

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2016-512733

(P2016-512733A)

(43) 公表日 平成28年5月9日(2016.5.9)

(51) Int.Cl.

A 6 1 B 90/00

(2016.01)

F 1

A 6 1 B 19/00

テーマコード(参考)

502

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願2016-502607 (P2016-502607)
 (86) (22) 出願日 平成26年3月18日 (2014.3.18)
 (85) 翻訳文提出日 平成27年9月14日 (2015.9.14)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2014/031105
 (87) 國際公開番号 WO2014/146120
 (87) 國際公開日 平成26年9月18日 (2014.9.18)
 (31) 優先権主張番号 61/800,924
 (32) 優先日 平成25年3月15日 (2013.3.15)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 510253996
 インテュイティブ サージカル オペレーションズ、 インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 94086 カリフォルニア州 サニーヴェイル キーファー・ロード 1020
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (74) 代理人 100091214
 弁理士 大貫 進介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】マニピュレータ関節動作を異方的に強調するためにゼロ空間を使用するシステム及び方法

(57) 【要約】

マニピュレータの1又は複数の関節の所望の運動を提供しながら、マニピュレータのエンドエフェクタの指令運動を提供するための装置、システム、及び方法である。方法は、関節の第1のセットの所望の運動を提供するために、ゼロ空間内の関節運動を異方的に強調するように前記関節空間で重み付き行列を使用して重み付き関節速度を計算することを含む。方法は、疑似逆行列解を使用して所望のエンドエフェクタ運動を達成する関節速度を計算すること及び関節の第1のセットの所望の運動に対応する関節空間内のポテンシャル関数勾配を使用して計算された関節速度を調整することを含み得る。方法は、重み付き疑似逆行列解及びまた拡張ヤコビアン解の使用を含み得る。1又は複数の補助運動も、疑似逆行列解から計算される関節速度を使用して提供され得る。このような方法を用いるシステムのための様々な構成が本明細書に提供される。

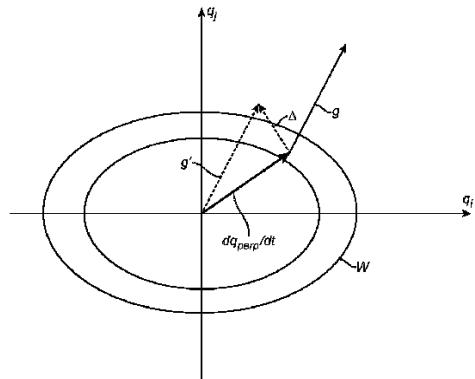


FIG. 14

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

移動可能な遠位手術エンドエフェクタ、ベースに結合される近位部分、及び前記遠位部分と前記ベースとの間の複数の関節、を含むマニピュレータームを提供するステップであって、前記複数の関節は、与えられたエンドエフェクタ状態に対して異なる関節状態の範囲を可能にする十分な自由度を有する、ステップ；

所望のエンドエフェクタ運動で前記エンドエフェクタを動かすように操作指令を受信するステップ；

前記複数の関節の関節空間内で重み付けを使用して調整される関節速度を計算することによって、前記複数の関節の重み付き関節速度を決定するステップであって、前記重み付けは、前記複数の関節の関節の第1のセットの所望の運動に対応する、ステップ；並びに

前記所望のエンドエフェクタ運動及び前記関節の第1のセットの所望の運動を生じさせるように前記重み付き関節速度にしたがって前記複数の関節を駆動するステップ；を含む、

、
口ボット方法。

【請求項 2】

前記関節の第1のセットは、前記複数の関節の1又は複数の関節を含む、

請求項1に記載の口ボット方法。

【請求項 3】

前記所望の運動は：関節状態、関節状態の組み合わせ、相対関節状態、関節状態の範囲、関節状態のプロファイル、運動エネルギー、又はこれらの任意の組み合わせ、を含む、
請求項1に記載の口ボット方法。

【請求項 4】

前記重み付き関節速度を決定するステップは、ヤコビアンの重み付き疑似逆行列をデカルト空間エンドエフェクタ速度に適用する、

請求項1に記載の口ボット方法。

【請求項 5】

前記重み付けは、前記関節空間の重み付き行列を含む、

請求項1に記載の口ボット方法。

【請求項 6】

前記所望のエンドエフェクタ運動を達成する前記複数の関節に対する関節速度を計算することによって、前記所望のエンドエフェクタ運動を生じさせるように前記複数の関節のエンドエフェクタ変位運動を決定するステップ、をさらに含み、前記計算された関節速度は、前記重み付き関節速度を決定するのに使用される、
請求項1に記載の口ボット方法。

【請求項 7】

前記エンドエフェクタ運動を決定するステップは、ヤコビアンの疑似逆行列解を計算することを含み、前記重み付き関節速度を決定するステップは、前記疑似逆行列解と前記疑似逆行列解のポテンシャル関数勾配との間の差を計算することを含む、
請求項6に記載の口ボット方法。

【請求項 8】

前記重み付けは、前記関節空間内の二次曲面を含む、

請求項7に記載の口ボット方法。

【請求項 9】

前記重み付けは、前記関節空間内の放物面を含む、

請求項8に記載の口ボット方法。

【請求項 10】

前記差は、前記関節速度のゼロ空間ベクトルを決定するためにヤコビアンの前記ゼロ空間上に射影される、
請求項7に記載の口ボット方法。

10

20

30

40

50

【請求項 1 1】

計算された前記関節速度を使用して前記複数の関節の 1 又は複数の補助運動を決定するステップ；及び

前記エンドエフェクタの所望の状態を維持しながら計算された前記補助運動にしたがって前記関節を駆動するステップ、をさらに含む、

請求項 7 に記載のロボット方法。

【請求項 1 2】

前記 1 又は複数の補助運動は、指令再配置運動、衝突回避運動、補助タスク、又はそれらの任意の組み合わせを含む、

請求項 1 1 に記載のロボット方法。

10

【請求項 1 3】

前記 1 又は複数の補助運動は、前記複数の関節の関節の第 2 のセットの所望の運動を含む、

請求項 1 1 に記載のロボット方法。

【請求項 1 4】

前記マニピュレータームの遠位部分は、前記エンドエフェクタに遠位に延びる細長いシャフトを有する手術器具を解放可能に支持する器具ホルダに結合され、前記器具シャフトは、手術中、遠隔中心周りに枢動する、

請求項 1 に記載のロボット方法。

20

【請求項 1 5】

前記関節の第 1 のセットは、関節のサブセットを含み、前記関節の第 1 のセットからの第 1 の関節は、前記近位部分を前記ベースに結合し、前記第 1 の関節は、回転関節の関節運動が前記マニピュレータームの前記遠位部分を前記回転関節の枢動軸周りに枢動させるように前記マニピュレータームの前記遠位部分を支持する回転関節を有し、前記枢動軸は、前記マニピュレータームの挿入軸が遠隔中心に向かって配向される遠位に先細にされた円錐に沿って動くように、前記回転関節から前記遠隔中心を通って延びる、

請求項 1 に記載のロボット方法。

【請求項 1 6】

近位ベースに対して遠位エンドエフェクタをロボット式に動かすように構成されるマニピュレータームであって、前記マニピュレータームは、前記遠位部分と前記ベースに結合された近位部分との間に複数の関節を有し、前記関節は、エンドエフェクタ状態に対して関節状態の範囲を可能にする十分な自由度を提供する、マニピュレーターム；

前記エンドエフェクタを所望のエンドエフェクタ運動で動かすように操作指令を受信するための入力部；並びに

前記入力装置を前記マニピュレータームに結合するプロセッサであって：

前記複数の関節の関節空間内で重み付けを用いて関節速度を計算することにより、前記操作指令を受信することに応じて、前記関節のエンドエフェクタ変位運動を計算することによって、重み付き関節速度を計算し、前記重み付けは前記複数の関節の関節の第 1 のセットの所望の運動に対応し、

前記所望のエンドエフェクタ運動及び前記関節の第 1 のセットの所望の運動を生じさせるように計算された前記重み付き関節速度で前記マニピュレータームを駆動するよう、前記エンドエフェクタ変位運動に応じて前記マニピュレータームに指令を送信する、

、
プロセッサ、を有する、
ロボットシステム。

【請求項 1 7】

前記関節の第 1 のセットは、前記複数の関節の 1 又は複数の関節を含む、

請求項 1 6 に記載のロボットシステム。

【請求項 1 8】

前記所望の運動は：関節状態、関節状態の組み合わせ、相対関節状態、関節状態の範囲

40

30

50

、関節状態のプロファイル、又はこれらの任意の組み合わせ、を含む、
請求項 1 6 に記載のロボットシステム。

【請求項 1 9】

前記プロセッサは、前記重み付き関節速度を決定することが、ヤコビアンの重み付き疑似逆行列をデカルト空間エンドエフェクタ速度に適用するように、構成される、

請求項 1 6 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 0】

前記重み付けは、前記関節空間の重み付き行列を含む、
請求項 1 9 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 1】

前記プロセッサは、前記所望のエンドエフェクタ運動を達成するヤコビ行列のゼロ直交空間内で関節速度を計算することによって、前記操作指令に応じて前記関節のエンドエフェクタ変位運動を計算するように、構成される、

請求項 1 6 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 2】

前記プロセッサは、前記エンドエフェクタ運動を決定することが、前記ヤコビアンの疑似逆行列解を計算することを含み、前記重み付き関節速度を決定することが、前記疑似逆行列解と前記疑似逆行列解のポテンシャル関数勾配との間の差を計算することを含む、ように構成される、

請求項 2 1 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 3】

前記重み付けは、前記関節空間内の二次曲面を含む、
請求項 2 2 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 4】

前記差は、前記関節速度のゼロ空間ベクトルを決定するために前記ヤコビアンの前記ゼロ空間上に射影される、

請求項 2 2 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 5】

計算された前記関節速度を使用して前記複数の関節の 1 又は複数の補助運動を決定すること；及び

前記エンドエフェクタの所望の状態を維持しながら計算された前記補助運動にしたがって前記関節を駆動すること、をさらに含む、

請求項 1 6 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 6】

前記 1 又は複数の補助運動は、指令再配置運動、衝突回避運動、補助タスク、又はそれらの任意の組み合わせを含む、

請求項 1 6 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 7】

前記 1 又は複数の補助運動は、前記複数の関節の関節の第 2 のセットの所望の運動を含む、

請求項 2 5 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 8】

前記マニピュレータームの遠位部分は、器具シャフトが手術中に遠隔中心周りに枢動するように、前記エンドエフェクタに遠位に延びる細長いシャフトを有する手術器具を解放可能に支持するように構成される器具ホルダと結合される、

請求項 1 6 に記載のロボットシステム。

【請求項 2 9】

前記複数の関節は、前記近位部分の遠位に且つ前記遠位部分の近位に配置された遠隔球形中心関節を含み、前記遠隔球形中心関節は、前記遠隔球形中心関節の関節運動が、前記

10

20

30

40

50

マニピュレータームの前記遠位部分を第1、第2、及び第3の遠隔中心軸周りに枢動させるように、機械的に拘束され、前記第1、前記第2、及び前記第3の遠隔中心軸は、前記遠隔中心と交差する、

請求項16に記載のロボットシステム。

【請求項30】

前記近位部分は、前記近位部分が動くとき、前記マニピュレータームの前記遠位部分が前記遠隔中心周りに枢動するように、前記ベースに対して機械的に拘束される、

請求項16に記載のロボットシステム。

【請求項31】

前記関節の第1のセットは、関節のサブセットを含み、前記関節の第1のセットからの第1の関節は、前記近位部分を前記ベースに結合し、前記第1の関節は、回転関節の関節運動が前記マニピュレータームの前記遠位部分を前記回転関節の枢動軸周りに枢動させるように前記マニピュレータームの前記遠位部分を支持する回転関節を有し、前記枢動軸は、前記マニピュレータームの挿入軸が前記遠隔中心に向かって配向される遠位に先細にされた円錐に沿って動くように、前記回転関節から前記遠隔中心を通って延びる、

10

請求項16に記載のロボットシステム。

【請求項32】

前記重み付き関節速度を決定することは、拡張ヤコビアンをデカルト空間エンドエフェクタ速度に適用し、前記ヤコビアンの拡張は、要望通りに計算された前記関節速度に重み付けする、

20

請求項1に記載のロボット方法。

【請求項33】

前記重み付けは、前記エンドエフェクタのデカルト空間における重み付き行列を含む、請求項1に記載のロボット方法。

【請求項34】

前記プロセッサは、前記重み付き関節速度を決定することが、拡張ヤコビアンをデカルト空間エンドエフェクタ速度に適用するように、構成され、前記ヤコビアンの拡張は、要望通りに計算された前記関節速度に重み付けする、ように構成される、

30

請求項16に記載のロボットシステム。

【請求項35】

前記重み付けは、前記エンドエフェクタのデカルト空間における重み付き行列を含む、請求項19に記載のロボットシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2013年3月15日に出願され“Systems and Methods for Using the Null Space to Emphasize Manipulator Joint Motion Anisotropically”と題する米国仮特許出願第61/800,924号（代理人整理番号ISRG03870PROV/US）からの非仮出願であるとともに、同仮出願からの優先権を主張し、その全開示が参照により本出願に援用される。

40

【0002】

本出願は概して、所有者が共通する次の出願：“Control of Medical Robotic System Manipulator About Kinematic Singularities”と題する、2009年6月30日に出願された米国特許出願第12/494,695号；“Master Controller Having Redundant Degrees of Freedom and Added Forces to Create Internal Motion”と題する、2009年3月17日に出願された米国特許出願第12/406,004号；“S

50

oftware Center and Highly Configurable Robotic Systems for Surgery and Other Uses”と題する、2005年5月19日に出願された米国特許出願第11/133,423号(米国特許第8,004,229号)；“Offset Remote Center Manipulator For Robotic Surgery”と題する、2004年9月30日に出願された米国特許出願第10/957,077号(米国特許第7,594,912号)；“Master Having Redundant Degrees of Freedom”と題する、1999年9月17日に出願された米国特許出願第09/398,507号(米国特許第6,714,839号)；“Manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space”と題する、2012年6月1日に出願された米国仮出願第61/654,755号；“System and Methods for Avoiding Collisions Between Manipulator Arms Using a Null-Space”と題する、2012年6月1日に出願された米国仮出願第61/654,773号；に関連し、これらの開示は、その全体が参考により本明細書に援用される。10

【背景技術】

【0003】

本発明は、概して、改良された手術及び／又はロボット装置、システム、及び方法を提供する。20

【0004】

低侵襲医療技術は、診断又は外科手術中に損傷を受ける組織の量を低減させることを目的とし、それによって、患者の回復時間、不快感、及び有害な副作用を減少させる。何百万という「観血」又は従来の手術が、米国で毎年行われており、これらの手術の多くは、潜在的に低侵襲的な方法で行うことができる。しかしながら、比較的少数の手術のみが、低侵襲手術器具や技術の制限、及びそれら低侵襲手術器具や技術を習得するために必要な追加の外科的トレーニングに起因して、低侵襲技術を現在使用している。

【0005】

手術で使用される低侵襲遠隔手術システムは、外科医の器用さを増大させるように、及び外科医が離れた場所から患者を手術することを可能にするように開発されている。遠隔手術は、手で機器を直接的に保持し且つ動かすのではなく、手術器具の動きを操作するために、外科医が、例えばサーボ機構等の遠隔制御装置のいくつかのフォームを使用するような手術システムの総称である。このような遠隔手術システムでは、外科医には、遠離した場所における手術部位の画像が提供される。典型的には適切なビューア又はディスプレイ上で手術部位の三次元画像を見ながら、外科医は、マスタ制御入力装置を操作することによって、患者に外科手術を行い、このマスタ制御入力装置はロボット器具の動作を制御する。ロボット手術器具は、患者内の手術部位において組織を治療するために、小さな、低侵襲手術開口部、大抵、観血手術のためにアクセスすることと関連付けられる外傷、を介して挿入ができる。これらのロボットシステムは、大抵、低侵襲開口部において器具シャフトを枢動、開口部を通じた軸方向のシャフトの摺動、開口部内でのシャフトの回転、及び／又は同様の動作によって、非常に複雑な外科的タスクを行うために十分な器用さで手術器具の作業端部を移動させることができる。30

【0006】

遠隔手術用に使用されるサーボ機構は、大抵、2つのマスタ制御装置(外科医の手の各々に対して1つ)からの入力を受け取り、そして2以上のロボットアーム又はマニピュレータを含み得る。画像取込装置によって表示されたロボット器具の画像への手の動きのマッピングは、それぞれの手に関連付けられた器具についての正確な制御を外科医に提供するのに役立つことができる。多くの手術ロボットシステムでは、1又は複数の追加のロボットマニピュレータアームが、内視鏡又は他の画像取込装置、追加の手術器具等を移動させるために含められる。40

【0007】

様々な構造配置が、ロボットによる手術中に、手術器具を手術部位に支持するために、使用することができる。従動リンク機構又は「スレーブ」は、大抵、ロボット手術マニピュレータと呼ばれており、低侵襲ロボット手術中にロボット手術マニピュレータとして使用される例示的なリンク機構配置は、特許文献1、特許文献2及び特許文献3に記載されており、これらの全体の開示は、参照により本明細書に援用される。これらのリンク機構は、大抵、シャフトを有する器具を保持するために、平行四辺形の配置を利用する。このようなマニピュレータ構造は、器具シャフトが、剛性シャフトの長さに沿った空間に位置する球状回転の遠隔センタの周りを枢動するように、器具の動きを拘束することができる。（例えば、腹腔鏡手術中、腹壁にトロカール又はカニューレを用いて）内部手術部位への切開点とこの回転の中心とを位置合わせすることによって、手術器具のエンドエフェクタは、腹壁に対して潜在的に危険な力を与えることなく、マニピュレータリンク機構を用いてシャフトの近位端部を移動させることによって、安全に位置決めされることができる。代替のマニピュレータ構造は、例えば、特許文献4、特許文献5、特許文献6、特許文献7、特許文献8、及び特許文献9に記載されており、これらの全体の開示は、参照により本明細書に援用される。

10

【0008】

新しいロボット手術システム及び装置は非常に効果的であり且つ有用であることが判明しているが、依然としてさらなる改良が望まれている。例えば、マニピュレータアームが、特定の状況下で、さらなる運動又は形態を提供するために、追加的な冗長関節を含む可能性がある。しかし、低侵襲手術部位内で手術器具を移動させるとき、これらの関節は、特に、大きい角度範囲に亘って低侵襲開口部の周りに器具を枢動させるときに、患者の体外でのかなりの量の動き、しばしば、必要とされる又は予想されるより大きい動きを示す可能性がある。患者の体外での不慮のマニピュレータ／マニピュレータ接触（等）を防止しながら挿入部位に対する枢動運動を拘束するように高度に設定可能な運動学的マニピュレータ関節セットに対するソフトウェア制御を用いる代替のマニピュレータ構造が提案されている。これらの代替の高度に設定可能な「ソフトウェアセンタ」手術マニピュレータシステムは、重要な利点を提供し得るが、課題も存在し得る。特に、機械的に拘束された遠隔センタリンク機構は、いくつかの条件で安全性に関する利点を有し得る。加えて、これらのマニピュレータに大抵含まれる多くの関節の広範囲の構成は、マニピュレータが、特定の処置に望ましい形態に手動で設定することが困難であることをもたらし得る。それにもかかわらず、遠隔手術システムを用いて行われる手術の範囲は拡大し続けているので、利用可能な構成及び患者内の器具の可動域を拡張するための要求が高まっている。残念ながら、これらの両方の変化は、体外のマニピュレータの動きに関連する課題を増大させ、また、幾つかのタスクに対するマニピュレータアームの過度の動きを避けることの重要性も高め得る。

20

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】米国特許第6,758,843号

40

【特許文献2】米国特許第6,246,200号

【特許文献3】米国特許第5,800,423号

【特許文献4】米国特許第6,702,805号

【特許文献5】米国特許第6,676,669号

【特許文献6】米国特許第5,855,583号

【特許文献7】米国特許第5,808,665号

【特許文献8】米国特許第5,445,166号

【特許文献9】米国特許第5,184,601号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0010】

これらの及び他の理由のために、手術、ロボット手術及び他のロボット用途のための、改良された装置、システム、及び方法を提供することが有利であり、これらの改良された技術が、幾つかのタスクの間にマニピュレータームの運動の量を制限する提供する能力を提供する場合には、それは特に有益である。加えて、それらの器用さを維持又は向上させたまま、寸法、機械的な複雑さ、又はこれらのシステムのコストを大幅に増加させることがなく、少なくともいくつかのタスクに対して器具の動作範囲を増加させながら、このような改良を提供することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0011】

10

本発明は概して、改良されたロボット及び／又は手術装置、システム、及び方法を提供する。多くの実施形態では、本発明は、高度に設定可能な手術ロボットマニピュレータを用いる。これらのマニピュレータは、例えば、関連付けられる手術用エンドエフェクタが手術作業空間内で有するよりも、大きい運動の自由度を有し得る。本発明によるロボット手術システムは、典型的には、ロボット手術器具を支持するマニピュレーターム、及び、器具のエンドエフェクタを操作するために協調関節運動を計算するためのプロセッサを含む。エンドエフェクタを支持するロボットマニピュレータの関節は、マニピュレータが、与えられたエンドエフェクタの位置及び／又は与えられた枢動（pivot）ポイント位置についての異なる形態の範囲に亘って動くことを可能にする。マニピュレータは、ユーザ指令に応じた再配置運動のような、様々な種類の補助運動、又は衝突回避運動のような、他の種類の運動を可能にするために、追加の冗長関節を含み得る。

20

【0012】

1つの態様では、本発明は、ユーザ入力エンドエフェクタ操作指令に応じて所望のエンドエフェクタ運動を生じさせながら、体外のマニピュレータの1又は複数の関節の所望の運動を提供するように、ゼロ空間異方性（null-space anisotropy）内でマニピュレータの1又は複数の関節の動作の強調を可能にする。関節動作の強調は、それが関節の方向に依存するので、「異方性」であると見なされることができ、強調は、所望のエンドエフェクタ操作運動を生じさせる関節の運動に直交する関節のゼロ空間内に延びる。ここでは関節の第1のセットと称される、1又は複数の関節の所望の運動は、関節状態、関節状態の組み合わせ、相対関節状態、関節状態の範囲、関節状態のプロファイル（profile）、又はこれらの任意の組み合わせを含み得る。例えば、所望の運動は、関節の第1のセットの関節の間で比較的均一な関節速度を維持すること、所望の範囲内に関節速度を制限すること、及び／又は所望の姿勢又はマニピュレータの衝突防止形態に対応する関節状態の組み合わせを維持することを含み得る。

30

【0013】

概して、遠位エンドエフェクタの所望の運動を生じさせるためのマニピュレータームの指令運動は、マニピュレータームの全ての関節の運動を利用する。しかし、幾つかのマニピュレータ、特に、冗長自由度を有する高度に設定可能なマニピュレータームでは、幾つかの関節の速度又はマニピュレータームの全体の運動エネルギーは、消耗のレベルを超える。ゼロ空間方向内で関節の第1のセットの動作を強調することによって、所望のエンドエフェクタ運動を生じさせるようにゼロ直交空間内で複数の関節の計算された運動によって決定されるので、本発明は、本明細書に詳述されるように所望のエンドエフェクタ運動中に関節の第1のセットの所望の運動を提供する。加えて、指令再配置運動又はマニピュレータームの衝突回避運動のような、幾つかの他のタスクを生じさせるように、追加の補助運動を組み入れることは有利であり得る。

40

【0014】

幾つかの実施形態によれば、本発明は：移動可能な遠位手術エンドエフェクタ、ベースに結合される近位部分、及び遠位部分とベースとの間の複数の関節、を含むマニピュレータームを提供するステップであって、複数の関節は、与えられたエンドエフェクタ状態に対して異なる関節状態の範囲を可能にする十分な自由度を有する、ステップ；所望の工

50

ンドエフェクタ運動でエンドエフェクタを動かすように操作指令を受信するステップ；ヤコビ行列のゼロ直交空間内で関節速度を計算することによって及び計算された関節速度を、複数の関節の関節空間内で重み付けを適用することによりヤコビアンのゼロ空間内で調整することによって、重み付き関節速度を決定することによりヤコビアンのゼロ空間内で調整することによって、重み付き関節速度を決定するステップであって、重み付けは、複数の関節の関節の第1のセットの所望の運動に対応する、ステップ；並びに所望のエンドエフェクタ運動及び関節の第1のセットの所望の運動を生じさせるように重み付き関節速度にしたがって関節を駆動するステップ；を含む。関節の第1のセットは、複数の関節の1又は複数の関節を含み得る。第1のセットの所望の運動は：関節状態、関節状態の組み合わせ、相対関節状態、関節状態の範囲、関節状態のプロファイル、又はこれらの任意の組み合わせを含み得るが、限定されるものではない。幾つかの実施形態では、方法はさらに：重み付きでない計算された関節速度が、指令再配置又は衝突回避運動のような、様々な他の補助タスクでの使用のために利用可能なままであるように、そこから重み付き関節速度が計算される所望のエンドエフェクタ運動を達成する複数の関節に対するヤコビ行列のゼロ直交空間内で関節速度を計算することによって、所望の運動エフェクタ運動を生じせるように複数の関節のエンドエフェクタ変位運動を決定するステップ、をさらに含み得る。

10

【0015】

1つの態様では、重み付き関節速度を決定することは、ヤコビアンの重み付き疑似逆行列を計算された関節速度に適用する。重み付けは、関節空間の重み付き行列であり得る。重み付けは、放物面のような、関節空間内の二次曲面を含み得る。幾つかの実施形態では、エンドエフェクタ運動を決定するステップは、ヤコビアンの疑似逆行列解を計算すること及び、疑似逆行列解と疑似逆行列解のポテンシャル関数勾配との間の差を計算し、それぞれの関節速度のゼロ空間ベクトルを決定するためにヤコビアンのゼロ空間上に差を射影することによって重み付き関節速度を決定することを含む。

20

【0016】

他の態様では、本明細書に記載される方法のいずれかは：計算された関節速度を使用して複数の関節の1又は複数の補助運動を決定するステップ；及びエンドエフェクタの所望の状態を維持しながら計算された補助運動にしたがって関節を駆動するステップを含み得る。1又は複数の補助運動は、複数の関節の関節の第2のセットの所望の運動を含み得る。関節の第2のセットは、関節の第1のセット内の1又は複数の関節を含み得る1又は複数の関節を含み得る。1又は複数の補助運動は：指令再配置運動、衝突回避運動、補助タスク、又はこれらの任意の組み合わせを含み得る。

30

【0017】

本発明の幾つかの態様では、操作入力部を備える冗長自由度（R D O F）手術ロボットシステムが提供される。R D O F手術ロボットシステムは、マニピュレータアセンブリ、1又は複数のユーザ入力装置、及びコントローラを持つプロセッサを有する。アセンブリのマニピュレータアームは、与えられたエンドエフェクタ状態に対して関節状態の範囲を可能にする十分な自由度を提供する複数の関節を有する。典型的には、所望の運動でエンドエフェクタを動かすための操作指令を受信することに応じて、システムは、関節速度をゼロ空間に直交するヤコビアンのゼロ直交空間内で計算することによって関節のエンドエフェクタ変位運動を計算し、所望のエンドエフェクタ運動を生じせるように計算された運動にしたがって関節を駆動する。マニピュレータの作業空間を拡大するために又は様々な補助タスクを可能にするために、システムは、マニピュレータアームの回転最近位関節及び/又は器具をマニピュレータアームの近位部分に結合する遠位回転関節を含み得る。

40

【0018】

他の態様では、マニピュレータは、器具シャフトの中間部分が遠隔中心（remote center）周りに枢動するよう動くように構成される。マニピュレータと器具との間には、器具シャフトの中間部分がアクセス部位を通過するとき、エンドエフェクタ位置のための関節状態の範囲を可能にする十分な自由度を提供する複数の被動関節がある。コントローラを有するプロセッサは、入力装置をマニピュレータに結合する。所望のエンド

50

エフェクタ運動をもたらす操作指令を受信することに応じて、システムは、ゼロ空間に直交するヤコビアンのゼロ直交空間内で関節速度を計算することを含む、関節のエンドエフェクタ変位運動を計算する。プロセッサはさらに、複数の関節の関節の第1のセットに対する所望の運動を生じさせるように複数の関節の関節空間内で重み付けを適用することにより計算された関節速度を調整することによって重み付き関節速度を計算するように、及び所望のエンドエフェクタ運動及び関節の第1のセットの所望の運動を生じさせるように、計算された重み付き関節速度でマニピュレータームを駆動するようにエンドエフェクタ変位運動に応じてマニピュレータームに指令を送信するように構成される。プロセッサは、重み付き関節速度を計算することが、関節空間内で、又はより具体的には、放物面のような、二次曲面にしたがって適用される重み付き行列を使用するように構成されることができ、重み付けは、関節の運動が、関節の第1のセットの所望の運動を提供するようにゼロ直交空間に沿って強調されるように、関節の第1のセットの所望の運動に対応する。1つの態様では、所望の運動は、重み付き行列又は関節空間の表面に対応する運動に近く又は接近する関節の第1のセットの運動である。

10

【0019】

1つの態様では、マニピュレータームの近位部分は、関節が駆動される間にベースに対する近位部分の運動が妨げられるようにベースに取付けられる。他の態様では、近位部分は、関節が駆動される間にマニピュレータームの近位部分がベースに対して移動可能であるように、関節によって結合される。例示的な実施形態では、マニピュレータームの近位部分をベースに結合する関節は、回転関節の関節運動が回転関節の枢動軸周りにマニピュレータームの1又は複数の関節を枢動させるように、マニピュレータームを支持する回転関節である。多くの実施形態では、回転関節の枢動軸は、関節からその周りでエンドエフェクタの器具シャフトが枢動する遠隔中心を通って延びる。1つの態様では、回転関節の運動は、マニピュレータームの1又は複数の関節を遠位に先細にされ遠位エンドエフェクタに向けて配向される円錐、典型的にはリモートセンタ周りに枢動させる。この態様においてその周りをマニピュレータームが枢動する円錐は、ツール先端の動作範囲内の円錐形状空隙に対応し、この中では、ツールの運動は不可能又は損なわれることができ、以下にさらに詳細に議論される。

20

【0020】

他の態様では、マニピュレータームの近位部分をベースに結合する関節は、経路に沿って、典型的には、経路に沿った関節の運動が、マニピュレータームの1又は複数の関節を、器具の近くのマニピュレータームの遠位部分を通って、好ましくはその周りを器具シャフトが枢動する遠隔中心を通って延びる軸周りに枢動させるように、アーチ形又は実質的に円形経路に沿って、ベースに対し移動可能である。幾つかの実施形態では、マニピュレータは、マニピュレータの近位部分をベースに結合する回転関節を含み、回転関節は、経路に沿ってベースに対して移動可能であり、この経路は、直線、アーチ形又は実質的に円形であり得る。

30

【0021】

本発明のさらに他の態様では、近位回転関節及び遠位平行四辺形リンク機構を持つ手術ロボットマニピュレータが提供され、回転関節の枢動軸は、エンドエフェクタの器具シャフトの軸と、好ましくは、該当する場合は遠隔中心で、実質的に交差する。システムはさらに、入力部をマニピュレータームと結合するコントローラを有するとともに、所望のエンドエフェクタ運動を生じさせる重み付き関節速度を計算することによってユーザの入力指令に応じて複数の関節の運動を計算するように構成されるプロセッサを含み、関節速度の重み付けは、近位ベースとエンドエフェクタとの間の関節の1又は複数の所望の運動に対応する。幾つかの実施形態では、プロセッサはさらに、1又は複数の補助タスクを生じさせるように重み付きでない関節速度からゼロ空間内で関節速度を計算するように構成される。

40

【0022】

本発明の性質及び利点のさらなる理解は、明細書の残りの部分及び図面を参照すること

50

によって明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1A】本発明の実施形態によるロボット手術システムの上面図であり、ロボット手術システムは、患者内の内部手術部位で手術用エンドエフェクタを有する手術器具をロボット式に動かすための複数のロボットマニピュレータを持つ手術ステーションを有する。

【図1B】図1Aのロボット手術システムを概略的に示す。

【図2】図1Aの手術システムに外科手術指令を入力するためのマスタ外科医コンソール又はワークステーションを示す斜視図であり、コンソールは、入力指令に応じてマニピュレータ指令信号を生成するためのプロセッサを含む。

10

【図3】図1Aの電子機器カートの斜視図である。

【図4】4つのマニピュレータアームを有する患者側カートの斜視図である。

【図5A】例示的なマニピュレータアームを示す。

【図5B】例示的なマニピュレータアームを示す。

【図5C】例示的なマニピュレータアームを示す。

【図5D】例示的なマニピュレータアームを示す。

【図6A】それぞれピッチフォワード形態及びピッチバック形態にある例示的なマニピュレータアームを示す。

【図6B】それぞれピッチフォワード形態及びピッチバック形態にある例示的なマニピュレータアームを示す。

【図6C】ピッチフォワード及びピッチバック形態のそれにおける沈黙円錐又は円錐ツールアクセス制限区域を含む、例示的なマニピュレータアームの手術器具ツール先端の動作範囲の図形表現を示す。

【図7A】近位回転関節の軸周りにマニピュレータアームを回転させる近位回転関節を有する例示的なマニピュレータアームを示す。

【図7B】例示的なマニピュレータアーム並びに関連付けられる動作範囲及び沈黙円錐を示し、例示的なマニピュレータアームは、近位回転関節の軸周りにマニピュレータアームを回転させる近位回転関節を有し、その運動は描かれた沈黙円錐を緩和するために使用されることができる。

【図8】遠位器具ホルダ近くに回転関節を有する例示的なマニピュレータアームを示す。

【図9】器具ホルダを関節軸周りに回転させる又はねじる遠位器具ホルダの近くに回転関節を有する例示のマニピュレータを示す。

【図10A】関節が関節運動のその範囲にわたって動かされる際、遠位器具ホルダ近くに回転関節を有する例示的なマニピュレータアームの連続した図を示す。

【図10B】関節が関節運動のその範囲にわたって動かされる際、遠位器具ホルダ近くに回転関節を有する例示的なマニピュレータアームの連続した図を示す。

【図10C】関節が関節運動のその範囲にわたって動かされる際、遠位器具ホルダ近くに回転関節を有する例示的なマニピュレータアームの連続した図を示す。

【図11A】関節の角度変位がそれぞれ0°対90°の角度変位であるときの遠位回転関節を有する例示的なマニピュレータアームの回転した側面図を示す。

【図11B】関節の角度変位がそれぞれ0°対90°の角度変位であるときの遠位回転関節を有する例示的なマニピュレータアームの回転した側面図を示す。

【図12A】関節の経路の周りにマニピュレータアームを支持する近位関節を並進移動させる近位関節を有する例示的なマニピュレータアームを示す。

【図12B】関節の経路の周りにマニピュレータアームを支持する近位関節を並進移動させる近位関節を有する例示的なマニピュレータアームを示す。

【図12C】関節の経路の周りにマニピュレータアームを支持する近位関節を並進移動させる近位関節を有する例示的なマニピュレータアームを示す。

【図13A】例示的なマニピュレータアセンブリのヤコビアンのゼロ空間とゼロ直交空間との間の関係を図で示す。

20

30

40

50

【図13B】例示的なマニピュレーターセンブリのヤコビアンのゼロ空間とゼロ直交空間との間の関係を図で示す。

【図14】ヤコビアンの疑似逆行列及びポテンシャル関数勾配を使用して関節空間内で重み付き関節速度を計算する方法を図式的に描く。

【図15】例示的なマニピュレーターセンブリに一般的なアルゴリズムを実装するために使用されるブロック図を示す。

【図16】本発明による例示的な方法のブロック図を示す。

【図17】本発明による例示的な方法のブロック図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0024】

本発明は、概して、改良された手術及びロボット装置、システム、及び方法を提供する。本発明は、複数の手術ツール又は器具が、外科手術中に、関連付けられる複数のロボットマニピュレータに取り付けられ且つ動かされ得る手術ロボットシステムでの使用に特に有利である。ロボットシステムは、大抵、マスタスレーブコントローラとして構成されるプロセッサを含む、遠隔ロボット、遠隔手術、及び/又はテレプレゼンスシステムを有する。比較的大きい数の自由度を有する多関節リンク機構を持つマニピュレーターセンブリを動かすように適切に構成されたプロセッサを用いるロボットシステムを提供することによって、リンク機構の動作は、低侵襲アクセス部位を通る作業に適合されることができる。本発明の態様は概して冗長自由度を有するマニピュレータを記載しているが、態様は、非冗長マニピュレータ、例えば、特異点に直面する又は近づくマニピュレータ、に当たはまり得ることが理解される。

【0025】

本明細書に記載されるロボットマニピュレーターセンブリは、大抵、ロボットマニピュレータ及びそこに取付けられたツールを含む（ツールは、大抵、外科用の手術器具を有する）が、用語「ロボットアセンブリ」はまた、そこに取付けられたツールの無いマニピュレータも包含する。用語「ツール」は、汎用又は産業用ロボットツール及び専用ロボット手術器具の両方を包含し、これらの後者の構造は、大抵、組織の操作、組織の治療、組織の画像化等に適したエンドエフェクタを含む。ツール/マニピュレータインターフェイスは、大抵、迅速なツールの取り外し及び代替ツールとの交換を可能にする、クイック取り外しツールホルダ又はカップリングである。マニピュレーターセンブリは、大抵、ロボット手術の少なくとも一部の間に、空間内に固定されたベースを有し、マニピュレーターセンブリは、ベースとツールのエンドエフェクタとの間に多数の自由度を含み得る。エンドエフェクタの作動（例えば、把持装置の顎部の開閉、電気手術パドルへの通電等）は、大抵、これらマニピュレーターセンブリの自由度から分離され、及び追加される。

【0026】

エンドエフェクタは、典型的には、2から6の間の自由度で作業空間内を動く。本明細書で使用されるとき、用語「位置」は、位置及び配向（向き）の両方を包含する。従って、（例えば）エンドエフェクタの位置の変化は、第1の位置から第2の位置へのエンドエフェクタの並進、第1の配向から第2の配向へのエンドエフェクタの回転、又は両方の組み合わせを含み得る。低侵襲ロボット手術に使用されるときに、マニピュレーターセンブリの運動は、シャフト又はツール若しくは器具の中間部分が、低侵襲手術アクセス部位又は他の開口部を通る安全な動作に拘束されるように、システムのプロセッサによって制御され得る。このような動作は、例えば、開口部位を通した手術用作業空間へのシャフトの軸方向挿入、その軸回りのシャフトの回転、及びアクセス部位に隣接する枢動ポイント周りのシャフトの枢動動作を含み得る。

【0027】

本明細書中に記載される例示的なマニピュレーターセンブリの多くは、エンドエフェクタを手術部位内で位置決め及び動かすために必要とされるよりも多くの自由度を有する。例えば、低侵襲開口部を介して内部手術部位において6自由度で位置決めができる手術用エンドエフェクタは、いくつかの実施形態では、9つの自由度（6エンドエフ

エクタ自由度 - 位置について 3 つ、 配向について 3 つ - アクセス部位拘束条件に適合するようにさらに 3 つの自由度) を有し得るが、 大抵、 10 以上の自由度を有する。 与えられたエンドエフェクタ位置のために必要とされるよりも多くの自由度を有する高度に設定可能なマニピュレーターセンブリは、 作業空間内においてエンドエフェクタ位置に対する関節状態の範囲を可能にするための十分な自由度を有する又は提供するものとして記載されることがある。 例えば、 与えられたエンドエフェクタ位置に対して、 マニピュレーターセンブリは、 代替マニピュレータリンク機構位置の範囲のいずれかを占め(且つその間に駆動され) 得る。 同様に、 与えられたエンドエフェクタ速度ベクトルに対して、 マニピュレーターセンブリは、 ヤコビアンのゼロ空間内のマニピュレーターセンブリの様々な関節に対する異なる関節運動速度の範囲を有し得る。

10

【 0 0 2 8 】

本発明は、 広い動作範囲が望まれ、 限られた専用容積が、 他のロボットリンク機構、 手術従事者及び機器等の存在のために、 利用可能である、 外科(及びその他の)用途に特に適したロボットリンク機構構造を提供する。 各ロボットリンク機構に必要とされる大きな動作範囲及び減少した容積はまた、 ロボット支持構造の位置と手術又は他の作業空間との間により大きな柔軟性も提供することができ、 それによって、 セットアップを容易にし且つ高速化する。

【 0 0 2 9 】

用語、 関節等の「状態」は、 大抵、 本明細書において、 関節に関連付けられる制御変数を指す。 例えば、 角度関節の状態は、 その動作範囲内のその関節によって規定される角度、 及び / 又は関節の角速度を指すことができる。 同様に、 軸方向又は直動関節の状態は、 関節の軸方向位置、 及び / 又はその軸方向速度を指すことができる。 本明細書中に記載されるコントローラの多くは、 速度コントローラを含むが、 それらはまた、 大抵、 いくつかの位置制御の態様も有する。 代替実施形態は、 位置コントローラ、 加速度コントローラ等に主に又は完全に依拠し得る。 そのような装置で使用されることができる制御システムの多くの態様が、 米国特許第 6,699,177 号により完全に記載されており、 この文献の全開示は、 参照により本明細書に援用される。 したがって、 記載される運動が、 関連する計算に基づく限り、 本明細書に記載される関節の運動及びエンドエフェクタの運動の計算は、 位置制御アルゴリズム、 速度制御アルゴリズム、 これらの両方の組み合わせ等を使用して行なわれ得る。

20

【 0 0 3 0 】

幾つかの態様では、 例示的なマニピュレータームのツールは、 低侵襲開口部に隣接する枢動点の周りを枢動する。 いくつかの実施形態では、 システムは、 米国特許第 6,786,896 号に記載される遠隔中心運動学のような、 ハードウェア遠隔中心を利用することができます、 この文献の全内容は、 全体が本明細書に援用される。 このようなシステムは、 マニピュレータによって支持される器具のシャフトが遠隔中心点の周りを枢動するようにリンク機構の運動を拘束する、 二重平行四辺形リンク機構を利用し得る。 代替の機械的に拘束された遠隔中心リンク機構システムは、 知られており、 及び / 又は将来開発され得る。 驚くべきことに、 本発明の様々な態様に関連する研究は、 遠隔中心リンク機構システムが、 高度に設定可能な運動学的なアーキテクチャから利益を得ることができることを示す。 特に、 手術用ロボットシステムが、 低侵襲手術アクセス部位において又はその付近で交差する 2 つの軸の回りの枢動動作を可能にするリンク機構を有するとき、 球状の枢動動作は、 患者内の所望の動作範囲の全範囲を包含し得るが、 依然として回避可能な欠点(不十分に条件付けされ、 アームとアームとの間又はアームと患者との間で受けやすい患者の外部の接触等)に悩まされ得る。 まず、 アクセス部位での又はその付近の枢動動作に機械的にも拘束される 1 又は複数の付加的な自由度を追加することは、 動作範囲のいくつか又はいずれかの改良を提供するように思えるかもしれない。 それにもかかわらず、 驚くべきことに、 そのような関節は、 他の外科手術のための動作範囲をさらに拡張することによって等、 システム全体が、 衝突防止姿勢に構成される又は衝突防止姿勢に向けて駆動されることを可能にすることによって、 重要な利点を提供することができる。 他の実施形態では、

30

40

50

システムは、米国特許第8,004,229号に記載されるような遠隔中心を実現するためにソフトウェアを利用することができ、この文献の全体の内容は、参照により本明細書に援用される。ソフトウェア遠隔中心を有するシステムでは、機械的な拘束条件とは対照的に、プロセッサは、決定された枢動点周りに器具シャフトの中間部分を枢動させるように、関節の運動を計算する。ソフトウェア枢動点を計算する能力を有することによって、システムのコンプライアンス又は剛性によって特徴付けられる異なるモードが、選択的に実装されることができる。より具体的には、枢動点／中心（例えば、可動枢動点、受動枢動点、固定／剛性枢動点、ソフト枢動点）の範囲に亘る異なるシステムモードが、必要に応じて実装されることができる。

【0031】

10

多数の高度に設定可能なマニピュレータを有するロボット手術システムの多くの利点にも拘わらず、マニピュレータが、ベースと冗長自由度を持つ器具との間に比較的多数の関節及びリンクを含むので、遠位エンドエフェクタ及び／又は遠隔中心の所望の運動を達成するための複数の関節の指令運動は、1又は複数の関節に関連付けられる望ましくない、過度な運動エネルギーを生み出し得る、又は、所望の動作選択に適合しない動作を生み出し得る。望ましくない関節速度の例は、関節状態の望ましくない組み合わせ、1又は複数の関節に対する過度な関節速度、或いは不釣合いな関節状態を含み得る。本発明は、指令エンドエフェクタ運動の間の1又は複数の関節に対する、関節状態の組み合わせ又は本明細書に記載される他のこののような運動のような、所望の運動を提供する。

【0032】

20

1つの態様では、システムは、ツール先端及び／又は遠隔中心の指令運動を達成する重み付き関節速度を計算するように構成される。関節速度は、ゼロ空間方向に異方性の関節の動作を強調するように関節空間に重み付けされ、重み付けは、重み付き関節速度にしたがって関節を駆動することが関節の第1のセットの所望の運動を提供しながら指令運動を達成するように、関節の第1のセットの所望の状態又は運動に対応する。第1のアプローチでは、重み付き関節速度は、関節空間内で重み付き行列を適用することによって計算される。第2のアプローチでは、ツール先端及び／又は遠隔中心の指令運動を達成する重み付きでない関節速度並びに重み付き関節速度が、重み付きでない関節速度を使用して計算される。このアプローチは、重み付きでない関節速度が、指令再配置及び衝突回避タスクのような、1又は複数の様々な他のタスクを生じさせるために使用される能够で、特に便利である。幾つかの態様では、重み付きでない及び重み付き関節速度は、放物面又は橜円面のような、関節空間内の二次曲面を有する重み付けを使用する同じカーネル内で計算される。重み付き関節速度は、例えば以下にさらに詳細に記載されるように、重み付きでない関節速度から、疑似逆行列解及び解のポテンシャル関数勾配の間の差を使用して計算される能够である。

30

【0033】

1つの態様では、手術空間内での指令エンドエフェクタ運動は、運動学的ヤコビアンのゼロ空間直交内でプロセッサによって計算された関節の強調エンドエフェクタ変位運動にしたがってマニピュレータの1又は複数の関節を駆動することによって、もたらされる。再配置運動又は衝突回避運動のような、様々な他のタスクは、しばしばエンドエフェクタ変位運動と同時に、ヤコビアンのゼロ空間内で計算される関節の協調運動にしたがてマニピュレータの1又は複数の関節を駆動することによってエンドエフェクタの所望の状態を維持しながら、もたらされ得る。幾つかの実施形態では、これらの様々な他のタスクは、システムが同じイテレーション又はカーネルの中で重み付き及び重み付きでない関節速度の両方を計算するように構成される能够のように、重み付きでない関節速度を利用し得る。このような実施形態は、重み付き関節速度を決定するために必要な計算を減少させるように重み付きでない関節速度を使用して関節速度に重みを付けるための代替方法を利用し得る。

40

【0034】

幾つかの実施形態では、自律アルゴリズムに基づく回避運動のような、様々な他のタス

50

クに関連する計算された運動は、様々な他のタスクを生じさせるために計算された関節速度に重なり得る。このような回避運動の例は、“Manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space”と題する、2012年6月1日に出願された米国仮出願第61/654,755号、及び“System and Methods for Avoiding Collisions Between Manipulator Arms Using a Null-Space”と題する、2012年6月1日に出願された米国仮出願第61/654,773号に記載され、これらの開示はそれらの全体が参照により本明細書に援用される。しかし、異方的に強調された関節運動に重なる計算された運動は、自律運動に限定されるものではなく、指令再配置運動、運動の範囲、器用さ又は状態を向上させるための運動のような、様々な他の運動を含み得る。このような指令再配置の例は、“Commanded Reconfiguration of a Surgical Manipulator Using the Null Space”と題する、2012年6月1日に出願された米国仮出願第61/654,764号に記載され、この開示はその全体が参照により本明細書に援用される。

10

【0035】

以下の説明では、本発明の様々な実施形態が説明される。説明目的のために、特定の構成及び詳細が、実施形態の完全な理解を提供するために記載される。しかし、本発明を特定の詳細なしに実施され得ることが当業者には明らかであろう。さらに、良く知られた特徴は、説明される実施形態を不明瞭にしないために、省略又は簡略化され得る。

20

【0036】

ここで図面を参照すると、同様の参照符号は、いくつかの図面を通じて同様の部品を表し、図1Aは、手術台14の上に横たわっている患者12に低侵襲診断又は外科手術を行う際に使用するための、多くの実施形態に従う、低侵襲ロボット手術（MIRS）システム10の上面図である。このシステムは、手術中に外科医18による使用のための外科医側コンソール16を含むことができる。1又は複数の助手20もまた、手術に参加することができる。MIRSシステム10はさらに、患者側カート22（手術用ロボット）と電子機器カート24を含むことができる。患者側カート22は、外科医18がコンソール16を通じて手術部位を視認しながら、少なくとも1つの取り外し可能に結合されたツールアセンブリ26（以下、単に「ツール」という）を、低侵襲切開部を通して患者12の体内で操作することができる。手術部位の画像は、立体内視鏡のような、内視鏡28によって得ることができ、この内視鏡は、内視鏡28を配向させるように、患者側カート22によって操作されることができる。電子機器カート24は、外科医側コンソール16を通じた外科医18への後続の表示のために手術部位の画像を処理するために使用されることができる。一度に使用される手術ツール26の数は、一般的に、診断又は外科手術、及び特に手術室内の空間的制約に依存するであろう。手術中に使用される1又は複数のツール26を変更する必要がある場合、助手20は、患者側カート22からツール26を取り外し、それを手術室内のトレイ30から別のツール26と交換し得る。

30

【0037】

図1Bは、（図1AのMIRSシステム10のような）ロボット手術システム50を概略的に示す。上述のように、（図1Aの外科医側コンソール16のような）外科医側コンソール52は、（図1Aの患者側カート22のような）患者側カート（手術ロボット）54を制御するために、低侵襲手術中に外科医によって使用されることができる。患者側カート54は、手術部位の画像をキャプチャし且つキャプチャした画像を（図1Aの電子機器カート24のような）電子機器カート56に出力するために、立体内視鏡のような、撮像装置を使用することができる。上述のように、電子機器カート56は、任意の後続の表示の前に、キャプチャした画像を様々な方法で処理することができる。例えば、電子機器カート56は、外科医側コンソール52を介して合成画像を外科医に表示する前に、キャプチャした画像を仮想制御インターフェイスに重ねる（オーバーレイする）ことができる。患者側カート54は、電子機器カート56の外部で処理するためにキャプチャした画像

40

50

を出力することができる。例えば、患者側カート 5 4 は、キャプチャした画像をプロセッサ 5 8 に出力することができ、このプロセッサはキャプチャした画像を処理するために使用されることができる。画像はまた、電子機器カート 5 6 及びプロセッサ 5 8 の組み合わせによっても処理されることができ、この電子機器カート 5 6 及びプロセッサ 5 8 は、キャプチャした画像を一緒に、順番に、及び／又はこれらの組み合わせで処理するように、共に結合されることができる。1 又は複数の別個のディスプレイ 6 0 もまた、手術部位の画像のような画像の、又は他の関連画像の局所的及び／又は遠隔表示のために、プロセッサ 5 8 及び／又は電子機器カート 5 6 に結合されることができる。

【 0 0 3 8 】

図 2 は、外科医側コンソール 1 6 の斜視図である。外科医側コンソール 1 6 は、奥行き知覚を可能にする手術部位の調整された立体視を外科医 1 8 に表示するための左眼用ディスプレイ 3 2 と右眼用ディスプレイ 3 4 を含む。コンソール 1 6 はさらに、1 又は複数の入力制御装置 3 6 を含み、この入力制御装置は、(図 1 A に示される) 患者側カート 2 2 に 1 又は複数のツールを操作させる。入力制御装置 3 6 は、外科医にテレプレゼンスを、又は外科医がツール 2 6 を直接的に制御するための強く認識できる感覚を有するように、入力制御装置 3 6 がツール 2 6 と一体であるという知覚を提供するように、(図 1 A に示される) それらに関連付けられるツール 2 6 と同じ自由度を提供することができる。この目的を達成するために、位置、力、及び触覚フィードバックセンサ(図示せず)が、位置、力、及び触覚感覚を、ツール 2 6 から入力制御装置 3 6 を介して外科医の手に戻って送信するために用いられる。

10

20

【 0 0 3 9 】

外科医側コンソール 1 6 は、通常、外科医が手術を直接的に監視し得るように、必要に応じて物理的に存在するように、そして電話又は他の通信媒体を介して話すのではなく、助手に直接的に話すように、患者と同じ部屋に位置している。しかし、外科医は、別の部屋、完全に異なる建物、又は遠隔外科手術を許可している患者から遠隔の他の場所に位置することができる。

【 0 0 4 0 】

図 3 は、電子機器カート 2 4 の斜視図である。電子機器カート 2 4 は、内視鏡 2 8 と結合されることができ、外科医側コンソール上で外科医に、又は局所的及び／又は遠隔に位置する別の適切なディスプレイ上でのような、後続の表示のためにキャプチャした画像を処理するためのプロセッサを含むことができる。例えば、立体内視鏡が使用される場合、電子機器カート 2 4 は、手術部位の調整された立体画像を外科医に提示するように、キャプチャした画像を処理することができる。このような調整は、対向する画像同士間の位置合わせを含むことができ、且つ立体内視鏡の立体作動距離を調節することを含むことができる。別の例として、画像処理は、光学収差のような、画像取込装置の結像誤差を補償するように、以前に決定されたカメラ較正パラメータの使用を含むことができる。

30

【 0 0 4 1 】

図 4 は、複数のマニピュレータームを有する患者側カート 2 2 を示し、各アームは、手術器具又はツール 2 6 をマニピュレータームの遠位端部で支持する。示される患者側カート 2 2 は、手術ツール 2 6 、又は手術部位の画像をキャプチャするために使用される立体内視鏡のような撮像装置 2 8 のいずれかを支持するために使用されることができる、4 つのマニピュレーターム 1 0 0 を含む。操作は、多数のロボット関節を有するロボットマニピュレーターム 1 0 0 によって提供される。撮像装置 2 8 及び手術ツール 2 6 は、運動学的遠隔中心が切開部の大きさを最小にするよう切開部に維持されるように、患者の切開部を介して位置決めされ且つ操作されることができる。手術部位の画像は、手術器具又はツール 2 6 が撮像装置 2 8 の視野内に配置されるとき、手術器具又はツール 2 6 の遠位端部の画像を含むことができる。

40

【 0 0 4 2 】

手術ツール 2 6 に関して、種々の代替のロボット手術ツール又は異なる種類の器具及び様々なエンドエフェクタが、使用されることができ、マニピュレータの少なくともいくつ

50

かの器具は、外科手術中に取り外されるとともに置き換えられる。De B a k e y 鉗子、マイクロピンセット、ポツツはさみ、及びクリップアプライヤを含む、これらのエンドエフェクタのいくつかは、エンドエフェクタ顎部のペアを規定するように、互いに対して枢動する第1及び第2のエンドエフェクタ要素を含む。メス及び電気焼灼プローブを含む他のエンドエフェクタは、単一のエンドエフェクタ要素を有する。エンドエフェクタ顎部を有する器具に関して、顎部は大抵、ハンドルの把持部材を絞ることによって作動される。単一のエンドエフェクタ器具もまた、例えば電気焼灼プローブにエネルギーを与えるために、把持部材の把持によって作動され得る。

【0043】

器具26の細長いシャフトは、エンドエフェクタ及びシャフトの遠位端部が、低侵襲開口部を通して、大抵、腹壁等を通して手術作業部位に遠位に挿入されることを可能にする。手術作業部位はガス注入されることができ、患者内のエンドエフェクタの運動は、大抵、シャフトが低侵襲開口部を通過する位置の周りに器具26を枢動させることによって、少なくとも部分的に生み出される。換言すれば、マニピュレータ100は、エンドエフェクタの所望の動きを提供するのに役立つように、シャフトが低侵襲開口部位置を通って延びるように、器具の近位ハウジングを患者の外部で動かす。こうして、マニピュレータ100は、大抵、外科手術中、患者Pの外側で大きな動きを受ける。

【0044】

本発明の多くの実施形態による例示的なマニピュレータームは、図5A-12Cを参照して理解することができる。上述のように、マニピュレータームは、一般的に、遠位器具又は手術ツールを支持し、ベースに対する器具の動きをもたらす。異なるエンドエフェクタを有する多数の異なる器具が、(典型的には、外科助手の助けを借りて)外科手術中に、各マニピュレータに順番に取り付けられるので、遠位器具ホルダは、好ましくは、取り付けられた器具又はツールの迅速な取り外し及び交換を可能にする。図4を参照して理解することができるよう、マニピュレータは、患者側カートのベースに対して近位に取り付けられる。典型的には、マニピュレータームは、ベースと遠位器具ホルダとの間に延びる複数のリンク機構及び関連する関節を含む。1つの態様では、例示的なマニピュレータは、マニピュレータームの関節が与えられたエンドエフェクタ位置に対して異なる形態の範囲に駆動される能够性を有するように、冗長自由度を有する複数の関節を含む。これは、本明細書に開示されたマニピュレータームの実施形態のいずれの場合でも適用され得る。

【0045】

図5Aに示されるような、多くの実施形態では、例示的なマニピュレータームは、マニピュレータームを関節の遠位で関節軸回りに回転させるように、第1関節軸の回りに回転する近位回転関節J1を含む。いくつかの実施形態では、回転関節J1は、ベースに直接取り付けられるが、他の実施形態では、関節J1は、1又は複数の可動リンク機構又は関節に取り付けられ得る。マニピュレータの関節は、組み合わされて、マニピュレータームの関節が、与えられたエンドエフェクタ位置について異なる形態の範囲内で駆動される能够性を有する。例えば、図5A-図5Dのマニピュレータームは、異なる形態で操作され得る一方、器具ホルダ510内に支持された遠位部材511は特定の状態を維持し且つエンドエフェクタの与えられた位置又は速度を含み得る。遠位部材511は、典型的には、ツールシャフト512が通って延びるカニューレであり、器具ホルダ501は、典型的には、カニューレを通って患者の体内に低侵襲開口部を通って延びる前に器具が付く(スパー上を並進する煉瓦状構造として示される)キャリッジである。

【0046】

図5A-図5Dのマニピュレーターム500の個々のリンクを、図5A-図5Dに示されるようにリンクを接続する関節の回転軸に沿って説明すると、第1のリンク504は、その関節軸の回りを枢動する枢動関節J2から遠位に延び、その関節軸の回りを回転する回転関節J1に結合される。図5Aに示されるように、関節の残りの多くは、それらの

10

20

30

40

50

関連付けられる回転軸によって識別されることができる。例えば、示されるように、第1のリンク504の遠位端部は、その枢動軸の回りを枢動する枢動関節J3で第2のリンク506の近位端部に結合され、第3のリンク508の近位端部は、その軸線の回りを枢動する枢動関節J4で第2のリンク506の遠位端部に結合される。第3のリンク508の遠位端部は、枢動関節J5で器具ホルダ510に結合される。典型的には、関節J2、J3、J4、及びJ5のそれぞれの枢動軸は、実質的に平行であり、且つ図5Dに示されるように、互いに隣接して位置決めされたときに、リンク機構は、マニピュレータームの減少幅wを提供するとともにマニピュレータセンブリの操縦中の患者クリアランスを向上させるように、「積み重ねられた(stacked)」ように見える。多くの実施形態では、器具ホルダはまた、低侵襲開口部を通る器具306の軸方向運動を容易にするとともに、器具が摺動自在に挿通されるカニューレに対して器具ホルダの取り付けを容易にする直動関節J6のような、追加の関節を含む。

10

【0047】

遠位部材又はそこを通ってツール512が延びるカニューレ511は、器具ホルダ510の遠位側に追加の自由度を含み得る。器具の自由度の作動は、大抵、マニピュレータのモータで駆動され、代替実施形態は、クイック取り外し可能器具ホルダ/器具インターフェイスにおいて、器具を、支持マニピュレータ構造から分離することができ、それによって、器具上に存在するものとしてここで示される1又は複数の関節が、代わりに、インターフェイス上に存在し、またその逆になる。いくつかの実施形態では、カニューレ511は、ツール先端の挿入ポイント又は枢動ポイントPPの近く又は近位の回転関節J7(図示せず)を含み、このツール先端の挿入ポイント又は枢動ポイントは、一般的に低侵襲開口部の部位に配置される。器具の遠位手首は、器具手首における1又は複数の関節の器具関節軸周りの手術ツール512のエンドエフェクタの枢動運動を可能にする。エンドエフェクタ顎部要素の間の角度は、エンドエフェクタの位置及び配向とは独立して制御され得る。

20

【0048】

例示的なマニピュレータセンブリの動作範囲は、図6A-6Cを参照することによって理解することができる。手術中、例示的なマニピュレータームは、手術作業部位内の特定の患者組織にアクセスすることが必要なとき、図6Aに示されるように、ピッチフォワード形態に、又は図6Bに示されるように、ピッチバック形態に操作されることができる。典型的なマニピュレータセンブリは、少なくとも ± 60 度で、好ましくは約 ± 75 度で前方及び後方にピッチ動作することができ、且つまた ± 80 度でヨー動作することができるエンドエフェクタを含む。この態様は、センブリでエンドエフェクタの増大した操作性を可能にするが、特に、マニピュレータームが図6A及び6Bのように、最大のピッチフォワード又は最大のピッチバック形態にあるとき、エンドエフェクタの運動が制限され得る形態があり得る。1つの実施形態では、マニピュレータームは、外側ピッチに関して(+/-75度)の、及び外側ヨー関節に関して(+/-300度)の動作範囲(ROM)をそれぞれ有する。幾つかの実施形態では、ROMは、(+/-90度)より大きいROMを提供するように外側ピッチに関して増大されることができ、この場合、関節の運動が制限又は不可能である空間の円錐(cone of space)が完全に消されることができるが、一般的に挿入制限に関連付けられる内球はそのままである。様々な実施形態はROMを増大又は減少させるように構成されることができ、上述のROMは説明目的で提供され、さらに、本発明は本明細書に記載されるROMに限定されるものではないことが理解される。

30

【0049】

図6Cは、図5A-5Bの例示的なマニピュレータのツール先端の全動作範囲及び作業空間を図式的に示す。作業空間は半球として示されているが、関節J1のような、マニピュレータの1又は複数の回転関節の動作範囲及び構成に依存して球としても示され得る。示されるように、図6Cの半球は、中心の、球状の空隙並びに2つの円錐状の空隙を含む。空隙は、ツール先端の運動が、機械的な制約のために不可能又は、エンドエフェクタの

40

50

運動を難しく若しくは遅くする過度に高い関節速度のために、実行不可能であり得る領域を示す。これらの理由のために、円錐状の空隙は、「沈黙円錐（cone of silence）」と称される。幾つかの実施形態では、マニピュレータームは、円錐内のあるポイントで特異点に到達し得る。沈黙円錐内又は沈黙円錐近くでのマニピュレータの運動は損なわれ得るので、マニピュレータのリンク機構及び関節を再配置するためにマニピュレータの1又は複数のリンクを手動で動かすことなしに、マニピュレータームを沈黙円錐から離すことは難しく、この手動で動かすことは大抵、代替動作モードを必要とし且つ手術を遅らせる。

【0050】

これらの円錐部分への又はこれらの円錐部分の近くの器具シャフトの運動は、典型的には、マニピュレータの遠位リンク機構の間の角度が比較的小さいときに、発生する。したがって、このような形態は、（リンク機構が互いに對してより直交位置に動かされるように）リンク機構の間の角度を増加させるためにマニピュレータの運動を異方的に強調することによって回避することができる。例えば、図6A及び6Bに示された形態では、最遠位リンクと器具ホルダとの間の角度（角度a）が比較的小さくなるとき、マニピュレータの運動はより困難になり得る。様々な実施形態の残りの関節における関節運動の範囲に依存して、あるリンク機構の間の角度が減少するとき、マニピュレータの運動は、妨げられる場合があり、幾つかの場合には、マニピュレータームはもはや冗長ではなくなり得る。器具シャフトがこれらの円錐状部分に近づく、又はリンク機構間の角度が比較的低いマニピュレータ形態は、マニピュレータームの操作性及び器用さが制限されるように「不完全な状態」にあると言われる。器用さ及び運動範囲を維持するようにマニピュレータが「良い状態」にあることが望ましい。1つの態様では、本発明は、ユーザが、手術におけるエンドエフェクタの運動中でさえ、要望通りにマニピュレータを再配置するための指令を単に入力することによって、上述の円錐部分近くの器具シャフトの運動を避けることを可能にする。この態様は、マニピュレータが、何らかの理由で、「不完全な状態」になる場合に、特に有益である。

【0051】

上述のマニピュレータの実施形態は本発明に利用され得るが、幾つかの実施形態は、追加の関節を含むことができ、この追加の関節はまた、マニピュレータームの器用さ及び調整を改良するために使用され得る。例えば、例示的なマニピュレータは、図5Aのマニピュレーターム、及び、沈黙円錐を減少又は排除するために回転関節の軸周りの、それに関連付けられる、沈黙円錐を回転させるために使用されることができる、関節J1の近位の回転関節及び/又はリンク機構、を含み得る。他の実施形態では、例示的なマニピュレータはまた、器具ホルダを関節J5と実質的に直交する軸周りに枢動させる遠位枢動関節を含むことができ、それによって、沈黙円錐をさらに減少させ且つ手術ツールの運動範囲を向上させるようにツール先端をオフセットする。さらに他の実施形態では、J1のような、マニピュレータームの近位関節は、必要に応じて沈黙円錐を動かす又は位置を変える且つマニピュレータツール先端の動作範囲を向上させるように、ベースに移動可能に取り付けられ得る。このような追加の関節の使用及び利点は、図7A-12Cを参照することによって理解されることができ、これらの図はこのような関節の例を示し、このような関節は、それぞれ、本明細書に記載される例示的なマニピュレータームのいずれかの中で、互いに独立して使用され得る又は組み合わせて使用され得る。

【0052】

図7A-7Bは、例示的なマニピュレータームでの使用のための追加の冗長関節-マニピュレータームの近位部分をベースに結合する第1の関節を示す。第1の関節は、マニピュレータームを関節J1の関節軸周りに回転させる近位回転関節J1である。近位回転関節J1は、関節J1を近位回転関節J1'から所定の距離又は角度だけオフセットするリンク501を含む。リンク501は、図7Aに示されるように、湾曲リンク機構、又は図7Bに示されるように、直線又は傾斜リンク機構であることができる。典型的には、関節J1の関節軸は、図7Aのそれぞれに示されるように、遠隔中心RC又はツール先

10

20

30

40

50

端の挿入ポイントと位置合わせされる。例示的な実施形態では、関節 J 1 の関節軸は、体壁での動作を防ぐために、マニピュレータームのそれぞの他の回転関節がするように、遠隔中心を通過し、したがって、手術中に動かされることができる。関節 J 1 の軸は、アームの近位部分に結合されるので、アームの後部の位置及び配向を変更するために使用されることがある。一般的に、このような、冗長軸は、器具先端が、外科医の指令に従うことを可能にする一方同時に他のアーム又は患者の解剖学的構造との衝突を回避する。1つの態様では、近位回転関節 J 1 は、単にフロアに対するマニピュレータの取付角度を変更するために使用される。この角度は、1) 外部の患者の解剖学的構造との衝突を回避し且つ2) 体内の解剖学的構造に到達するために、重要である。典型的には、近位回転関節 J 1 に取付けられたマニピュレータの近位リンクと近位回転の軸との間の角度 α は約 15 度である。

10

【0053】

図 7B は、近位回転関節 J 1 とその関連付けられる関節軸と例示的なマニピュレータームの沈黙円錐との関係を示す。近位回転関節 J 1 の関節軸は、沈黙円錐を通過し得る又は沈黙円錐の完全に外側にあり得る。近位回転関節 J 1 の軸周りにマニピュレータームを回転させることによって、沈黙円錐は（関節 J 1 軸が沈黙円錐を通過する実施形態において）減らされることができる、又は（近位回転関節軸が沈黙円錐の完全に外側に延びる実施形態において）有効に除去されることができる。リンク 501 の距離及び角度は、沈黙円錐に対する関節 J 1 軸の位置を決定する。

20

【0054】

図 8 は、例示的なマニピュレータームでの使用のための他の種類の冗長関節を示し、遠位回転関節 J 7 は、器具ホルダ 510 をマニピュレーターム 508 の遠位リンクに結合する。遠位回転関節 J 7 は、システムが、関節軸周りに器具ホルダ 510 を横方向にねじることを可能にし、この関節軸は、典型的には、遠隔中心又は切開点を通過する。理想的には、回転関節はアームの遠位に位置し、したがって、特に、挿入軸の配向を動かすことによく適合している。この冗長軸の追加は、マニピュレータが、任意の 1 つの器具先端位置に対する多数の位置を取ることを可能にする。一般的に、このような冗長軸は、他のアーム又は患者の解剖学的構造との衝突を回避しながら、器具先端が、外科医の指令に従うことを可能にする。遠位回転関節 J 7 は挿入軸をヨー軸の近くに動かす能力を有するので、アームピッチバック動作範囲を増加させることができる。遠位回転関節 J 7 の軸、J 1' のヨー軸及びツール先端の挿入軸の間の関係は、図 9 に示される。図 10A-10C は、関節 J 7 の連続的な運動及びどのようにそれがツール先端の挿入軸を左右に移動させるかを示す。

30

【0055】

遠位回転関節 J 7 の 1 つの利点は、それが患者クリアランス円錐を減少させ得ることであり、この患者クリアランス円錐は、患者と器具ホルダ又はマニピュレータームの遠位リンク機構との間の衝突を回避するように患者を除去しなければならない切開ポイントの近位のマニピュレータームの遠位部分の掃引容積 (swept volume) である。図 11A は、遠位回転関節の角度変位が 0° のままである間のマニピュレータームの近位部分の患者クリアランス円錐を示す。図 11B は、遠位回転関節がその軸周りに 90° の角度変位を有して示される間のマニピュレータームの近位部分の減少した患者クリアランス円錐を示す。したがって、切開ポイントの近くに最少の患者クリアランスを有する手術では、本発明による関節 J 7 の使用は、遠隔中心位置又は要望通りのエンドエフェクタ位置を維持しながら追加のクリアランスを提供し得る。

40

【0056】

図 12A-12C は、例示的なマニピュレータームと共に使用するための他の種類の冗長関節を示し、近位関節は、軸周りにマニピュレータームを並進又は回転させる。多くの実施形態では、この近位並進移動可能関節は、マニピュレータームのより良い調整及び改良された操作性を提供するためにマニピュレータームの動作範囲を変える又は回転させることによって沈黙円錐を減少又は排除するように、関節 J 1 又は J 1' のような

50

、マニピュレータの近位関節を経路に沿って並進移動させる。並進移動可能関節は、図 1 2 A - 1 2 D に関節 J 1" で示されるように、円形経路を含み得る、又は、半円形又はアーチ形経路を含み得る。一般的に、関節は、その周りをカニューレ 5 1 1 を通って延びるツール 5 1 2 のシャフトが枢動する遠隔中心 R C と交差する並進移動可能関節の軸周りにマニピュレータアームを回転させる。図示された実施形態では、J 1" の軸は垂直軸であるが、様々な他の実施形態では、軸はある角度又は水平であり得る。

【 0 0 5 7 】

幾つかの実施形態では、マニピュレータアーム 5 0 0 は、近位又は遠位回転関節、近位並進移動可能関節及び遠位リンク機構の平行四辺形構造のいずれか又は全てを含み得る。これらの特徴のいずれか又は全ての使用は、追加の冗長自由度を提供し、リンク機構の間の角度を増加させ、それによってマニピュレータの器用さ及び動作を向上させることによって、より良く「調整された」マニピュレータセンブリを提供するように、本発明による再配置を容易にする。この例示的なマニピュレータの増加した柔軟性はまた、関節限度、特異点等を回避するために、マニピュレータリンク機構の運動学を最適化するために使用されることができる。

10

【 0 0 5 8 】

例示的な実施形態では、マニピュレータの関節運動は、システムのモータを使用してコントローラにより 1 又は複数の関節を駆動することによって制御され、関節は、コントローラのプロセッサによって計算された、調整された関節運動に従って駆動される。数学的には、コントローラは、ベクトル及び / 又は行列を使用して関節指令の計算の少なくとも幾つかを実行することができ、そのうちのいくつかは、関節の形態又は速度に対応する要素を有し得る。プロセッサに利用可能な代替の関節形態の範囲は、関節空間として概念化され得る。例えば、関節空間は、マニピュレータが自由度を有するのと同数の次元を有し得るとともに、マニピュレータの特定の形態は、関節空間内の特定の点を表すことができ、各座標は、マニピュレータの関連付けられる関節の関節状態に対応する。

20

【 0 0 5 9 】

例示的な実施形態では、システムは、そのデカルト空間として本明細書で示される、作業空間における特徴部の指令位置及び速度が入力であるコントローラを含む。特徴部は、制御入力を使用して関節運動されることになる制御フレームとして使用できるマニピュレータ上の、又はマニピュレータから離れた任意の特徴部であり得る。本明細書に記載される多くの例で使用されるマニピュレータ上の特徴部の例は、ツール先端である。マニピュレータ上の特徴部の他の例は、ツール先端上に存在しないが、ピン又はペイントパターンのようなマニピュレータの一部である物理的な特徴部である。マニピュレータから離れた特徴部の例は、ツール先端から離れた正確な一定の距離及び角度である空き空間の基準点である。マニピュレータから離れた特徴部の別の例は、マニピュレータに対する位置が確立することができる標的組織である。これら全ての場合において、エンドエフェクタは、制御入力を使用して関節運動されることになる仮想制御フレームに関連付けられる。しかし、以下では、「エンドエフェクタ」と「ツール先端」とは、同義的に使用される。一般的には、所望のデカルト空間のエンドエフェクタ位置を等価の関節空間位置にマッピングする閉じた形の関係はないが、一般的に、デカルト空間のエンドエフェクタと関節空間速度との間に閉じた形の関係がある。運動学的ヤコビアンは、関節空間位置要素に対するエンドエフェクタのデカルト空間位置要素の偏導関数の行列である。このように、運動学的ヤコビアンは、エンドエフェクタと関節との間の運動学的関係を捕える。換言すれば、運動学的ヤコビアンは、エンドエフェクタの関節動作の影響を捕える。運動学的ヤコビアン (J) は、以下の関係を用いて、関節空間速度 (d q / d t) をデカルト空間エンドエフェクタ速度 (d x / d t) にマッピングするために使用することができる。

30

【 0 0 6 0 】

$$d x / d t = J \quad d q / d t$$

したがって、入力位置と出力位置との間に閉じた形のマッピングがない場合であっても、速度のマッピングが、指令ユーザ入力からマニピュレータの運動を実現するために、ヤ

40

50

コピアンベースのコントローラ等で、反復的に使用されることがある。しかし、様々な実装を使用することができる。多くの実施形態は、ヤコピアンベースのコントローラを含んでいるが、いくつかの実装は、本明細書で記載した特徴のいずれかを提供するために、マニピュレータアームのヤコピアンにアクセスするように構成され得る様々なコントローラを使用し得る。

【0061】

1つのそのような実装は、以下の簡略化された項で記述される。指令関節位置は、ヤコピアン(J)を計算するために使用される。各時間ステップ(Δt)の間、デカルト空間速度(dx/dt)が、所望の移動(dx_{des}/dt)を実行するとともに所望のデカルト空間位置からの蓄積された偏差(Δx)を補正するように、計算される。このデカルト空間速度は、次に、ヤコピアンの擬似逆行列(J^*)を用いて、関節空間速度(dq/dt)に変換される。得られた関節空間指令速度は、次に、関節空間指令位置(q)を生成するために積分される。これらの関係は次の通りである。

【0062】

$$dx/dt = dx_{des}/dt + k \Delta x \quad (1)$$

$$dq/dt = J^* dx/dt \quad (2)$$

$$q_i = q_{i-1} + dq/dt \Delta t \quad (3)$$

ヤコピアン(J)の擬似逆行列は、所望のツール先端動作(いくつかの場合では、枢動ツール動作の遠隔中心)を関節速度空間に直接マッピングする。使用されているマニピュレータが、(6までの)ツール先端の自由度より多くの有用な関節軸を有している場合、(そして、ツール動作の遠隔中心が使用されるとき、マニピュレータは、遠隔中心の位置に関連付けられた3つの自由度について追加の3つの関節軸を有するべきである)、マニピュレータは冗長であると言われる。冗長なマニピュレータのヤコピアンは、少なくとも1つの次元を有する「ゼロ空間」を含む。この文脈において、ヤコピアン($N(J)$)の「ゼロ空間」は、ツール先端動作を瞬時に実現しないような関節速度の空間である(そして、遠隔中心が使用されるとき、枢動点位置の移動がない)；そして「ゼロ動作」は、ツール先端及び/又は遠隔中心の位置の瞬間的な移動も生成しない関節位置の組み合わせ、軌道、又は経路である。マニピュレータの所望の再配置(本明細書に記載される任意の再配置を含む)を達成するために計算されたゼロ空間速度をマニピュレータの制御システムに組み込む又は注入することは、上記の式(2)を以下のように変形する：

$$dq/dt = dq_{prep}/dt + dq_{nul1}/dt \quad (4)$$

$$dq_{prep}/dt = J^* dx/dt \quad (5)$$

$$dq_{nul1}/dt = (1 - J^* J) z = V_n V_n^T z = V_n \quad (6)$$

式(4)による関節速度は、2つの成分を有し：第1は、ゼロ直交空間成分、所望のツール先端動作を生成する「純粋な(purest)」関節速度(最短ベクトルの長さ)(そして、遠隔中心が使用されるときに、所望の遠隔中心動作)であり、第2の成分は、ゼロ空間成分である。式(2)及び式(5)は、ゼロ空間成分なしで、同じ式が得られることを示している。式(6)は、左辺のゼロ空間成分についての従来の形式で始まり、最も右寄りの右辺で、例示的なシステムで用いられる形式を示し、ここで、 V_n は、ゼロ空間についての直交基底ベクトルのセットであり、 z は、それら基底ベクトルをブレンドする(blending)ための係数である。いくつかの実施形態では、 z は、要望通りにゼロ空間内の動作を形成又は制御するために、例えばノブ又は他の制御手段の使用によって等、制御パラメータ、変数又は設定によって決定される。

【0063】

図13A-13Bは、ヤコピアンのゼロ空間と例示的なマニピュレータアームのヤコピアンのゼロ直交空間との間の関係を図式的に示す。図13Aは、水平軸に沿ったゼロ空間と、垂直軸に沿ったゼロ直交空間とを示す二次元の概略図を示し、2つの軸は、互いに直交する。斜めのベクトルは、ゼロ空間における速度ベクトルとゼロ直交空間における速度ベクトルの和を表し、この和は、上記の式(4)を表す。

【0064】

10

20

30

40

50

図13Bは、「ゼロ動作多様体」として示される、4次元関節空間内のゼロ空間とゼロ動作多様体との間の関係を図式的に示す。各矢印(q_1 、 q_2 、 q_3 、及び q_4)は、主要な関節軸を表す。閉曲線は、同じエンドエフェクタ位置を瞬時に実現する関節空間位置のセットであるゼロ動作多様体を表す。この曲線上の与えられた点Aに関して、ゼロ空間は、エンドエフェクタの運動を瞬時に生じさせない関節速度の空間であるので、ゼロ空間は、点Aでのゼロ動作多様体の接線に対して平行である。

【0065】

第1のアプローチ、上記の関節空間重み付き疑似逆行列アプローチでは、システムは、ヤコビ行列の重み付き疑似逆行列を計算する。例えば、ヤコビアンの定義に沿った連鎖律を使用して、結果が以下の式にしたがって得られることができ、この中でWは関節速度に重み付けするために使用される重み付き行列であり、 $(\cdot)^*$ は疑似逆行列解である：

$$dx/dt = J * dq/dt \quad (7)$$

$$dx/dt = J * W * W^{(-1)} * dq/dt \quad (8)$$

$$W^{(-1)} * dq/dt = (J * W)^* * dx/dt \quad (9)$$

$$dq/dt = W * (J * W)^* * dx/dt \quad (10)$$

他のアプローチ、カート空間重み付き疑似逆行列アプローチでは、以下の式が使用され得る：

$$dx/dt = J * dq/dt$$

$$W * dx/dt = W * J * dq/dt$$

$$dq/dt = (W * J)^* (W * dx/dt)$$

例：

W = 対角([1 1 0 1 1 1])に設定する。これは、第3のカート空間速度要素、すなわちZに沿った並進移動を、 dq/dt に0の影響を与えさせ、したがって、結果として得られる関節速度がエンドエフェクタZに沿って0の並進移動を生み出す。

【0066】

重み付き関節速度は、上述の式の使用によって得られることができるが、このアプローチに関連付けられる幾つかの欠点があり得る。例えば、マニピュレータ運動に関連付けられる様々なタスクが、様々な他のアルゴリズムで使用されるゼロ空間ベクトルのような、特異値分解計算の重み付きでない関節速度を使用する場合、このアプローチは、これらの様々な他のタスクに関する追加の特異値分解計算を必要とし得る。

【0067】

上述の、第2のアプローチでは、計算の必要な数を最小にするために、システムは、重み付きでない関節速度に基づいて関節速度に重みを適用するように構成されることが可能、それによって、各カーネルサイクルに関して1つの特異値分解のみを必要とする。したがって、様々な他のタスク又は運動は、重み付きでない関節速度を利用することができる一方、重み付けが指令運動中に関節の第1のセットの所望の関節状態又は運動を提供するように関節速度に適用される。このアプローチでは、上述の式(2)又は(5)から得られ得るように、ヤコビアンの疑似逆行列からの dq/dt が、勾配を決定するために関節速度空間の重みを示す異方性表面に適用される。その後、疑似逆行列解と疑似逆行列解における表面の勾配との間の差が、重み付き補正値になり、この重み付き補正値は、重み付き関節速度を決定するためにゼロ空間の上に射影される。

【0068】

図14は、第2のアプローチの例を図的に示す。重み付けWは、関節空間内の異方性放物面として描かれる。 dq/dt で標識されるベクトルは、ツール先端及び/又は遠隔中心の指令運動に応じて計算されるオリジナルの疑似逆行列解である。関節速度の重みを示す異方性放物面の勾配gは、 dw/dt ベクトルと勾配との間の差を決定するために(g' で示される)オリジナルに動かされ、この勾配は、その後、 $dq_{n_u 1 1}/dt$ を決定するために関節のゼロ空間の上に射影され、この $dq_{n_u 1 1}/dt$ は、重み付き関節速度を決定するために使用される。理想的な関節速度ベクトルは、常に達成可能とは限らないので、結果として得られるベクトル、 $dq_{n_u 1 1}/dt + dq_{p_r e_p}/dt$ は

10

20

30

40

50

重み付けによって定められる関節運動に近づく。

【0069】

このアプローチは、以下の式の使用によって達成され、そこでは C は放物面によって定められるコスト関数であり、 g は勾配であり、 V_n はゼロ空間基底ベクトルを示す。

【0070】

【数1】

$$C = \frac{1}{2} \| W * dq_{perp}/dt \| ^2 = \frac{1}{2} (dq_{perp}/dt)^T * W^T * W * dq_{perp}/dt \quad (11)$$

$$g (dq_{perp}/dt) C = W^T * W * dq_{perp}/dt \quad (12)$$

典型的には、上述の勾配標記では、括弧内の式は、勾配が式に対して取られることを示すために、下げるなければならない。そのため、 $g(x) y = (dy/dx)^T$ 。

(12) とオリジナルの $d q_{prep}/dt$ との間の差である、補正值は：

$$= W^T * W * dq_{prep}/dt - dq_{prep}/dt = (W^T * W - 1) * dq_{prep}/dt \quad (13)$$

をゼロ空間上に、規定ベクトル V_n を用いて射影することは次に式をもたらす：

$$dq_{n_u 1 1}/dt = V_n * V_n^T * = V_n * V_n^T * (W^T * W - 1) * dq_{prep}/dt \quad (14)$$

$d q_{prep}/dt$ は疑似逆行列解であるので、ゼロ空間へのその射影はゼロであり、したがって、

$$V_n * V_n^T * dq_{prep}/dt = 0 \quad (15)$$

$$dq_{n_u 1 1}/dt = V_n * V_n^T * W^T * dq_{prep}/dt \quad (16)$$

上述の式の使用によって、所望の重み付き関節速度が、対角に沿ってゼロを持つ対角行列であることができ、重み付きでない特異分解値は、上述のアルゴリズムのいずれかでの使用を含む、様々なタスクの多数のユーザによって共有されることができる。関節に対して重みを設定することによって、式(16)は、かなり最小の計算で重み付き関節速度にしたがって関節の速度プロファイルを調整するためにゼロ空間ベクトルを生成するように使用されることができる。

【0071】

代替的には、幾つかの態様では、ポテンシャル関数勾配を組み込み且つデカルト空間エンドエフェクタ速度に適用される拡張ヤコビアンが使用され得る。ヤコビアンの拡張は、要望通りに関節速度を計算する。ヤコビアンを使用して関節運動を計算することを述べることにおいて、このような計算は拡張ヤコビアンアプローチを含み得ることが理解される。拡張ヤコビアンアプローチにしたがって、以下の式が使用されるが、列ベクトルが使用され得ることが理解される：

$$\begin{aligned} dx/dt &= J * dq/dt \\ y &= h(q) \\ dy/dt &= h' * dq/dt \\ [dx/dt^T \quad dy/dt^T]^T &= [J^T \quad h'^T]^T * dq/dt \\ d(x; y)/dt &= [J; h'] * dq/dt \\ dq/dt &= [J; h']^T d(x; y)/dt \end{aligned} \quad (40)$$

第1の例では： $dy/dt = 0$ 、 $h'/q = [0 \ 0 \ 1 \ -2 \ 0 \ 0 \ 0]$ に設定し、これは、関節3の速度を関節4の速度の2倍と等しくさせることを試みる。

【0072】

第2の例では： $dy/dt = 0$ 、 $h'/q = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ に設定し、これは、関節3の速度を0と等しくさせることを試みる。

【0073】

図15は、上述の式に関連して、患者側カート関節状態を制御するための一般的なアル

10

20

30

40

50

ゴリズムを実装する必要がある必須のブロックの簡略図を示す。図15の方法によれば、システムは：マニピュレータームの順運動学を計算し；次に、式(1)を用いて $d \times / d t$ を計算し、式(5)を用いて $d q_{p r e p} / d t$ を計算し、次に、式(6)を用いて、 $d q_{p r e p} / d t$ 及びヤコビアンに依存し得る z から $d q_{n u l l} / d t$ を計算する。計算された $d q_{p r e p} / d t$ 及び $d q_{n u l l} / d t$ から、システムは、式(4)及び式(3)使用して $d q / d t$ 及び q をそれぞれ計算し、それによって、所望のエンドエフェクタの状態（及び/又は遠隔中心の位置）を維持しながら、コントローラがマニピュレータの所望の再配置を生じさせることができる計算された運動を提供する。

【0074】

図16-17は、本発明による例示的な方法のフローチャートを示す。例示的な方法では、図16に示されるように、システムは、所望のエンドエフェクタ運動にしたがってエンドエフェクタを動かすようにユーザによる操作指令入力に応じて関節の第1のセットの所望の運動に対応する重み付き行列を使用して重み付き関節速度を決定することを含む。システムは次に、所望のエンドエフェクタ運動を生じさせるとともに関節の第1のセットの所望の運動を提供するように、重み付き関節速度にしたがって関節を駆動する。図17に示されるように、方法はさらに、疑似逆行列解を使用して指令エンドエフェクタ運動を達成する関節速度を決定することを含み得る。重み付き関節速度は、上述のように、疑似逆行列解の勾配（例えば、ポテンシャル関数勾配）を使用して及び関節空間内で重み付き行列を使用して関節速度を調整することによって計算されることができる。システムは、所望のエンドエフェクタ運動を生じさせるとともに関節の第1のセットの所望の運動を提供するように、重み付き関節速度にしたがって関節を駆動する。任意選択で、システムは、指令再配置又は衝突回避のような、1又は複数の補助タスクに関連付けられる関節速度を計算するために重み付き表面での疑似逆行列解を使用し得るので、関節は、指令エンドエフェクタ運動の間、関節の第1のセットの所望の運動をなお提供しながら、補助タスクを生じさせるために駆動されることができる。

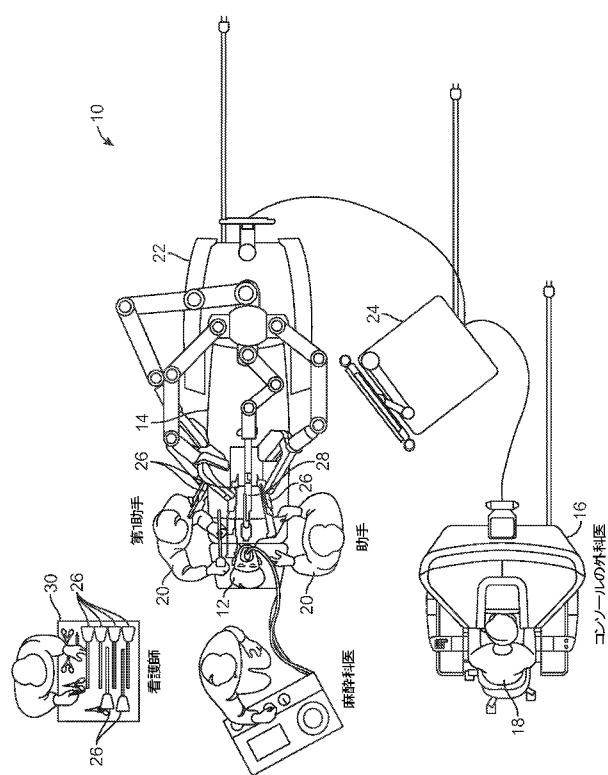
【0075】

例示的な実施例は、理解を明確にするために及び例としてある程度詳細に記載されているが、種々の適合、修正、及び変更が、当業者には明らかであろう。従って、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によってのみ限定される。

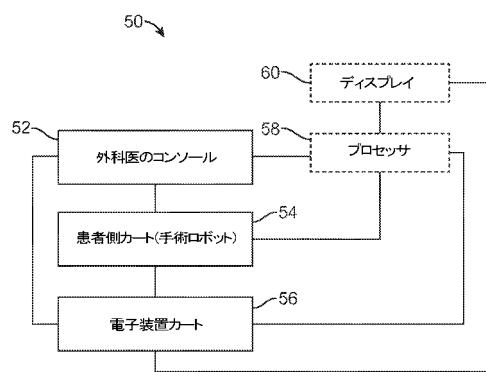
10

20

【図 1 A】



【図 1 B】



【図 2】

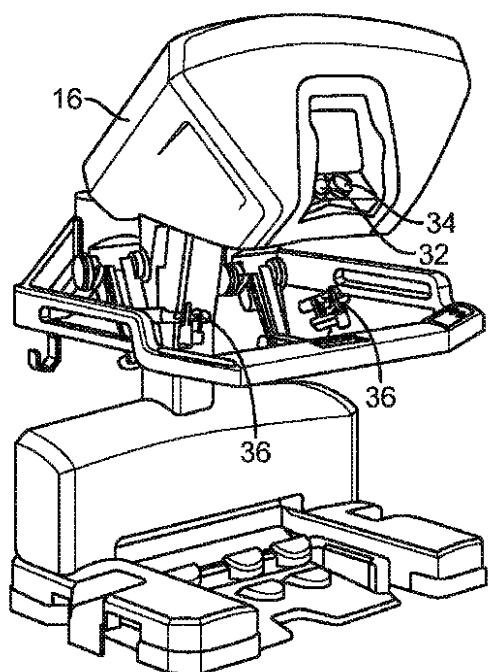


FIG. 2

【図 3】

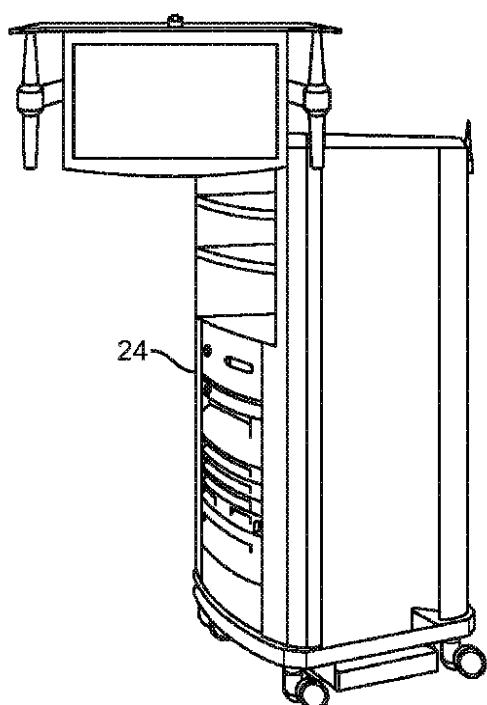


FIG. 3

【図 4】

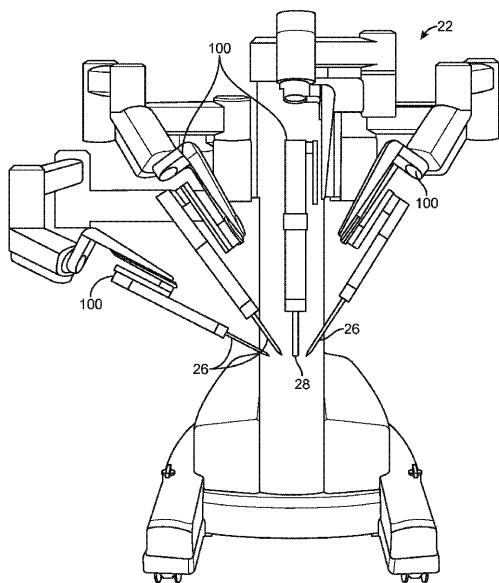


FIG. 4

【図 5 A】

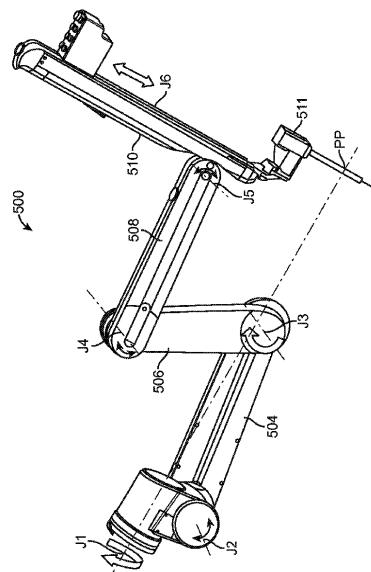


FIG. 5A

【図 5 B】

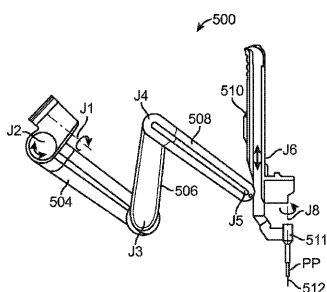


FIG. 5B

【図 5 C】

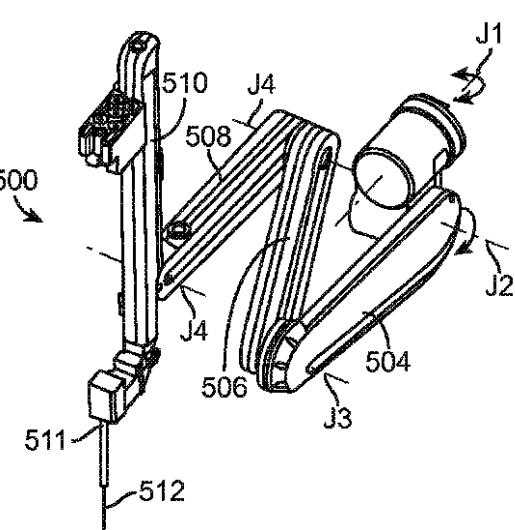


FIG. 5C

【図 5 D】

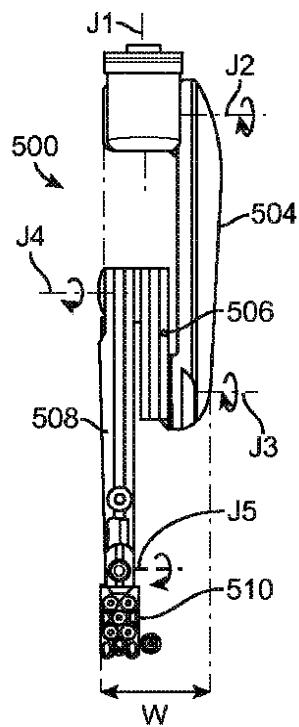


FIG. 5D

【図 6 A】

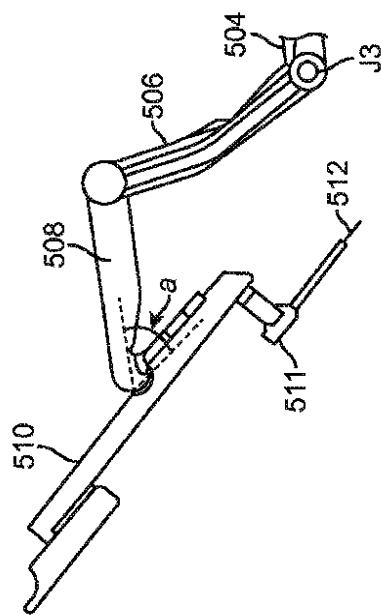


FIG. 6A

【図 6 B】

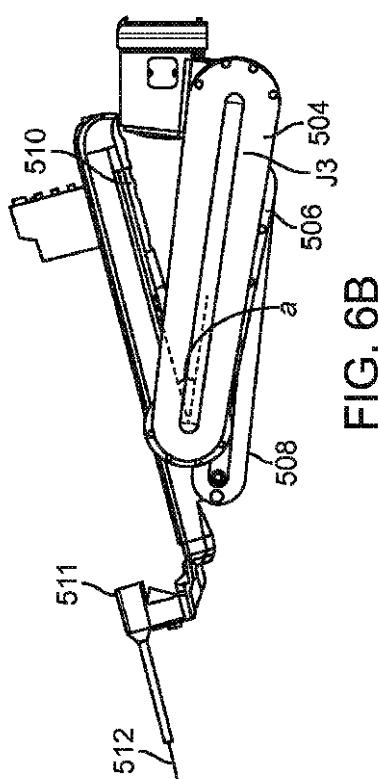
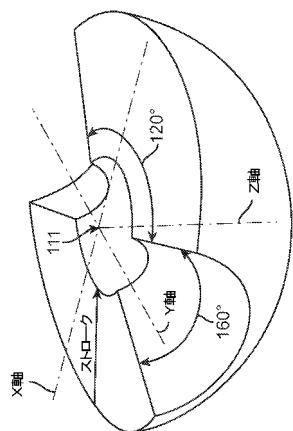
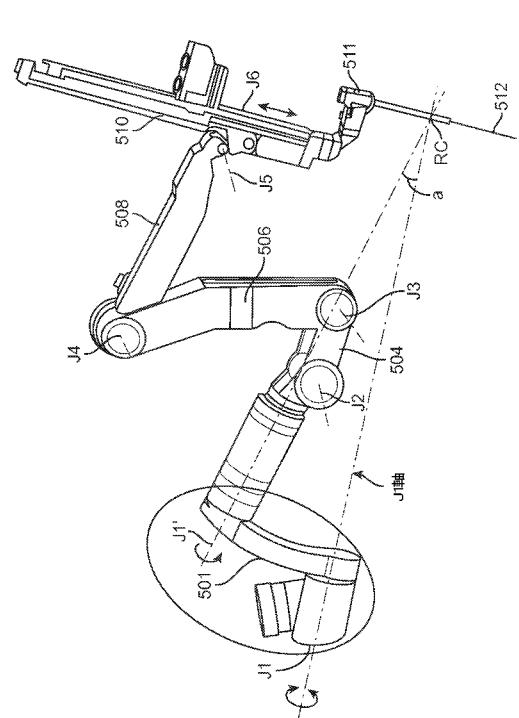


FIG. 6B

【図 6 C】



【図 7 A】



【図 7 B】

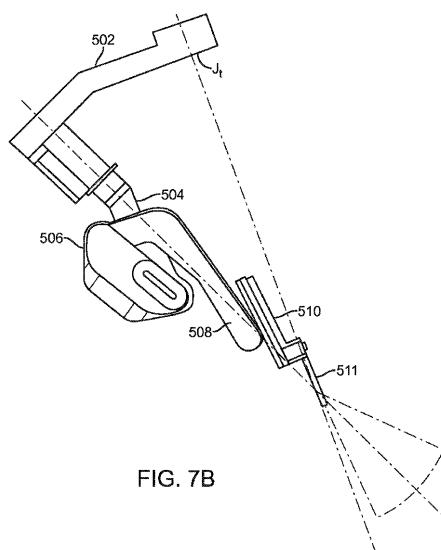


FIG. 7B

【図 8】

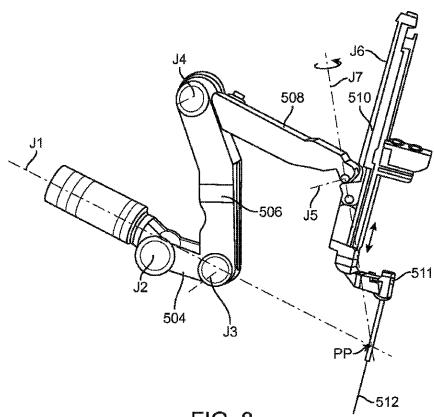


FIG. 8

【図 9】

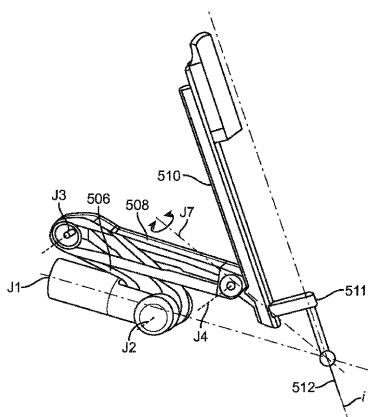


FIG. 9

【図 10 A】

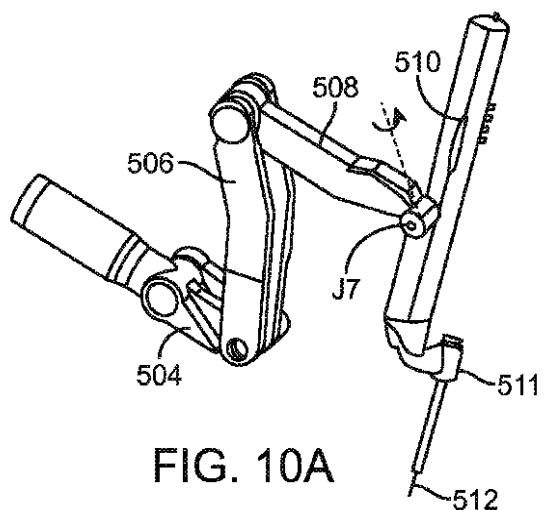


FIG. 10A

【図 10 B】

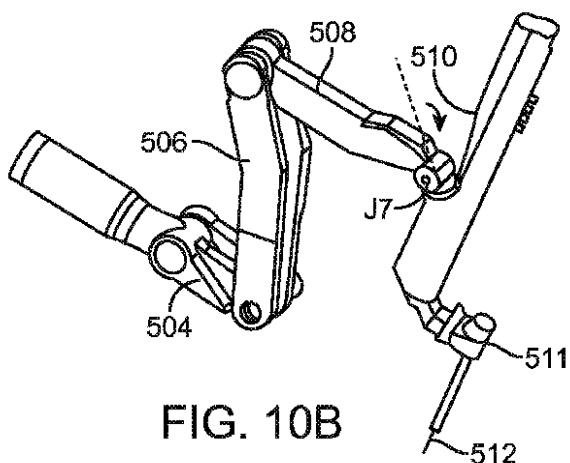


FIG. 10B

【図 10 C】

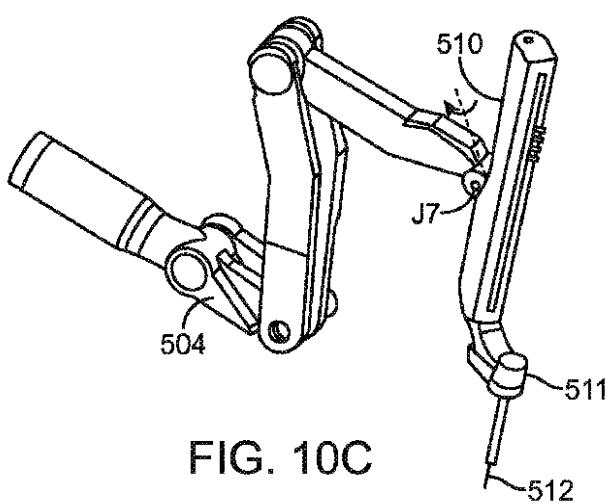


FIG. 10C

【図 11 B】

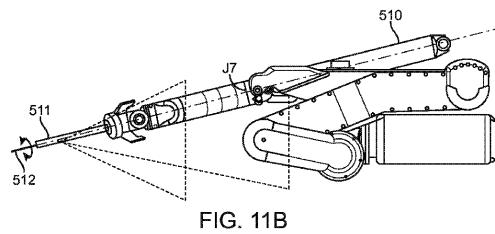
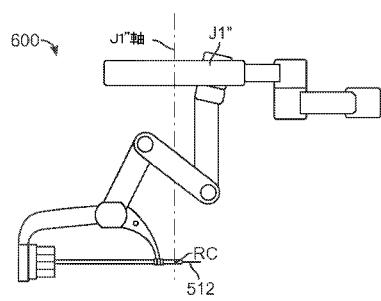


FIG. 11B

【図 12 A】



【図 11 A】

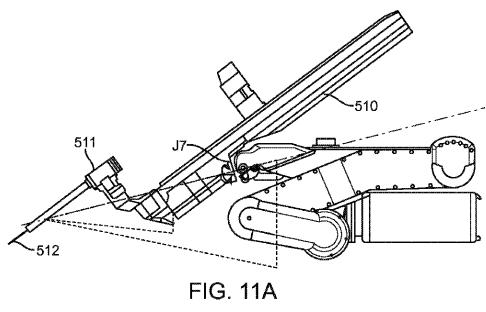
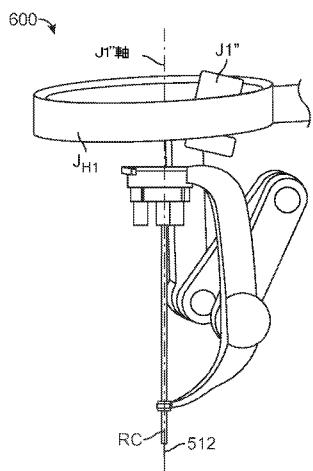
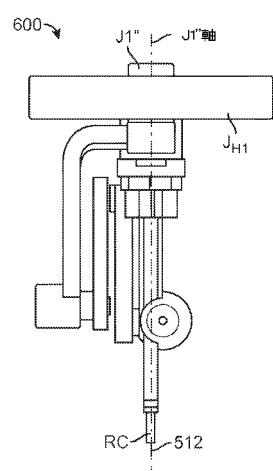


FIG. 11A

【図 1 2 B】



【図 1 2 C】



【図 1 3 A】

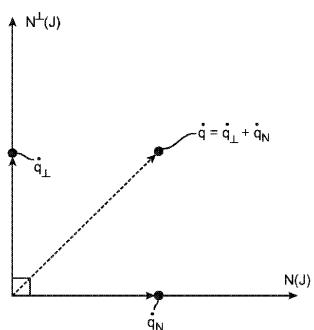
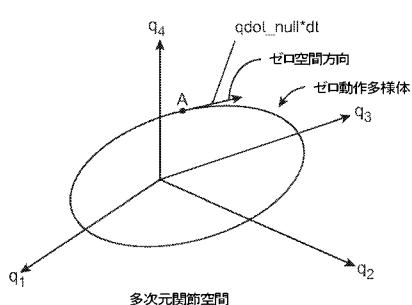


FIG. 13A

【図 1 3 B】



【図 1 4】

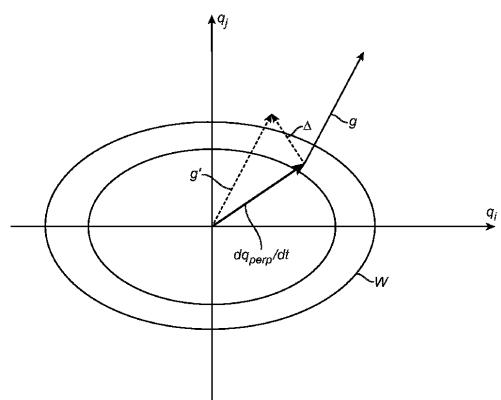
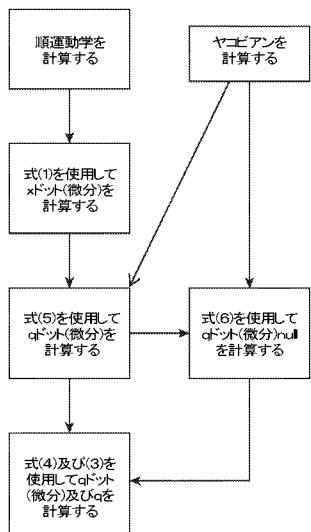
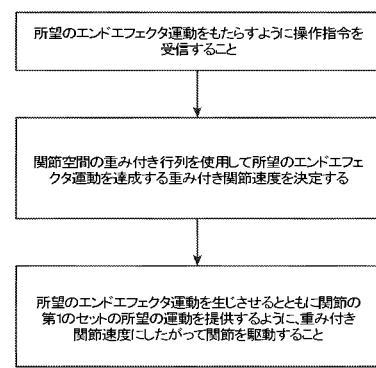


FIG. 14

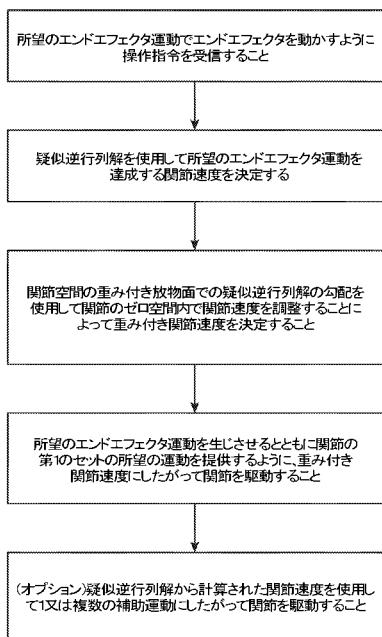
【図15】



【図16】



【図17】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No PCT/US2014/031105																		
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. A61B19/00 B25J9/16 B25J18/00 G05B19/408 G05B19/416 ADD.																				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																				
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A61B B25J G05B																				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched																				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data																				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Category*</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">X</td> <td style="text-align: left; padding: 2px;">EP 2 332 484 A2 (INTUITIVE SURGICAL OPERATIONS [US]) 15 June 2011 (2011-06-15)</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">16-21, 25-31, 34,35</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">A</td> <td style="text-align: left; padding: 2px;">paragraphs [0047] - [0052]; figures 1A-C paragraphs [0076] - [0082]; figures 6A-8D paragraphs [0104] - [0118]; figures 11-12 paragraphs [0161] - [0175]; figure 17 paragraphs [0186] - [0187] -----</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">22-24</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">X</td> <td style="text-align: left; padding: 2px;">US 2010/331855 A1 (ZHAO TAO [US] ET AL) 30 December 2010 (2010-12-30)</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">16-18, 21,25, 26, 28-31, 34,35</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">A</td> <td style="text-align: left; padding: 2px;">paragraphs [0020] - [0025] paragraphs [0054] - [0065]; figures 5A-C paragraphs [0079] - [0097] paragraphs [0101] - [0113] -----</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">22-24</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; padding: 2px;">-/-</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	EP 2 332 484 A2 (INTUITIVE SURGICAL OPERATIONS [US]) 15 June 2011 (2011-06-15)	16-21, 25-31, 34,35	A	paragraphs [0047] - [0052]; figures 1A-C paragraphs [0076] - [0082]; figures 6A-8D paragraphs [0104] - [0118]; figures 11-12 paragraphs [0161] - [0175]; figure 17 paragraphs [0186] - [0187] -----	22-24	X	US 2010/331855 A1 (ZHAO TAO [US] ET AL) 30 December 2010 (2010-12-30)	16-18, 21,25, 26, 28-31, 34,35	A	paragraphs [0020] - [0025] paragraphs [0054] - [0065]; figures 5A-C paragraphs [0079] - [0097] paragraphs [0101] - [0113] -----	22-24	-/-		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																		
X	EP 2 332 484 A2 (INTUITIVE SURGICAL OPERATIONS [US]) 15 June 2011 (2011-06-15)	16-21, 25-31, 34,35																		
A	paragraphs [0047] - [0052]; figures 1A-C paragraphs [0076] - [0082]; figures 6A-8D paragraphs [0104] - [0118]; figures 11-12 paragraphs [0161] - [0175]; figure 17 paragraphs [0186] - [0187] -----	22-24																		
X	US 2010/331855 A1 (ZHAO TAO [US] ET AL) 30 December 2010 (2010-12-30)	16-18, 21,25, 26, 28-31, 34,35																		
A	paragraphs [0020] - [0025] paragraphs [0054] - [0065]; figures 5A-C paragraphs [0079] - [0097] paragraphs [0101] - [0113] -----	22-24																		
-/-																				
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.																		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed																				
Date of the actual completion of the international search 25 June 2014		Date of mailing of the international search report 01/07/2014																		
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel: (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Schnurbusch, Daniel																		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2014/031105

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2012/245736 A1 (BOSSCHER PAUL M [US] ET AL) 27 September 2012 (2012-09-27)	16-21, 25-27, 34,35
A	paragraphs [0007] - [0009] paragraphs [0032] - [0041]; figures 1, 6 -----	22-24
X	US 5 430 643 A (SERAJI HOMAYOUN [US]) 4 July 1995 (1995-07-04)	16-21, 25-27, 34,35
A	column 5, line 64 - column 6, line 23 column 7, line 33 - column 9, line 35 column 13, line 48 - column 14, line 46 -----	22-24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2014/031105

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.: **1-15, 32, 33**
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
see FURTHER INFORMATION sheet PCT/ISA/210
2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/US2014/031105

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210**Continuation of Box II.1****Claims Nos.: 1-15, 32, 33**

Method claims 1-15, 32 and 33 define a method for treatment of the human or animal body by surgery practised on the human or animal body, because "[...]" receiving a manipulation command to move the end effector [...and] driving the plurality of joints [...] to effect the desired end effector movement [...]" (claim 1) is seen as a surgical step performed on a patient, because the description, e.g. para. [0041]-[0045], [0052]-[0054] and fig. 1A, discloses embodiments where the end effector movement takes place in a surgical environment, hence the claimed end effector movement takes place inside a human body and is therefore part of a surgical method. Therefore no search has been performed for the subject-matter of this claim and the corresponding dependent claims (see Article 17 (2) PCT and Rule 39.1.(iv) PCT) and no written opinion is required for the subject-matter of these method claims (see Rule 43bis.1 and Rule 67.1 (iv) PCT).

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/US2014/031105

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2332484	A2 15-06-2011	AT 544414 T CN 101227870 A CN 102764159 A EP 1885273 A2 EP 2332477 A2 EP 2332478 A2 EP 2332479 A2 EP 2332480 A2 EP 2332481 A2 EP 2332482 A2 EP 2332483 A2 EP 2332484 A2 ES 2381975 T3 KR 20080047318 A KR 20130010091 A KR 20130010092 A KR 20130010093 A US 2007013336 A1 US 2011264108 A1 US 2011264109 A1 US 2011264110 A1 US 2011264111 A1 US 2011264112 A1 US 2011270271 A1 US 2011276059 A1 WO 2006124390 A2	15-02-2012 23-07-2008 07-11-2012 13-02-2008 15-06-2011 15-06-2011 15-06-2011 15-06-2011 15-06-2011 15-06-2011 15-06-2011 04-06-2012 28-05-2008 25-01-2013 25-01-2013 25-01-2013 18-01-2007 27-10-2011 27-10-2011 27-10-2011 27-10-2011 27-10-2011 03-11-2011 10-11-2011 23-11-2006
US 2010331855	A1 30-12-2010	NONE	
US 2012245736	A1 27-09-2012	CA 2827864 A1 CN 103459101 A EP 2688718 A1 JP 2014508657 A KR 20140010070 A US 2012245736 A1 WO 2012128915 A1	27-09-2012 18-12-2013 29-01-2014 10-04-2014 23-01-2014 27-09-2012 27-09-2012
US 5430643	A 04-07-1995	NONE	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,R,S,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,H,R,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US

(72)発明者 アワータッシュ, アージャン

アメリカ合衆国 95051 カリフォルニア州, サンタクララ, スティーヴンズ・クリーク・ブルバード 5255, アパートメント 102

(72)発明者 スワーアップ, ニティッシュ

アメリカ合衆国 94086 カリフォルニア州, サニーヴェイル, ダブリュ・エル・カミノ・リアル 250 #6315