな変化が複数の点の各々の位置を変化させる程度を表すヤコビ行列の行列式（例えば、方程式5のヤコビアン）によって変化する重み付け値である。このヤコビ行列の行列式は、ロボットアームの現在の構成の推定値を提供し得る。例えば、このヤコビアンの行列式が閾値（例えば、ゼロに近い）を下回る場合、制御システムは、実施例3を参照して説明されるアプローチを使用して、その点で作用していると決定された力により大きな重みを加え得る。このヤコビアンの行列式が閾値（例えば、ゼロから遠い）を上回る場合、制御システムは、実施例4を参照して説明されるアプローチを使用して、その点で作用していると決定された力により大きな重みを加え得る。

【0091】

ロボットアームが特異な構成をとる場合、制御システムは、方程式6に従って決定された力の間を補間する前に、実施例3および4を参照して説明されるアプローチの各々を使用して、ロボットアームの一連のジョイントのジョイントのより小さなサブセットを考慮するようにさらに構成され得る。考慮されるジョイントのサブセットは、ロボットアームの構成の特異性の性質、および力が解かれる点（例えば、その点の近くのジョイント）に依存し得る。

30

【0092】

任意選択で、制御システムは、1つ以上のトルクセンサが他のセンサよりも大きなノイズ干渉を経験すると決定し得る。このシナリオでは、制御システムは、より少ないノイズ干渉を経験すると決定されたセンサから受信された官能データに、より多くの重要性を割り当てることができる。これを達成するために、制御システムは、各トルクセンサから受信された官能データに重み付け値 w_1, \dots, w_n を加えることができる。例えば、実施例3または4のいずれかで説明される逆ヤコビ行列は、トルク状態の値の各々に対応する重みを有する対角行列によって重み付けされ得る。つまり、各重み付け値 w_n は、官能データ τ_n を提供するトルクセンサが関連付けられているジョイント j_n の角度 θ_n の変化に關する、逆ヤコビ行列の項に関連付けられ得る。ムーア-ペンローズの擬似逆行列を使用して、1つのステップで、検知されたトルク状態を選択されたトルク状態に写像し、選択されたトルク状態に対応する力を決定する実施例では、各トルクセンサから受信された官能データに加えられる重みをエンコードする対角重み付け行列が、ヤコビ行列のムーア-ペンローズの擬似逆行列内に統合され得る。制御システムは、

40

50

【数 1 3】

$$\sum_j \alpha_j^2 (\tau_j - \tilde{\tau}_j)^2$$

の値が τ_1, \dots, τ_n に対して最小限になるように、各トルクセンサに加えられる重要性を決定することができ、式中、 α_n は、 n 番目のトルクセンサから受信された官能データに加えられる重み付け値である。

【0093】

外科手術モード

侵襲的処置の間、外科手術ロボットアームは、外科手術モードで動作し得る。外科手術モードでは、外科手術器具は患者の体内にある。制御システムは、リモート外科医コンソール（図2に示されるリモート外科医コンソール220など）で受信された入力にตอบสนองして、構成を変更することができるように、外科手術ロボットアームに指令する。外科医は、例えば、1つ以上の外科医入力装置223を介して、リモートコンソール220に入力を提供し得る。

【0094】

外科手術モードで動作中の場合、制御システムにより、ロボットアームの特定の部分が、図4および5図を参照して説明されるものなどの、準拠するような挙動を呈することを引き起こすことができる。例えば、エルボジョイント304dの構成は、器具306の位置および向きが影響を受けない限り、本明細書に記載の方法で外部からの力にตอบสนองして変更することができる場合がある。ロボットアームが外科手術モードで動作している間に、かかる準拠するような挙動を可能にすることにより、例えば、手術室スタッフのメンバーが、処置中に患者にアクセスすることができるように、ロボットアームのエルボを移動させることが可能になる。かかる準拠するような挙動はまた、例えば、手術室スタッフのメンバーが外科手術ロボットアームに「衝突」した場合に、ロボットアームの構成を変更することを可能にする、有益な安全機能であってもよい。

【0095】

かかる準拠するような挙動を実装するために、制御システムは、ロボットの1つ以上の部分（例えば、リストジョイント304e～gのセット）に対して許容された面積または体積を定義することができ、それにより、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองするこれらの部分の運動は、許容された面積または体積内に制限される。許容された面積または体積は、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองする当該面積または体積内の運動が、器具306の位置および向きに影響を与えないように定義される。

【0096】

図4のステップ401を再び参照すると、外科手術モードでは、受信された官能データは、ロボットアームの一部分に対する重力の影響に起因する力またはトルク、ロボットアームのその部分における任意の振動、慣性、および/または加速度、外科手術ロボットアームの一部分における外部から加えられた力またはトルクに起因する力またはトルク、ならびにリモート外科医コンソールで受信された入力にตอบสนองして、制御システムによって駆動されるロボットアームに起因する、外科手術ロボットアームの一部分におけるさらなる力またはトルクを示し得る。したがって、官能データは最初に、ロボットアームの一部分に対する重力の影響によって引き起こされた力またはトルク、ならびに/またはロボットアームのその部分における任意の振動、慣性、および/もしくは加速度、ならびに/またはリモート外科医コンソールで受信された入力にตอบสนองして、ロボットアームを駆動するモータによって引き起こされたロボットアームの一部分における力またはトルクを斟酌するように調節され得る。例えば、ロボットアームの一部分に対する重力の影響によって引き起こされた力またはトルク、ならびにリモート外科医コンソールで受信された入力にตอบสนองして、ロボットアームを駆動するモータによって引き起こされた力またはトルクは、官能データから減算され得る。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 7 】

器具回収モード

器具回収モードは、患者の体から器具 3 0 6 を回収するために使用され得る。侵襲的処置が完了した後に、患者の体から器具を回収することが望ましい場合がある。処置中に患者の体から器具を回収することが望ましい場合もある。例えば、侵襲的処置中に外科手術ロボットアームに取り付けられた器具を変更または交換することが望ましい場合がある。つまり、異なる能力を有する異なる器具を使用するため、器具を変更することが望ましい場合があるか、またはロボットアームに取り付けられた器具に欠陥がある場合に器具を変更することが望ましい場合がある。

【 0 0 9 8 】

器具回収モードでは、制御システムにより、ロボットアーム 3 0 1 が、図 4 および 5 図を参照して説明されるものなどの、準拠するような挙動を呈することを引き起こすことができる。制御システムにより、かかる準拠するような挙動を可能にすることができ、その結果、手術室スタッフのメンバーは、患者の体から器具を回収することができる。制御システムにより、ロボットアームの構成を、器具 3 0 6 が器具の長手方向軸と平行な軸に沿って患者の体から回収されることを可能にするように、外部から加えられた力またはトルク（例えば、手術室スタッフのメンバーによって加えられた手動の押す力または引っ張る力）にตอบสนองして変更させることができる。図 3 を参照すると、器具 3 0 6 の長手方向軸は、器具シャフト 3 6 1 と同一軸であってもよい。つまり、器具回収モードでは、制御システムは、ロボットアームの構成を、外部からの力にตอบสนองして変更させ得るが、外科手術器具がその長手方向軸に平行な方向および/または同一軸の方向に直線的にのみ移動し得るようにロボットアームの動きの自由度を制限し得る。器具 3 0 6 は、器具が回収されるときに患者の周囲組織への損傷または破壊を最小化または無効にするように、器具の長手方向軸と平行な軸に沿って患者の体から回収される。

【 0 0 9 9 】

図 7 は、器具回収モードにおいて、外部から加えられた力にตอบสนองして、外科手術ロボットアームの構成を変更するように制御システムによって実施されるステップのセットを示す流れ図である。制御システムは、図 7 に示されるステップのセットを複数回反復して実施するように構成され得る。つまり、制御システムは、ステップ 7 0 1、7 0 2、および 7 0 3 を順番に実施し、その後ステップ 7 0 1 に戻って、その順番を反復することができる。言い換えれば、図 7 は、器具回収モードにおいて、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、外科手術ロボットアームの構成を変更するように制御システムによって実施される制御ループを示す流れ図である。

【 0 1 0 0 】

器具回収モードを初期化すると、制御システムは、ロボットアームの一連のジョイントのうちの 1 つ以上のジョイントの回転位置を示す位置センサ 3 0 7 a ~ h のうちの 1 つ以上から官能データを受信し得る。その官能データを使用して、制御システムは、ロボットアームまたは器具のある点の位置、および定義された点と交差する外科手術器具の長手方向軸と平行な方向を決定し得る。点は、ロボットアームの遠位端に対して、または外科手術器具に対して定義され得る。

【 0 1 0 1 】

ステップ 7 0 1 では、制御システムは、1 つ以上の力またはトルクセンサから、外部から加えられた力またはトルクに起因する、定義された点で検知された力またはトルクを示す官能データを受信する。本明細書に記載されるように、受信された官能データは、実際には、定義された点に対する重力の影響に起因する力またはトルク、ならびに/または定義された点における任意の振動、慣性、および/もしくは加速度、加えて定義された点における外部から加えられた力またはトルクに起因する力またはトルクも示し得る。したがって、官能データは最初に、ロボットアームの重力の影響によって引き起こされた力またはトルク、ならびに/またはロボットアームのその部分における任意の振動、慣性、および/もしくは加速度に対して調節され得る。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 2 】

ステップ 7 0 2 では、制御システムは、検知された力またはトルクの成分が、取り付け部に取り付けられた外科手術器具の長手方向軸に平行な方向に作用すると決定するように、検知された力またはトルクを解く。

【 0 1 0 3 】

器具が、ジョイント 3 0 4 g の回転軸と一致する軸に沿って延在する実施例では、制御システムは、官能データを使用して、加えられた外部からの力が器具の長手方向軸と一致する（ひいては、長手方向軸と本質的に平行でもある）かどうかを決定することができる。器具が、ロボットアームの末端ジョイント 3 0 4 g の回転軸と平行に直線的に延在する（ただし、必ずしもその回転軸と同一軸である必要はない）実施例では、制御システムは、官能データを使用して、加えられた外部からの力が器具の長手方向軸に平行であるかどうかを決定することができる。

10

【 0 1 0 4 】

検知された力またはトルクを解くために、制御システムは、図 5 を参照して説明されるものと同様の方法を実装し得る。つまり、官能データは、1 つ以上のトルクセンサから受信され、外部から加えられた力またはトルクに起因する、定義された点における検知されたトルク状態を示し得る。次いで、制御システムは、検知されたトルク状態を、候補のトルク状態のセットのうちの選択されたトルク状態に写像することによって、検知されたトルク状態を解くことができる。図 5 を参照して説明されるように、候補のトルク状態のセットの各トルク状態は、ヤコビ行列の像の要素であってもよい。検知されたトルク状態を選択されたトルク状態に写像すると、制御システムは、外部から加えられた力またはトルクの結果として、定義された点において、外科手術器具の長手方向軸と平行な方向に作用する力を示す、対応する力を決定することができる。器具回収モードでは、制御システムは、ヤコビ行列に、外科手術器具の長手方向軸に平行な軸の方向を表す列ベクトルを乗算するように構成され得、それにより、対応する力を決定する 1 つ以上の力は、外科手術器具の長手方向軸に平行な軸に沿って作用する力からなる（例えば、力のみを含む）。実施例 5 は、ステップ 7 0 2 がどのように実施され得るかを図示する詳細な実施例である。

20

【 0 1 0 5 】

【 数 1 4 】

30

40

50

実施例 5

実施例 5 では、点 p が、ロボットアームに対して、または器具に対して定義される。 p で加えられる外部からの力 f については、正味ジョイントトルク τ に仮想的作業の原則を適用することによって、器具軸の長手方向軸と平行な方向 \hat{a} に作用する力 f を推理することが可能である。この情報は、以下に従ってヤコビアン $J_{p,\hat{a}}$ でエンコードされ得、

$$\tau = \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \vdots \\ \tau_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial p_x}{\partial \theta_1} & \cdots & \frac{\partial p_z}{\partial \theta_1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial p_x}{\partial \theta_n} & \cdots & \frac{\partial p_z}{\partial \theta_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{a}_x \\ \hat{a}_y \\ \hat{a}_z \end{pmatrix} f = J_p \hat{a} f = \begin{pmatrix} \frac{\partial p_{\hat{a}}}{\partial \theta_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial p_{\hat{a}}}{\partial \theta_n} \end{pmatrix} f = J_{p,\hat{a}} f.$$

(方程式 7)

式中、方向 \hat{a} は、成分 $(\hat{a}_x, \hat{a}_y, \hat{a}_z)$ を有する単位ベクトルであり、 $J_{p,\hat{a}} = J_p \hat{a}$ は、正味ジョイント角度 $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ の小さな変化が点 p を方向 \hat{a} に移動させる程度を表す $1 \times n$ のヤコビ行列である。力 f は、図 5 および実施例 3 を参照して説明される方法のいずれかを使用する式 $\tau = J_{p,\hat{a}} f$ に従って、検知されたトルク τ を使用して決定され得る。

ヤコビ行列が、外科手術器具の長手方向軸に平行な軸の方向を表す列ベクトル \hat{a} で乗算されているため、トルク状態に対応する力 f を決定する 1 つ以上の力は、外科手術器具の長手方向軸に平行な軸に沿って作用する力からなる（例えば、力のみを含む）。

【 0 1 0 6 】

図 7 に戻ると、ステップ 703 では、ロボットアームの構成が、解かれた力またはトルクの成分に準拠するか、当該成分を補償するか、または当該成分に適合するように変更されるように、指令信号を外科手術ロボットアームに送信してロボットアームを駆動する。例えば、実施例 5 に従って決定される力 f は、外科手術ロボットアームの構成をどのように変更すべきかを決定するために、図 4 および実施例 2 を参照して説明される質量 - ばね - ダンパモデルへの入力として使用され得る。力 f は、定義された点において、外科手術器具の長手方向軸に平行な方向に作用する加えられた力またはトルクの成分のみを含み、実施例 2 に従って決定された、定義された点を駆動すべき位置は、外科手術器具の長手方向軸に平行な方向上にある。

【 0 1 0 7 】

他のモード（本明細書では詳細に説明しない）では、1 つ以上の異なる方向（例えば、器具シャフトの軸と直角をなす方向）に対して、図 7 を参照して説明される原理に従って、力を解くことができる。

【 0 1 0 8 】

制御システムは、ロボットアームまたは器具上の定義された位置に依存して、停止位置を定義するようにさらに構成され得る。停止位置は、制御システムが、定義された点を患者に向かってさらに駆動することを許容しない、外科手術器具の長手方向軸と平行な方向上の位置であってもよい。停止位置の定義により、外科手術ロボットアームのオペレータ（例えば、臨床スタッフのメンバー）が、器具（例えば、回収中の器具、または回収された器具と交換された新しい器具）を患者の体内に押し込みすぎることを防止する。これに

10

20

30

40

50

より、患者の損傷を防止することができる。

【0109】

制御システムは、外科手術器具を患者から完全に回収することができないと決定すると、任意選択で、外科手術口ポットアームのオペレータ（例えば、臨床スタッフのメンバー）に通知することができる。制御システムは、ジョイントのうちの1つ以上の現在の角度位置が、ジョイントの進行範囲の終わりに近すぎて、器具を患者の体から回収することができないということを、位置センサ307a～hからのデータを使用して決定することができる。制御システムは、器具回収モードが初期化されたとき、または器具回収モードの使用中に、この決定を行うことができる。器具回収モードを使用して、外科手術器具を患者から完全に回収することができない場合、制御システムにより、外科手術口ポットアームのジョイントのうちの1つ以上の位置を、器具の位置および向きが変化しないような方法で、ジョイントの進行範囲の中心に自動的に調節することができるか、または制御システムにより、外科手術口ポットアームを、1つ以上のジョイントがリモート外科医コンソール（図2に示されるリモート外科医コンソール220など）で受信された入力にตอบสนองして調節され得るように、外科手術モードで動作させることができる。

10

【0110】

制御システムにより、任意選択で、器具および/または器具取り付け部を、器具回収モードにあるときに回転可能にすることができる場合がある。つまり、器具を回収する際に、制御システムにより、器具の長手方向軸に平行な回転軸を有する一連のジョイントのうちのジョイント、例えば、ジョイント304gを回転させることができる場合がある。この回転の自由度により、手術室スタッフのメンバーが器具を除去および変更するのを助けることができる。例えば、オペレータが、器具を患者から回収しているときに、エンドエフェクタに対する障害物を取り除くように、器具を回転させることができることが望ましい場合があるか、またはオペレータが、代替の器具のための器具の変更を容易にするように、器具取り付け部を回転させることができることが望ましい場合がある。

20

【0111】

これを達成するために、制御システムは、ジョイント、例えば、ジョイント304gの角度変位を制御するために、図4および実施例1を参照して説明される方法を実施することもできる。制御システムは、この方法を、器具の長手方向軸に平行な方向に沿って定義された点の直線的な変位を制御することと独立して（例えば、別々に、しかし同時に）実施することができる。これは、ジョイント（例えば、ジョイント304g）が、定義された点よりも遠位に位置する場合に特に好適である場合がある。これは、そのジョイントの角度位置の変化が、定義された点の変位または向きの変化を引き起こさないためである。

30

【0112】

例えば、制御システムは、力またはトルクセンサから、外部から加えられた力またはトルクに起因する一連のジョイントのうちの外旋ジョイントで検知された力またはトルクを示す官能データを受信するようにさらに構成することができ、外旋ジョイントの回転軸は、外科手術器具の長手方向軸に平行である。任意選択で、制御システムは、図5を参照して説明される方法に従って、受信されたトルクの値を処理することができる。次いで、制御システムは、基準角度位置を使用して外旋ジョイントの角度位置を決定することができ、それによって、検知された力またはトルクが、外旋ジョイントを決定された角度位置に移動させることによって補償される。基準角度位置は、外旋ジョイントにおいて外部からの力が検知されない場合に、制御システムが、外旋ジョイントを駆動させるように構成されている角度位置である。制御システムは、実施例1を参照して説明される質量-ばね-ダンパモデルを使用して、角度位置を決定することができる。制御システムは、実施例1を参照して説明される質量-ばね-ダンパモデルを使用して、その位置へとジョイントを移動させる速度および加速度を決定することができる。制御システムは、指令信号を外科手術口ポットアームに送信して、決定された角度位置へと外旋ジョイントを駆動するように構成され得る。外旋ジョイントの「弾性的」および「可塑的」な挙動は、図4を参照して本明細書に記載されるように実装され得る。

40

50

【 0 1 1 3 】

本明細書に記載のロボットアームは、外科手術以外の目的のために使用され得る。例えば、ポートは、自動車エンジンなどの製造品内の検査ポートであってもよく、ロボットは、エンジン内部を視認するための視認器具を制御し得る。

【 0 1 1 4 】

本明細書によって、本出願人は、本明細書に説明される各個々の特徴および2つ以上のかかる特徴の任意の組み合わせを、かかる特徴または組み合わせが、当業者に共通する一般知識に照らして、全体として本明細書に基づいて行うことができるような程度まで、かかる特徴または特徴の組み合わせが、本明細書に開示する任意の問題を解決するかにかかわらず、かつ特許請求の範囲を限定することなく、分離して開示する。本出願人は、本発明の態様が、任意のかかる個々の特徴または特徴の組み合わせからなり得ることを示している。前述の説明を考慮すると、本発明の範囲内で様々な修正を行うことができることは当業者には明らかであろう。

なお、本発明は、実施の態様として以下の内容を含む。

〔態様 1〕

外科手術ロボットアームの制御システムであって、前記外科手術ロボットアームが、前記外科手術ロボットアームの構成を変更することができる一連のジョイントと、1つ以上のトルクセンサと、を備え、各トルクセンサが、前記一連のジョイントのうちのあるジョイントのトルクを検知するように構成されており、前記制御システムが、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される前記外科手術ロボットアームの前記構成を、前記1つ以上のトルクセンサから、前記外部から加えられた力またはトルクに起因する前記外科手術ロボットアームの検知されたトルク状態を示す官能データを受信すること、前記検知されたトルク状態を、候補のトルク状態のセットのうちを選択されたトルク状態にマッピングすること、および

前記ロボットアームの前記構成が前記選択されたトルク状態に準拠するように変更されるように、指令信号を前記外科手術ロボットアームに送信して前記ロボットアームを駆動することによって、制御するように構成されている、制御システム。

〔態様 2〕

前記制御システムが、前記受信するステップ、マッピングするステップ、および送信するステップを含む、制御ループを反復して実施するようにさらに構成されている、態様 1 に記載の制御システム。

〔態様 3〕

前記検知されたトルク状態が、前記1つ以上のトルクセンサの各々から受信されたトルクデータを含む列ベクトルによって表される、態様 1 または 2 に記載の制御システム。

〔態様 4〕

前記制御システムが、前記選択されたトルク状態に対応する1つ以上の力を決定するように構成されており、各力が、前記外部から加えられた力またはトルクの結果として、前記ロボットアームのある点で作用する力を示し、前記力が、前記点に対して定義される方向に対して定義される、態様 1 ~ 3 のいずれかに記載の制御システム。

〔態様 5〕

前記制御システムが、各決定された力に対して、前記外科手術ロボットアームの前記点の位置を決定することであって、それによって、前記点で作用する前記力が、前記点を前記決定された位置へと移動させることによって補償され得る、決定することと、

指令信号を前記外科手術ロボットアームに送信して、前記決定された位置へと前記外科手術ロボットアームの前記点を駆動することと、を行うように構成されている、態様 4 に記載の制御システム。

〔態様 6〕

前記制御システムが、

10

20

30

40

50

前記ロボットアームの単一の点で作用する力、および/または
前記ロボットアームの n 個の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力であって、式中、
 $n > 1$ である、少なくとも 1 つの力を決定するように構成されている、態様 4 または 5 に
記載の制御システム。

[態様 7]

前記候補のトルク状態のセットの各トルク状態が、それぞれの 1 つ以上の力に対応し、
各トルク状態が、各トルク状態のそれぞれの 1 つ以上の力とヤコビ行列との積である、態
様 1 ~ 6 のいずれかに記載の制御システム。

[態様 8]

前記候補のトルク状態のセットの各トルク状態が、前記ヤコビ行列の画像の要素である
、態様 7 に記載の制御システム。

10

[態様 9]

前記制御システムが単一の点で作用する力を決定するように構成されている場合、前記
ヤコビ行列が、前記一連のジョイントのうちの 1 つ以上のジョイントのジョイント角度の
変化が前記ロボットアームの前記単一の点の前記位置をどのように変化させるかを表す、
第 1 のヤコビ行列である、態様 6 に従属する場合の態様 7 または 8 に記載の制御システム。

[態様 10]

前記制御システムが、 n 個の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力を決定するように
構成されている場合、前記ヤコビ行列が、前記一連のジョイントのうちの 1 つ以上のジョ
イントのジョイント角度の変化が前記 n 個の点の各々の前記位置をどのように変化させる
かを表す、第 2 のヤコビ行列である、態様 6 に従属する場合の態様 7 または 8 に記載の制
御システム。

20

[態様 11]

前記第 2 のヤコビ行列が、前記一連のジョイントのジョイントのサブセットの各ジョイ
ントのジョイント角度の変化が前記 n 個の点のうちの第 1 の点の前記位置をどのように変
化させるか、および前記一連のジョイントのジョイントの異なるサブセットの各ジョイ
ントのジョイント角度の変化が前記 n 個の点のうちの第 2 の点の前記位置をどのように変
化させるかを表す、態様 10 に記載の制御システム。

[態様 12]

前記制御システムが、
前記ロボットアームの現在の動作モードに依存して、外部から加えられた力またはトル
クにตอบสนองして変更される前記外科手術ロボットアームの前記構成を、
(i) 前記ロボットアームの単一の点で作用する力、または
(i i) 前記ロボットアームの前記 n 個の点の各々で作用する少なくとも 1 つの力に従
って、制御するかどうかを決定するように構成されている、態様 6 ~ 11 のいずれかに記
載の制御システム。

30

[態様 13]

前記制御システムが、
前記外科手術ロボットアームの現在の構成を推定するように、前記第 2 のヤコビ行列の
決定子を計算することと、
前記第 1 のヤコビ行列を使用して決定された前記ロボットアームの単一の点で作用する
力と、前記第 2 のヤコビ行列を使用して決定された前記ロボットアームの前記 n 個の点の
同じ点で作用する力との間を補間することとであって、前記力が、前記第 2 のヤコビ行列の
前記計算された決定子に依存して重み付けされる、補間することと、
外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される前記外科手術ロボットアーム
の前記構成を、前記補間された力に従って制御することと、を行うように構成されている
、態様 9 および 10 に従属する場合の態様 6 ~ 11 のいずれかに記載の制御システム。

40

[態様 14]

前記制御システムが、
前記ヤコビ行列のムーア - ペンローズの擬似逆行列を使用して、前記検知されたトルク

50

状態を前記選択されたトルク状態にマッピングし、前記選択されたトルク状態に対応する前記1つ以上の力を決定するようにさらに構成されている、態様4～6のいずれかに従属する場合の態様7～13のいずれかに記載の制御システム。

[態様15]

前記選択されたトルク状態が、前記検知されたトルク状態に対して最も低いユークリッド距離を有する前記候補のトルク状態のセットの前記トルク状態であるか、または前記選択されたトルク状態が、前記検知されたトルク状態に対して最も低い最小二乗距離を有する前記候補のトルク状態のセットの前記トルク状態である、態様1～14のいずれかに記載の制御システム。

[態様16]

前記制御システムが、各トルクセンサに関連付けられたノイズ干渉の決定されたレベルに依存して、前記1つ以上のトルクセンサの各トルクセンサから受信された前記官能データを重み付けするようにさらに構成されており、それにより、より大きな重みが、より低いレベルのノイズ干渉に関連付けられると決定されたトルクセンサから受信された官能データに加えられ、態様1～15のいずれかに記載の制御システム。

[態様17]

前記外科手術ロボットアームが、前記ロボットアームの遠位端に外科手術器具のための取り付け部をさらに備え、前記制御システムが、前記ロボットアームに、

前記取り付け部に取り付けられた外科手術器具が患者の体の内側にある外科手術モード、および

前記外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして、前記外科手術器具が患者の体から回収可能である器具回収モードで動作させるように構成されている、態様1～16のいずれかに記載の制御システム。

[態様18]

前記器具回収モードでは、前記制御システムが、前記ヤコビ行列に、前記外科手術器具の長手方向軸に平行な軸の方向を表す列ベクトルを乗算するように構成されており、それにより、前記1つ以上の力が、前記外科手術器具の前記長手方向軸に平行な軸に沿って作用する力からなる、態様7～14のいずれかに従属する場合の態様17に記載の制御システム。

[態様19]

前記外科手術ロボットアームが、1つ以上のモータのセットをさらに備え、前記セットの各モータが、前記制御システムによって送信された前記指令信号にตอบสนองして、前記一連のジョイントのうちのあるジョイントを駆動するように構成されている、態様1～18のいずれかに記載の制御システム。

[態様20]

外科手術ロボットアームを制御する方法であって、前記外科手術ロボットアームが、前記外科手術ロボットアームの前記構成を変更することができる一連のジョイントと、1つ以上のトルクセンサと、を備え、各トルクセンサが、前記一連のジョイントのうちのあるジョイントのトルクを検知するように構成されており、前記方法が、外部から加えられた力またはトルクにตอบสนองして変更される前記外科手術ロボットアームの前記構成を、

前記1つ以上のトルクセンサから、前記外部から加えられた力またはトルクに起因する前記外科手術ロボットアームの検知されたトルク状態を示す官能データを受信すること、前記検知されたトルク状態を、候補のトルク状態のセットのうちの前記選択されたトルク状態にマッピングすること、および

前記ロボットアームの前記構成が前記選択されたトルク状態に準拠するように変更されるように、指令信号を前記外科手術ロボットアームに送信して前記ロボットアームを駆動することによって、制御することを含む、方法。

10

20

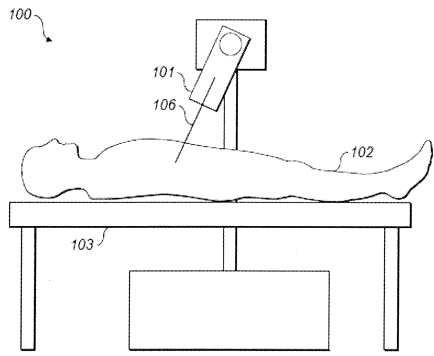
30

40

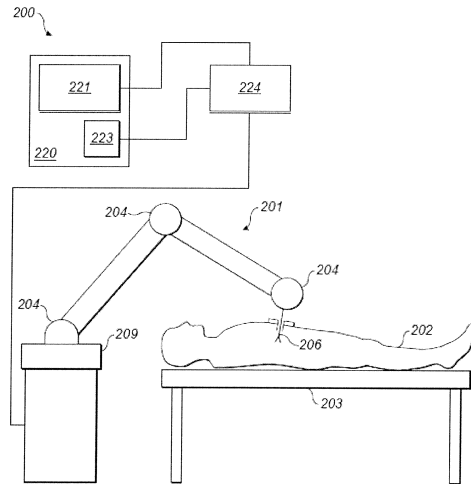
50

【図面】

【図 1】

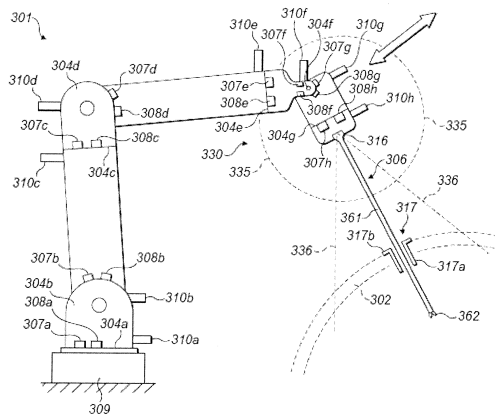


【図 2】

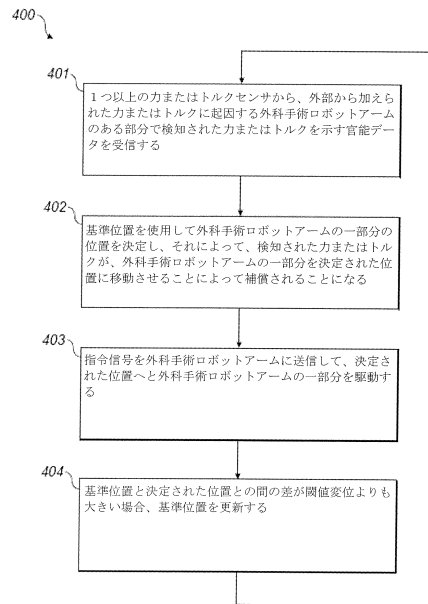


10

【図 3】



【図 4】



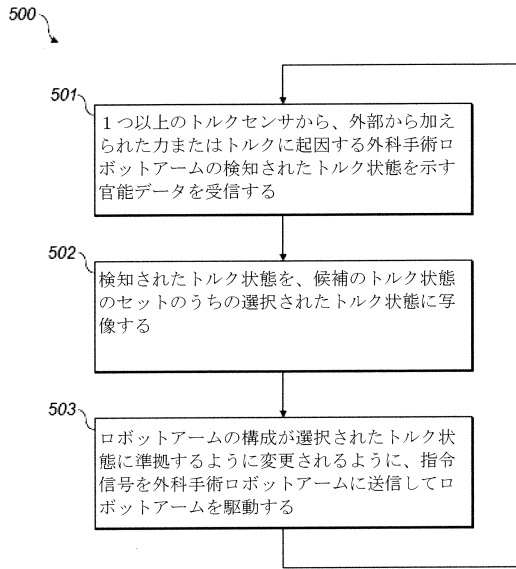
20

30

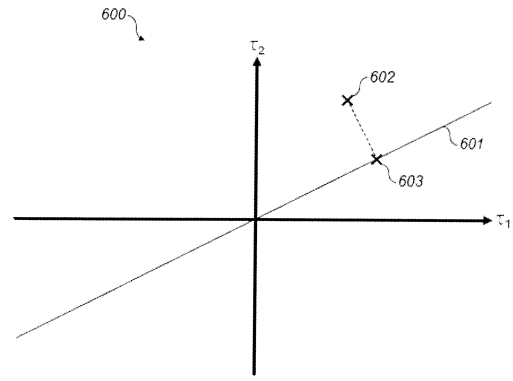
40

50

【 図 5 】

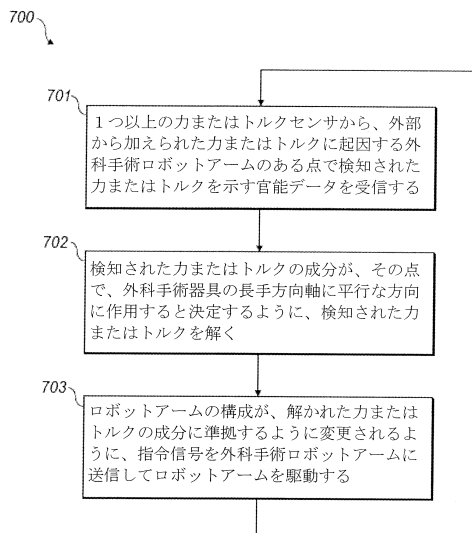


【 図 6 】



10

【 図 7 】



20

30

40

50

フロントページの続き

- 弁理士 金子 大輔
(74)代理人 100154771
- 弁理士 中田 健一
(74)代理人 100150566
- 弁理士 谷口 洋樹
(74)代理人 100213470
- 弁理士 中尾 真二
(74)代理人 100220489
- 弁理士 笹沼 崇
(72)発明者 モットラム・エドワード・ジョン
イギリス国, ケンブリッジシャー シービー24 9エヌジー, ケンブリッジ, ミルトン ロード,
エヴォリューション ビジネス パーク 1, シーエムアール・サージカル・リミテッド内
- (72)発明者 ヴィーチ・グラハム・ジョン
イギリス国, ケンブリッジシャー シービー24 9エヌジー, ケンブリッジ, ミルトン ロード,
エヴォリューション ビジネス パーク 1, シーエムアール・サージカル・リミテッド内
- 審査官 北村 龍平
- (56)参考文献 米国特許出願公開第2018/0008359 (US, A1)
特表2019-500925 (JP, A)
特開2016-179168 (JP, A)
特表2018-500095 (JP, A)
特開2013-132747 (JP, A)
米国特許第10016900 (US, B1)
国際公開第2020/001742 (WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
A61B 34/30 - 34/37
B25J 1/00 - 21/02