

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6262216号  
(P6262216)

(45) 発行日 平成30年1月17日(2018.1.17)

(24) 登録日 平成29年12月22日(2017.12.22)

(51) Int. Cl. F I  
**A 6 1 B 34/30 (2016.01)** A 6 1 B 34/30  
**B 2 5 J 9/10 (2006.01)** B 2 5 J 9/10 A

請求項の数 30 (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2015-515231 (P2015-515231)	(73) 特許権者	510253996
(86) (22) 出願日	平成25年5月31日(2013.5.31)		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
(65) 公表番号	特表2015-526116 (P2015-526116A)		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
(43) 公表日	平成27年9月10日(2015.9.10)	(74) 代理人	100107766
(86) 国際出願番号	PCT/US2013/043578		弁理士 伊東 忠重
(87) 国際公開番号	W02013/181516	(74) 代理人	100070150
(87) 国際公開日	平成25年12月5日(2013.12.5)		弁理士 伊東 忠彦
審査請求日	平成28年5月31日(2016.5.31)	(74) 代理人	100091214
(31) 優先権主張番号	61/654,773		弁理士 大貫 進介
(32) 優先日	平成24年6月1日(2012.6.1)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 零空間を使用して操作アーム間の衝突を回避するためのシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1及び第2のマニピュレータアームと、  
 プロセッサとを含み、

各マニピュレータアームは、遠位部分と、近位ベースに結合され且つ前記遠位部分を前記近位ベースに対して無人操作で移動させるために構成される近位部分とを有し、各マニピュレータアームは、前記遠位部分と前記近位ベースとの間に複数の継手を有し、該複数の継手は、各マニピュレータアームの遠位部分状態のために或る範囲の継手状態を可能にするのに十分な自由度を備える継手空間を有し、

前記プロセッサは、操作を実行するように構成され、

前記操作は、前記第1のマニピュレータアームの第1の基準幾何学的構成及び前記第2のマニピュレータアームの第2の基準幾何学的構成を決定することを含み、前記第1及び第2の基準幾何学的構成は、作業空間内で関連付けられるマニピュレータアームと共に移動可能であり、前記第1及び第2の基準幾何学的構成は、重なり合う運動の範囲を有し、

前記操作は、前記作業空間内の前記第1の基準幾何学的構成と前記第2の基準幾何学的構成との間の相対的状态を決定することを含み、

前記操作は、該相対的状态に基づき所望の回避ベクトルを決定することを含み、

前記操作は、前記作業空間内の前記第1及び第2の基準幾何学的構成の間の分離を維持するよう、前記第1及び第2のマニピュレータアームの複数の継手のうちの1つ又はそれよりも多くの継手の回避動作を計算することを含み、該回避動作は、前記第1及び第2の

マニピュレータアームの前記継手空間の一方又は両方の内で計算され、前記回避動作は、前記回避動作が前記第1及び第2のマニピュレータアームのそれぞれのマニピュレータアームと関連付けられるヤコビアンの零空間内に制約されるように、前記所望の回避ベクトルに基づき、並びに

前記操作は、前記計算される回避動作に従って前記第1及び第2のマニピュレータアームの複数の継手のうちの前記1つ又はそれよりも多くの継手を駆動させることを含む、  
ロボットシステム。

【請求項2】

前記プロセッサは、前記相対的状态が前記第1及び第2の基準幾何学的構成の間の所望の隙間未満に応答するとき、前記相対的状态の前記決定に応答して前記回避動作を計算するように更に構成され、前記所望の回避ベクトルに沿う前記計算される回避動作は、隙間の増大に対応する、請求項1に記載のロボットシステム。

10

【請求項3】

前記相対的状态は、前記作業空間に対応する三次元座標を用いて前記プロセッサによって決定される、請求項1に記載のロボットシステム。

【請求項4】

前記プロセッサによって前記回避動作を計算することは、前記第1及び第2のマニピュレータアームの前記継手空間と前記作業空間との間の前記所望の回避ベクトルを変換することを含む、請求項1に記載のロボットシステム。

【請求項5】

前記第1及び第2のマニピュレータアームの各マニピュレータアームは、継手センサを含み、前記プロセッサによって前記相対的状态を決定することは、前記第1及び第2のマニピュレータアームの各々のマニピュレータアームの前記継手センサからの継手センサデータを用いる、請求項1に記載のロボットシステム。

20

【請求項6】

前記第1の基準幾何学的構成は、前記第1のマニピュレータアームの構成に対応するラインセグメントを含み、前記第2の基準幾何学的構成は、前記第2のマニピュレータアームの構成に対応するラインセグメントを含む、請求項1に記載のロボットシステム。

【請求項7】

前記第1及び第2の基準幾何学的構成の各々は、複数のラインセグメントを含み、各ラインセグメントは、前記それぞれのマニピュレータアーム上の構成に対応し、

30

前記相対的状态を決定することは、前記第2の基準幾何学的構成の前記複数のラインセグメントのうちの第2のラインセグメントに最も近い、前記第1の基準幾何学的構成の前記複数のラインセグメントのうちの第1のラインセグメントを決定することを更に含み、前記第1及び第2のラインセグメントは、前記第1及び第2のマニピュレータアームの最も近い構成に対応し、並びに

前記相対的状态を決定することは、前記第1及び第2のラインセグメントを通じて延びるよう、前記所望の回避ベクトルを計算することを更に含む、

請求項6に記載のロボットシステム。

【請求項8】

前記プロセッサは、

前記回避動作を計算することが、

前記所望の回避ベクトルの方向において適用されるときに前記第1及び第2の基準幾何学的構成の間の所望の距離を維持するのに十分な前記第1及び第2の基準幾何学的構成の間の反発力を計算すること、及び

40

前記所望の回避ベクトルに沿って前記第1及び第2のマニピュレータアームの間に適用される前記反発力に応答して前記第1及び第2のマニピュレータアームの複数の継手のうちの前記1つ又はそれよりも多くの継手の動作を計算することを含むように、

更に構成される、

請求項5に記載のロボットシステム。

50

## 【請求項 9】

前記プロセッサは、

前記回避動作を計算することが、

前記所望の回避ベクトルの方向において適用されるときに前記第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成の間の所望の距離を維持するのに十分な第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成の間の反発被命令速度を計算することを含み、前記第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成が、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの対応する構成についてのラインセグメントを含み、且つ

前記所望の回避ベクトルに沿う前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの前記対応する構成についてのラインセグメントに適用される前記反発被命令速度にตอบสนองして前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの複数の継手のうちの前記 1 つ又はそれよりも多くの継手の動作を計算することを含むように、

更に構成される、

請求項 5 に記載のロボットシステム。

## 【請求項 10】

前記反発力は、前記第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成の間の距離に反比例する大きさを有する、請求項 8 に記載のロボットシステム。

## 【請求項 11】

前記反発被命令速度は、前記第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成の間の距離に反比例する大きさを有する、請求項 9 に記載のロボットシステム。

## 【請求項 12】

前記第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成の間の前記相対的状态を決定することは、前記第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成の間の相対的位置、相対的速度、及び相対的加速度のいずれか又は全部を決定することを含む、請求項 1 に記載のロボットシステム。

## 【請求項 13】

所望の遠位部分動作で前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームのそれぞれのマニピュレータアームの前記遠位部分を移動させる操作命令を受信する入力を更に含み、

前記プロセッサは、マニピュレータアームについての操作を実行するように更に構成され、

前記操作は、前記操作命令にตอบสนองして前記それぞれのマニピュレータアームの前記複数の継手の遠位部分変位動作を計算することを含み、前記それぞれのマニピュレータアームの前記複数の継手の前記遠位部分変位動作は、前記継手の動作が前記それぞれのマニピュレータアームの前記ヤコビアンの零垂直空間内に制約されるように計算され、前記零垂直空間は、前記零空間に対して直交し、並びに

前記操作は、前記所望の遠位部分動作をもたらすために前記計算される遠位部分変位動作に従って前記それぞれのマニピュレータアームの前記複数の継手を駆動させることを含む、

請求項 1 に記載のロボットシステム。

## 【請求項 14】

1 つ又はそれよりも多くの追加的なマニピュレータアームを更に含み、各追加的なアームは、移動可能な遠位部分と、前記近位ベースに結合される近位部分と、前記遠位部分と前記近位ベースとの間の複数の継手とを含み、該複数の継手は、前記 1 つ又はそれよりも多くの追加的なマニピュレータアームの各々のマニピュレータアームの遠位部分の状態のために或る範囲の異なる継手状態を可能にするのに十分な自由度を備える継手空間を有し、

前記プロセッサは、操作を実行するように更に構成され、

前記操作は、前記 1 つ又はそれよりも多くの追加的なマニピュレータアーム上の追加的な基準幾何学的構成を決定することを含み、該追加的な基準幾何学的構成は、前記第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成を重なり合う運動の範囲を有し、

前記操作は、前記作業空間内で重なり合う運動の範囲を有する基準幾何学的構成との間

10

20

30

40

50

の相対的状态と、前記1つ又はそれよりも多くの追加的なマニピュレータアームの前記追加的な基準幾何学的構成と前記第1又は第2の基準幾何学的構成との間の所望の回避ベクトルとを決定することを含み、

前記操作は、前記1つ又はそれよりも多くの追加的なマニピュレータアーム並びに前記第1及び第2のマニピュレータアームの前記基準幾何学的構成の間の分離を維持するために、前記1つ又はそれよりも多くの追加的なマニピュレータアームの複数の継手のうちの1つ又はそれよりも多くの継手の前記回避動作を計算することを含み、前記回避動作は、前記回避動作がそれぞれのヤコビアンの前記零空間内に制約されるように、それぞれのマニピュレータアームの前記継手空間内で計算され、並びに

前記操作は、該計算される回避動作に従って前記1つ又はそれよりも多くの追加的なマニピュレータアームの前記複数の継手のうちの前記1つ又はそれよりも多くの継手を駆動させることを含む、

請求項1に記載のロボットシステム。

【請求項15】

前記第1及び第2のマニピュレータアームの各マニピュレータアームについて、前記遠位部分は、手術エンドエフェクタに対して遠位に延びる細長いシャフトを有する手術器具を含み或いはそれを解放可能に支持するように構成され、

前記手術器具の前記シャフトは、手術中に前記マニピュレータアームの遠隔中心について旋回し、

前記第1及び第2のマニピュレータアームの前記複数の継手のうちの前記1つ又はそれよりも多くの継手の前記回避動作は、前記第1及び第2のマニピュレータアームの前記複数の継手のうちの前記1つ又はそれよりも多くの継手の前記駆動中に前記マニピュレータアームの前記遠隔中心の位置を維持するように計算される、

請求項1に記載のロボットシステム。

【請求項16】

前記第1及び第2のマニピュレータアームの各マニピュレータアームについて、前記マニピュレータアームは、中間部分と各中間部分の遠位端にあるエンドエフェクタとを有する工具を支持するように構成され、前記中間部分は、前記近位部分の遠位に挿入軸に沿って延び、

前記マニピュレータアームの前記複数の継手のうちの少なくとも幾つかの継手は、作業部位での前記エンドエフェクタの動作を促進するために、前記マニピュレータアームの前記遠位部分が前記挿入軸に配置される遠隔中心について旋回するよう、前記近位ベースに対する前記遠位部分の動作を機械的に制約し、前記作業部位は、挿入開口を通じてアクセスされる、

請求項13に記載のロボットシステム。

【請求項17】

前記第1及び第2のマニピュレータアームの各マニピュレータアームについて、前記マニピュレータアームの複数の継手が、前記マニピュレータアームの前記近位部分の遠位に配置され且つ前記遠位部分の近位に配置される遠隔球状中心継手を含み、

該遠隔球状中心継手は、前記遠隔球状中心継手の関節が前記マニピュレータアームの前記遠位部分を第1、第2、及び第3の遠隔中心軸について旋回させるよう機械的に制約され、

前記第1、第2、及び第3の遠隔中心軸は、その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18】

前記第1及び第2のマニピュレータアームの各マニピュレータアームについて、前記マニピュレータアームの前記近位部分は、前記近位部分が移動するときに、前記遠隔中心の遠位部分が前記マニピュレータアームの前記遠隔中心について旋回するよう、前記近位ベースに対して機械的に制約される、

請求項16に記載のロボットシステム。

10

20

30

40

50

## 【請求項 19】

前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの各マニピュレータアームについて、前記マニピュレータアームの前記複数の継手は、前記マニピュレータアームの遠位部分の近くに回転継手を含み、該回転継手は、前記挿入軸を前記遠位の回転継手の軸について旋回させ、前記それぞれの継手の前記軸は、前記遠隔中心を通じて延びる、請求項 16 に記載のロボットシステム。

## 【請求項 20】

前記エンドエフェクタの変位動作は、前記回転継手が前記所望の遠位部分の変位動作をもたらすよう駆動させられないように、計算される、請求項 19 に記載のロボットシステム。

10

## 【請求項 21】

前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの前記複数の継手のうちの前記 1 つ又はそれよりも多くの継手の前記回避動作は、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームのうちの 1 つ又はそれよりも多くのマニピュレータアームの少なくとも前記回転継手を駆動させるように、計算される、請求項 20 に記載のロボットシステム。

## 【請求項 22】

第 1 の継手が前記近位部分を前記近位ベースに結合させ、中間リンクが前記遠位部分の近位に並びに前記遠位部分に隣接して配置され、第 2 の継手をそれらの間に備え、前記第 2 の継手は、第 2 の継手軸についての回転に対して、前記中間リンクに対する前記遠位部分の動作を機械的に制約する回転継手を含み、前記第 2 の継手軸は、前記遠隔中心を通じて延びる前記挿入軸と交差するよう、前記第 2 の継手から遠位に前記中間部分の軸に向かって延びる、請求項 16 に記載のロボットシステム。

20

## 【請求項 23】

前記エンドエフェクタの変位動作は、前記第 2 の継手が前記所望の遠位部分変位動作をもたらすために駆動させられないように、計算され、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの前記複数の継手のうちの前記 1 つ又はそれよりも多くの継手の前記回避動作は、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームのうちの 1 つ又はそれよりも多くのマニピュレータアームの前記第 2 の継手を駆動させることを含むよう、計算される、請求項 22 に記載のロボットシステム。

## 【請求項 24】

前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの各マニピュレータアームについて、前記マニピュレータアームの第 1 の継手が、前記近位部分を前記近位ベースに結合させ、前記第 1 の継手は、前記マニピュレータアームの前記遠位部分を支持する回転継手を含むことで、該回転継手の継手動作は、前記マニピュレータアームの前記遠位部分を前記回転継手の旋回軸について旋回させ、前記旋回軸は、前記マニピュレータアームの前記挿入軸が前記マニピュレータアームの前記遠隔中心に向かって方向付けられる遠位に先細る円錐に沿って移動するよう、前記回転継手から前記マニピュレータアームの前記遠隔中心を通じて延びる、請求項 16 に記載のロボットシステム。

30

## 【請求項 25】

前記プロセッサは、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの前記複数の継手のうちの前記 1 つ又はそれよりも多くの継手の前記計算される回避動作が、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの前記複数の継手の前記計算される再構築動作と共に、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームと関連付けられるヤコビアンの零空間内にあるように、再構成命令に回答して前記複数の継手の再構築動作を計算するよう、更に構成され、前記プロセッサは、前記再構築動作の間に、前記遠位部分の所望の状態を維持するために、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの前記複数の継手のうちの前記 1 つ又はそれよりも多くの継手の前記計算される回避動作中に、前記計算される再構築動作に従って前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの前記複数の継手を駆動させるように、構成され、前記プロセッサは、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの間の衝突を抑制しながら、前記計算される再構成動作をもたらすために、前記相対的状态が、所望未満である前

40

50

前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの幾何学的構成の間の分離に応答するときに、前記複数の継手を、前記計算される回避動作と同時に前記計算される再構成動作に従って駆動させるように、構成される、

請求項 24 に記載のロボットシステム。

【請求項 26】

前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの各マニピュレータアームについて、

前記第 1 の継手は、前記遠位部分が或る経路に沿って前記近位ベースに対して移動可能であるよう、前記近位部分を前記近位ベースに結合させ、前記経路は、前記経路に沿う前記近位部分の動作が、前記マニピュレータアームの前記遠位部分の前記挿入軸を、前記マニピュレータアームの前記遠隔中心に向かって方向付けられる遠位に先細る円錐に沿って旋回させるよう、円弧状又は実質的に円形である、請求項 25 に記載のロボットシステム

10

【請求項 27】

前記 1 つ又はそれよりも多くの継手は、前記第 1 の継手であり、前記 1 つ又はそれよりも多くの継手を駆動させることは、前記経路に沿って前記第 1 の継手を並進させることを含む、請求項 26 に記載のロボットシステム。

【請求項 28】

第 1 のマニピュレータアーム及び第 2 のマニピュレータアームと、

前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームに結合されるプロセッサとを含み、

各マニピュレータアームは、遠位エンドエフェクタを含み、該遠位エンドエフェクタを近位ベースに対して無人操作で移動させるために構成され、各マニピュレータアームは、複数の運動学的に接合されるリンクを含み、該複数のリンクは、作業空間内で移動可能であり、且つそれぞれのマニピュレータアームの前記遠位エンドエフェクタの状態のために前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームのそれぞれのマニピュレータアームと関連付けられるヤコビアンの零空間を通じて或る範囲の運動を可能にするのに十分な自由度を有し、

20

前記プロセッサは、操作を実行するように構成され、

前記操作は、前記第 1 のマニピュレータアームの第 1 の基準幾何学的構成及び第 2 のマニピュレータアームの第 2 の基準幾何学的構成を決定することを含み、前記第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成は、重なり合う前記作業空間内の運動の範囲を有し、

30

前記操作は、前記第 1 の基準幾何学的構成と前記第 2 の基準幾何学的構成との間の相対的状态を決定することを含み、

前記操作は、前記第 1 及び第 2 のマニピュレータアームの一方又は両方の前記複数のリンクのうちの 1 つ又はそれよりも多くのリンクの回避動作を計算することを含み、該回避動作は、前記第 1 の基準幾何学的構成と前記第 2 の基準幾何学的構成との間の前記相対的状态に基づく回避ベクトルに沿って計算され、前記回避動作は、前記第 1 及び第 2 の基準幾何学的構成の間の分離を維持するために、前記それぞれのマニピュレータアームの前記 1 つ又はそれよりも多くのリンクを運動学的に結合する 1 つ又はそれよりも多くの継手を駆動させることのためにあり、前記回避動作は、前記 1 つ又はそれよりも多くの継手の動作が前記それぞれのマニピュレータアームの前記ヤコビアンの前記零空間内にあるように、計算され、並びに

40

前記操作は、該計算される回避動作に従って前記 1 つ又はそれよりも多くのリンクを移動させることを含む、

ロボットシステム。

【請求項 29】

所望のエンドエフェクタ動作で各遠位エンドエフェクタを移動させる操作命令を受信するための入力を更に含み、該入力はユーザーインターフェース上に配置され、

前記プロセッサは、操作を実行するように更に構成され、

前記操作は、前記操作命令には応答して前記 1 つ又はそれよりも多くのリンクのエンドエフェクタの変位動作を計算することを含み、前記 1 つ又はそれよりも多くのリンクのエン

50

ドエフェクタの変位動作を計算することは、前記ヤコビアンの零垂直空間内の前記1つ又はそれよりも多くの継手の動作を計算することを含み、前記零垂直空間は、前記零空間に対して直交し、

前記操作は、前記所望のエンドエフェクタ動作をもたらすために、前記1つ又はそれよりも多くの継手を駆動させることによって、前記1つ又はそれよりも多くのリンクの前記計算されるエンドエフェクタの変位動作に従って前記1つ又はそれよりも多くのリンクを移動させることを含む、

請求項28に記載のロボットシステム。

【請求項30】

1つ又はそれよりも多くの継手が、前記エンドエフェクタの変位動作に従って前記1つ又はそれよりも多くのリンクを移動させることによって駆動させられず、前記プロセッサは、前記遠位エンドエフェクタの変位動作に従って前記1つ又はそれよりも多くのリンクを駆動させることによって、駆動させられない前記1つ又はそれよりも多くの継手を駆動させることを含むよう、前記回避動作を計算するように、更に構成される、請求項29に記載のロボットシステム。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の参照)

20

この出願は2012年6月1日に提出された「Systems and Methods for Avoiding Collisions Between Manipulator Arms Using a Null-Space」という名称の米国仮特許出願番号第61/654,773号の利益を主張する非仮出願であり、その全文をここに参照として援用する。

【0002】

本出願は以下の同一所有の出願、即ち、2009年6月30日に提出された「Control of Medical Robotic System Manipulator About Kinematic Singularities」という名称の米国特許出願第12/494,695号、2009年3月17日に提出された「Master Controller Having Redundant Degrees of Freedom and Added Forces to Create Internal Motion」という名称の米国特許出願12/406,004号、2005年5月19日に提出された「Software Center and Highly Configurable Robotic Systems for Surgery and Other Uses」という名称の米国特許出願第11/133,423号(米国特許第8,004,229号)、2004年9月30日に提出された「Offset Remote Center Manipulator For Robotic Surgery」という名称の米国特許出願第10/957,077号(米国特許第7,594,912号)、2001年8月13日に提出された「Surgical Robotic Tools, Data Architecture, and Use」という名称の米国特許出願第09/929,453号(米国特許第7,048,745号)、1999年9月17日に提出された「Master Having Redundant Degrees of Freedom」という名称の米国特許出願第09/398,507号(米国特許第6,714,839号)、並びに、本出願と同時に提出された「Manipulator Arm-to-Patient Collision Avoidance Using a Null-Space」という名称の米国特許出願第\_\_号(代理人整理番号ISRG03760/US)及び「System and Methods for Commanded Reconfiguration of a Surgical Manipulator Using the Null-Space」という名称の米国特許出願第\_\_号(代理人整理番号ISRG03770/US)に概ね関係し、それらの開示の全文をここに参照として援用する。

30

40

【0003】

本出願は、手術及び/又はロボット装置、システム、並びに方法の改良を概ね提供する。

【背景技術】

【0004】

50

最小侵襲的医療技法は診断又は外科手術中に損傷させられる組織の量を減少させ、それにより、患者の回復時間、不快感、及び有害な副作用を減少させることに向けられている。何百万の「観血的」又は従来的な手術が米国内で毎年執り行われており、それらの多くは潜在的には最小侵襲的な方法において執り行われ得る。しかしながら、現在のところ、手術器具、技法、及び最小侵襲的技法に熟達するために必要とされる追加的な外科訓練の故に、比較的少数の手術のみが最小侵襲的技法を用いている。

【 0 0 0 5 】

外科医の器用さを増大させるために並びに外科医が遠隔場所から患者を手術することを可能にするために、手術における使用のための最小侵襲的遠隔手術システムが開発されている。遠隔手術は、手術器具を手で直接的に保持し且つ移動させるよりもむしろ手術器具の動作を操作するために、外科医が何らかの形態の遠隔制御、例えば、サーボ機構又は同種のものを使用する、手術システムのための一般用語である。そのような遠隔手術システムにおいて、外科医には遠隔場所で手術部位の画像が提供される。適切なビューア又はディスプレイ上で手術部位の典型的には三次元画像を見ながら、外科医は、ひいてはロボット器具の動作を制御するマスタ制御入力装置を操作することによって、患者に対する外科手術を執り行う。患者内の手術部位で組織を処置するよう、ロボット手術器具を小さな最小侵襲的な手術孔を通じて挿入することができ、観血的手術のために接近することに外傷が頻繁に付随する。これらのロボットシステムは、しばしば、最小侵襲的孔で器具のシャフトを回転させること、孔を通じてシャフトを軸方向に滑動させること、シャフトを孔内で回転させること、及び/又は同種のことによって、極めて複雑な外科的仕事を執り行うために十分な器用さで手術器具の作動端を移動させ得る。

【 0 0 0 6 】

遠隔手術のために用いられるサーボ機構は、2つのマスタコントローラ（外科医の各々の手のために各1つ）から入力を頻繁に受け入れ、2つ又はそれよりも多くのロボットアーム又はマニピュレータを含み得る。画像捕捉装置によって表示されるロボット器具の画像への手動作のマッピングは、外科医に各手と関連付けられる器具に対する正確な制御をもたらすことに役立ち得る。内視鏡若しくは他の類似の画像捕捉装置、追加的な手術器具、又は同種ものを移動させるために、多くの手術ロボットシステムには、1つ又はそれよりも多くの追加的なロボット操作アームが含まれる。

【 0 0 0 7 】

ロボット手術中に手術部位で手術器具を支持するために、様々の構造的配置を用い得る。被駆動リンク又は「スレーブ」はロボット手術マニピュレータと呼ばれることが多く、最小侵襲的ロボット手術中のロボット手術マニピュレータとしての使用のための例示的なリンク配置は、米国特許第6,758,843号、第6,246,200号、及び第5,800,423号中に記載されており、それらの全開示をここに参照として援用する。これらのリンクは、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頻繁に使用する。そのようなマニピュレータ構造は、器具のシャフトが剛的なシャフトの長さに沿う空間内に位置付けられる球回転の遠隔中心について回転するよう、器具の動作を制約し得る。（例えば、腹腔鏡手術中に腹壁でトロカール又はカニューレを用いて）この回転の中心を内部手術部位への切開地点に整列させることによって、潜在的に危険な力を腹壁に課すことなく、マニピュレータリンクを用いてシャフトの近位端を移動させることによって、手術器具のエンドエフェクタを安全に位置付け得る。代替的なマニピュレータ構造が、例えば、米国特許第6,702,805号、第6,676,669号、第5,855,583号、第5,808,665号、第5,445,166号、及び第5,184,601号に記載されており、それらの全開示をここに干渉として援用する。

【 0 0 0 8 】

新しいロボット手術システム及び装置は極めて効果的であり且つ有利であることが証明されているが、更なる改良が依然として望ましい。例えば、手術器具を最小侵襲的な手術部位内で移動させるとき、ロボット手術マニピュレータは、特に大きな角度範囲を通じて最小非侵襲孔について器具を回転させるときに患者の外側で有意な量の動作を示すことが

10

20

30

40

50



あり、それは移動するマニピュレータが偶発的に互いに接触し合い、手術室内の器具カート若しくは他の器具と接触し、外科人員と接触し、且つ/或いは患者の他の表面と接触するようになることを引き起こし得る。具体的には、マニピュレータアームの体積は隣接するマニピュレータアームと接触し或いは衝突することがあり、それはマニピュレータアームに対する望ましくない動作及び/又は応力を引き起こし得る。患者(又は同種のもの)の外側での偶発的なマニピュレータ/マニピュレータ接触を抑制しながら、挿入部位への旋回運動を制約するよう設定される高度に構成可能な運動学的マニピュレータ継手に対するソフトウェア制御を利用する、代替的なマニピュレータ構造が提案されている。これらの高度に構成可能な「ソフトウェアセンタ」手術マニピュレータシステムは有意な利点をもたらす得るが、挑戦も提示し得る。具体的には、機械的に制約された遠隔中心リンクは、一部の状況において安全利点を有し得る。加えて、これらのマニピュレータに頻繁に含められる多数の継手の広範囲の設定は、特定の手術のために望ましい設定において手動で据え付けるのが困難であるマニピュレータをもたらす得る。それにも拘わらず、遠隔手術システムを用いて執り行われる手術の範囲は拡大し続けているので、利用可能な設計及び患者内の器具の動作範囲を拡張することに関する益々の要求がある。残念ながら、これらの変更の両方は、体の外側でマニピュレータの動作を制御し且つ予測することに関連付けられる挑戦を増大させることがあり、マニピュレータアーム及び隣接するマニピュレータアームの構成部品間の望ましくない接触又は衝突を回避することの重要性を増大させる。

10

**【発明の概要】**

20

**【発明が解決しようとする課題】****【0009】**

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る。これらの改良された技術が、所望のエンドエフェクタ状態又は器具シャフトが旋回する遠隔中心の所望の場所を維持しながら、隣接するマニピュレータアーム間の衝突を回避するもたらすならば、特に有益である。理想的には、これらの改良点は、エンドエフェクタの動作中のマニピュレータアーム間の衝突を回避しながら、外科手術中の1つ又はそれよりも多くのマニピュレータアームの改良された動作を可能にする。加えて、これらのシステムの大きさ、機械的な複雑さ、又はコストを増大させずに、少なくとも幾つかの手術のために器具の動作範囲を増大させながら、並びにそれらの器用さを維持し或いは向上させながら、そのような改良をもたらすのが望ましい。

30

**【課題を解決するための手段】****【0010】**

本発明は、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。多くの実施態様において、本発明は高度に構成可能な手術ロボットマニピュレータを利用する。これらのマニピュレータは、例えば、関連する手術エンドエフェクタが患者の手術作業空間内に有するよりも多くの動作の自由度を有し得る。本発明に従った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アームと、器具のエンドエフェクタを操作するための協調継手動作を計算するプロセッサとを含む。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継手は、マニピュレータが、所与のエンドエフェクタ位置及び/又は所与の旋回地点場所のために或る範囲の異なる構成を通じて移動することを可能にする。システムは、マニピュレータの1つ又はそれよりも多くの継手をプロセッサによって計算される継手の協調動作に従って駆動させることによってマニピュレータアームの間の衝突を回避するよう高度に構成可能なロボットマニピュレータの動作を可能にし、プロセッサは、所望のエンドエフェクタ状態及び/又は旋回地点場所を維持するために、マニピュレータの1つ又はそれよりも多くの継手を運動学的ヤコビアンヤコビアンの零空間内に延ばす。多くの実施態様において、回避動作は、相互作用素子間の又は隣接するマニピュレータアームの潜在的に衝突する構造間の距離が所望未満であるという決定に回答して計算される。

40

50

## 【 0 0 1 1 】

1つの特徴において、操作入力を備える余分な自由度（RDOF）の手術ロボットシステムが提供される。RDOF手術ロボットシステムは、マニピュレータ組立体と、1つ又はそれよりも多くの使用者入力装置と、コントローラを備えるプロセッサとを含む。組立体のマニピュレータアームが、所与のエンドエフェクタ状態のために或る範囲の継手状態を可能にする十分な自由度をもたらす複数の継手を有する。遠位エンドエフェクタの近位のマニピュレータアームの一部が隣接するマニピュレータの一部に接近し過ぎているという決定にตอบสนองして、システムは、それらのそれぞれのヤコビアン（ヤコビアン）の零空間内の一方又は両方のマニピュレータの複数の継手の回避動作を計算する。その場合、プロセッサは、エンドエフェクタの所望の状態を維持するために計算される回避動作に従って、コントローラを用いて継手を駆動させる。加えて、所望の動作でエンドエフェクタを移動させるという操作命令を受信することにตอบสนองして、システムは、零空間に対して直交するヤコビアン（ヤコビアン）の零垂直空間に沿う継手動作を計算することによって継手のエンドエフェクタ変位動作を計算し、計算される変位動作に従って継手を駆動させ、計算される回避動作に従った継手の駆動としばしば同時に、所望のエンドエフェクタ動作をもたらす。

10

## 【 0 0 1 2 】

本発明の他の特徴において、マニピュレータは、器具シャフトの中間部分が遠隔中心について回転するように移動するように構成される。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じて延びるときにエンドエフェクタ位置のために或る範囲の継手状態を可能にする十分な自由度をもたらす複数の被駆動継手がある。コントローラを有するプロセッサが入力装置をマニピュレータに結合する。マニピュレータアームの一部が隣接するマニピュレータの一部に接近し過ぎているという決定にตอบสนองして、プロセッサは、各マニピュレータアームの器具の中間部分がそれぞれのアクセス部位内に留まり且つ各器具シャフトが回転する所望の遠隔中心場所が維持されながら、マニピュレータアームの最も近い部分の間の距離を増大させるために、1つ又はそれよりも多くの継手の動作を決定する。1つ又はそれよりも多くのマニピュレータのエンドエフェクタの所望の動作をもたらす操作命令の受信後、システムは対応するマニピュレータの継手のエンドエフェクタ変位動作を計算し、それは零空間に対して直交する零垂直空間に沿う継手動作を計算し、次に、それぞれのマニピュレータの継手を計算される動作に従って駆動させ、所望のエンドエフェクタ動作をもたらす、その場合には、計算される回避動作に従った継手の駆動としばしば同時に、器具シャフトが遠隔中心について回転する。

20

30

## 【 0 0 1 3 】

他の特徴において、システムは、第1のマニピュレータの基準幾何学的構成及び第2のマニピュレータの基準幾何学的構成を決定し、基準幾何学的構成間の相対的状态を決定し、基準幾何学的構成は、典型的には、各マニピュレータアームの構成に対応する多数のラインセグメント（線分）を含む。次に、システムは、重なり合う（例えば、衝突し得る）第1及び第2の基準幾何学的構成の部分の間に延びる回避ベクトルを決定する。第1のマニピュレータのための回避ベクトルは、第1のマニピュレータの重なり合う幾何学的構成を第2のマニピュレータから離れるよう移動させる傾向を有する方向に向く。第2のマニピュレータのための回避ベクトルは、第2のマニピュレータの重なり合う幾何学的構成を第1のマニピュレータから離れるよう移動させる傾向を有する方向に向く。第2のマニピュレータの回避ベクトルは、第1のマニピュレータのための回避ベクトルと反対の方向も向く。基準幾何学的構成間の分離が所望未満であるという決定にตอบสนองして、システムは、次に、回避ベクトルに沿って適用されるときに分離を増大させるのに十分な、基準幾何学的構成間の仮想的な力又は被命令速度のような回避ベクトルに関連付けられるパラメータを決定する。そららのパラメータは、典型的には、対応する基準幾何学的構成が移動し且つ次に継手の継手空間内に変換されるマニピュレータアームの三次元作業空間内で計算される。代替的に、段落[0055]-[0058]内に記載されるものを含む、回避動作を計算する他の方法を用い得る。継手空間を用いて、システムは、マニピュレータアームと関連付けられるヤコビアン（ヤコビアン）の零空間内で継手及びリンクを延ばしながら分離を増大させ

40

50

るよう、回避動作を計算する。計算される回避動作に従って継手を駆動させることによって、システムは、マニピュレータアームの遠位部分（例えば、エンドエフェクタ）の所望の状態を維持しながら、隣接するマニピュレータアーム間の衝突を抑制するよう、回避動作をもたらす。

#### 【0014】

1つの特徴において、各基準幾何学的構成は、多数のラインセグメントを含み、相対的状态を決定することは、隣接する基準幾何学的構成から最も近い対のラインセグメントを決定することを含む。マニピュレータアームを表すためのラインセグメントの使用が限無く記載されているが、如何なる適切な幾何学的構成（例えば、地点、ラインセグメント球面、一連の球面、シリンダ、容積、又は様々の幾何学的形状）をも用い得ることが理解されよう。他の特徴において、最も近い対を決定することは、ラインセグメント対上の地点間の最も近い距離を決定することを含む。第1及び第2の基準規格学的構成から、システムは、マニピュレータアームの三次元作業空間内に、1つ又はそれよりも多くの対の相互作用素子（例えば、重なり合う作業空間内の運動の範囲を有するラインセグメント）を決定し、次に、基準規格学的構成間の相対的状态と基準規格学的構成間に延びる回避ベクトルとを決定する。次に、システムは、回避ベクトルの方向に沿うラインセグメント上の地点に適用される被命令速度又はベクトルに沿って適用される力をしばしばシミュレーションすることによって、ベクトルに沿う基準規格学的構成の動作を決定し、次に、それは継手空間内に変換される。次に、継手平面に沿う動作は、第1及び第2のマニピュレータアームの各々のマニピュレータアームの遠位部分（例えば、エンドエフェクタ）の所望の状態を維持しながら、基準幾何学的構成間の分離を維持する回避動作を計算するために、ヤコビアン10の零空間上に投影される。

#### 【0015】

特定の実施態様において、第1及び第2の基準幾何学的構成の各々は、1つ又はそれよりも多くの地点、ラインセグメント、マニピュレータアームの構成部品又は容積に対応する容積又はより洗練された立体モデリングを含み得る。一部の実施態様において、第1及び第2の基準幾何学的構成の各々は、多数のラインセグメントを含み、各ラインセグメントは、特定のマニピュレータアームのリンク又は突出部分に対応し、第1及び第2の基準幾何学的構成間の相対的状态は、第1及び第2の基準幾何学的構成の速度又は位置間の距離のような、マニピュレータアーム間の近接性に対応する。被駆動リンク又は「スレーブ」に取り付けられる近接センサによって近接性を局所的に感知し得る。相対的状态が所望未満、例えば、所望の分離未満であるという決定に応答して、システムは、零空間内のマニピュレータアームのうちの1つ又はそれよりも多くのマニピュレータアームの1つ又はそれよりも多くの継手の回避動作を計算して、各マニピュレータアームの遠位部分（例えば、エンドエフェクタ）の所望の状態又は各マニピュレータアームと関連付けられる遠隔中心の位置を維持しながら、分離距離を増大させる。

#### 【0016】

特定の実施態様では、継手状態の所定の距離又は機能であり得る、第1及び第2の基準幾何学的構成間の最も短い距離が所望未満であるという決定に応答して、システムのプロセッサが、マニピュレータアーム間の分離を増大させるためにそれぞれのマニピュレータアームの継手を駆動させることによって、それらの関連する零空間内の一方又は両方のマニピュレータアームの継手又はリンクの回避動作を計算する。エンドエフェクタの所望の状態は、エンドエフェクタの所望の位置、速度、又は加速度、或いは遠隔中心について旋回運動を含み得る。エンドエフェクタ操作命令は、手術コンソールマスタ入力に命令を入力する外科医のような使用者によって入力装置から受信され、回避動作は計算され、そして、基準規格学的構成間の距離が所望未満であるときにマニピュレータアーム間に十分な隙間をもたらすよう継手を駆動させるために用いられる。一部の実施態様において、各アームの遠位部分又はエンドエフェクタは、手術エンドエフェクタに対して遠位に延びる細長いシャフトを有する手術器具を含み或いはそれを解放可能に支持するように構成され、各器具シャフトは手術中に遠隔中心について旋回し、1つ又はそれよりも多くの継手の回40

10

20

30

40

50

避動作は、継手の駆動中に遠隔中心の位置を維持するように計算される。一部の実施態様において、1つ又はそれよりも多くのマニピュレータアームの継手は、マニピュレータアームの遠位部分（例えば、エンドエフェクタ）付近に回転継手を含み、それは挿入軸を遠位回転継手の軸について旋回させ、その軸は遠隔中心を通じて延びる。所望の遠位部分変位動作（例えば、エンドエフェクタ変位動作）をもたらすために第1の組の継手が駆動させられないよう、第1の組の継手が効果的に閉塞され或いは継手のエンドエフェクタ変位動作が計算されるよう、しばしば遠位回転継手である第1の組の継手が駆動させられないように、エンドエフェクタ変位動作を計算し得るのに対し、1つ又はそれよりも多くのマニピュレータアームの少なくとも遠位回転継手を駆動させるように、継手の回避動作を計算し得る。第1の組の継手は、マニピュレータアームの1つ又はそれよりも多くの継手を含む。

10

## 【0017】

例示的な実施態様において、各マニピュレータアームは、近位部分の遠位に挿入軸に沿って延びる中間部分と各中間部分の遠位端にあるエンドエフェクタとを有する工具を支持するように構成され、継手の少なくとも一部は、それぞれのマニピュレータアームの遠位部分が挿入軸に配置される遠隔中心について旋回して作業部位でのエンドエフェクタの動作を促進するよう、ベースに対する遠位部分（例えば、エンドエフェクタ）の動作を機械的に制約し、作業部位は挿入開口を通じてアクセスされる。各マニピュレータアームの複数の継手は、それぞれのマニピュレータアームの近位部分の遠位に配置され且つ遠位部分の近位に配置される遠隔球状中心継手を含み得、遠隔球状中心継手は、遠隔球状中心継手の関節がそれぞれのマニピュレータアームの遠位部分を第1、第2、及び第3の遠隔中心軸について旋回させるよう機械的に制約され、第1、第2、及び第3の遠隔中心軸は、その遠隔中心と交差する。一部の実施態様において、回避動作は、各アームが実質的に平面的な構造内に配置されるときのマニピュレータアーム間の平面的な関係と無関係であり、それにより、各アームのための構成の増大された範囲を可能にしながら、それらのそれぞれの範囲の運動が重なり合う第1及び第2のマニピュレータの間の衝突を抑制する。

20

## 【0018】

特定の実施態様では、マニピュレータアームの近位部分を近位ベースに結合させる第1の継手が、第1の継手の継手動作がマニピュレータアームの1つ又はそれよりも多くの継手を回転継手の旋回軸について旋回させるよう、それぞれのマニピュレータアームを支持する、回転継手である。一部の実施態様において、回転継手の旋回軸は、継手からエンドエフェクタを通じて、好ましくは遠隔中心を通じて延び、エンドエフェクタの器具シャフトは、遠隔中心について旋回する。1つの特徴において、回転継手の動作は、マニピュレータアームの1つ又はそれよりも多くの継手を遠位エンドエフェクタ又は遠隔中心に向かって遠位に先細り且つ方向付けられる円錐(cone)について旋回させる。この特徴においてマニピュレータアームがその周りで旋回する円錐は、工具先端の運動の範囲内で空に成形される円錐に対応し、その場合、工具の動作は不可能であり得るか或いは減じられ得る。他の特徴において、マニピュレータの近位部分をベースに結合させる継手は、ある経路、典型的には、円弧状の或いは実質的には円形の経路に沿ってベースに対して移動可能であることで、その経路に沿う継手の動作は、マニピュレータアームの1つ又はそれよりも多くの継手を遠隔中心を通じて延びる軸について旋回させ、器具は遠隔中心について旋回する。継手を駆動させ且つそれぞれのマニピュレータアームをヤコビアン内の零空間内で所望に再構成する使用者からの入力にตอบสนองして、その回転軸について旋回し且つ/或いはその経路に沿って移動するよう、第1の継手を駆動させ得る。

30

40

## 【0019】

本発明の更に他の特徴において、近位回転継手及び遠位平行四辺形リンクを備える手術ロボットマニピュレータが提供され、回転継手の旋回軸は、適用可能であるならば好ましくは遠隔中心で、エンドエフェクタの器具シャフトの軸と実質的に交差する。システムは、入力をマニピュレータアームに結合させ且つここに記載する実施態様のいずれかにおけるように複数の継手の回避動作を計算するように構成されるコントローラを有するプロセ

50

ッサを更に含む。計算される変位動作において駆動させられない或いはその逆である特定の継手を駆動させる回避動作を計算するという上述の特徴をここに記載するマニピュレータアームの継手のいずれにも適用し得る。

【0020】

本明細書の残余の部分及び図面を参照することによって、本発明の本質及び利点の更なる理解が明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1A】本発明の実施態様に従ったロボット手術システムを示す俯瞰図であり、ロボット手術システムは患者内の内部手術部位に手術エンドエフェクタを有する手術器具を無人操縦で移動させるための複数のロボットマニピュレータを備える手術ステーションを有する。

10

【図1B】図1Aのロボット手術システムを示す概略図である。

【図2】図1Aの手術システム内に外科手術命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、コンソールは入力命令に応答してマニピュレータ命令信号を生成するためのプロセッサを含む。

【図3】図1Aの電子機器カートを示す斜視図である。

【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を示す斜視図である。

【図5A】例示的なマニピュレータアームを示す図である。

【図5B】例示的なマニピュレータアームを示す図である。

20

【図5C】例示的なマニピュレータアームを示す図である。

【図5D】例示的なマニピュレータアームを示す図である。

【図5E】図5A - 5Bに示される例示的なマニピュレータアームの構成部品に対応する多数のラインセグメントを含む基準幾何学的構成を示す図である。

【図6A】幾つかの実施態様に従ってマニピュレータアーム間の衝突を抑制するよう1つ又はそれよりも多くの継手を駆動することにおける使用のための回避動作を計算するために用いられるような第1の例示的なマニピュレータアームの第1の基準幾何学的構成と第2の例示的なマニピュレータアームの第2の基準幾何学的構成との間の相互作用を示す図である。

【図6B】幾つかの実施態様に従ってマニピュレータアーム間の衝突を抑制するよう1つ又はそれよりも多くの継手を駆動することにおける使用のための回避動作を計算するために用いられるような第1の例示的なマニピュレータアームの第1の基準幾何学的構成と第2の例示的なマニピュレータアームの第2の基準幾何学的構成との間の相互作用を示す図である。

30

【図6C】幾つかの実施態様に従ってマニピュレータアーム間の衝突を抑制するよう1つ又はそれよりも多くの継手を駆動することにおける使用のための回避動作を計算するために用いられるような第1の例示的なマニピュレータアームの第1の基準幾何学的構成と第2の例示的なマニピュレータアームの第2の基準幾何学的構成との間の相互作用を示す図である。

【図7】継手の軸についてマニピュレータアームを回転させる近位回転継手を有する例示的なマニピュレータアームを示す図である。

40

【図8】継手軸について器具ホルダを回転させ或いは捻る遠位器具ホルダ付近の捻り継手を有する例示的なマニピュレータアームを示す図である。

【図9】曲線経路について並進するマニピュレータアームを支持する近位回転継手を有する例示的なマニピュレータアームを示す図である。

【図10】曲線経路について並進するマニピュレータアームを支持する近位回転継手を有する例示的なマニピュレータアームを示す図である。

【図11A】例示的なマニピュレータ組立体内のヤコビアンの零空間と零垂直空間との間の関係を図式的に示す図である。

【図11B】零空間と零運動マニホルドとの間の関係を図式的に示す図である。

50

【図 1 2】一部の実施態様に従った方法を簡略的に示すブロック図である。

【図 1 3】一部の実施態様に従った方法を簡略的に示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

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。本方法は、外科手術中に複数の手術工具又は器具が取り付けられ且つ関連する複数のロボットマニピュレータによって移動させられる手術ロボットシステムとの使用のために特に有利である。ロボットシステムは、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頻繁に含む。比較的多数の自由度を有する関節リンクを備えるマニピュレータ組立体を移動させるよう適切に構成されるプロセッサを利用するロボットシステムを提供することによって、リンクの動作を最小侵襲的アクセス部位を通じた作業に適合させ得る。多数の自由度は、所望のエンドエフェクタ状態を維持しながら第1のマニピュレータのリンクを1つ又はそれよりも多くの隣接するマニピュレータから離れる方向に移動させるために、ヤコビアン10の零空間内のマニピュレータ組立体のリンクの移動又は再構成を可能にする。特定の実施態様において、システムは、マニピュレータアームの一部と1つ又はそれよりも多くの隣接するマニピュレータアームとの間の距離が所望よりも少ないときを決定し、次に、マニピュレータアームの一部と1つ又はそれよりも多くの隣接するマニピュレータアームとの間の距離を増大させるために、それらのそれぞれの零空間内で1つ又はそれよりも多くのマニピュレータアームの継手を拡張する或いは移動させる計算された回避動作に従って20継手を駆動する。しばしば、マニピュレータアームの継手は、外科手術中に、遠位エンドエフェクタの命令された変位動作と同時に、計算された回避動作に従って駆動させられる。

【0023】

ここに記載するロボットマニピュレータ組立体は、ロボットマニピュレータと、その上に取り付けられる工具（工具は外科版の手術器具を含むことが多い）とを含むことが多いが、「ロボット組立体」という用語は、その上に取り付けられる工具を備えないマニピュレータも包含する。「工具」という用語は、汎用又は産業用のロボット工具及び特殊なロボット手術器具の両方を包含するが、後者の構成は、組織の操作、組織の処置、組織の画像化、又は類似のものを含むことが多い。工具/マニピュレータインターフェースは、急速着脱工具ホルダ又はカプリングであることが多く、工具の迅速な取外し及び交換用工具との交換を可能にする。マニピュレータ組立体は、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るベースを有することが多く、マニピュレータ組立体は、ベースと工具の30エンドエフェクタとの間に多数の自由度を含み得る。（把持装置のジョーを開放又は閉塞すること、遠隔手術パドルを例示すること、又は同種のこのような）エンドエフェクタの作動は、これらのマニピュレータ組立体の自由度と別個であり、且つこれらのマニピュレータ組立体の自由度に加えてあることが多い。

【0024】

エンドエフェクタは、2～6の自由度の間で作業空間内を移動するのが典型的である。ここで用いるとき、「位置」という用語は、場所及び向き40の両方を包含する。故に、エンドエフェクタの位置の変更は、（例えば）第1の場所から第2の場所へのエンドエフェクタの並進、第1の向きから第2の向き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。最小侵襲的なロボット手術のために用いられるときには、工具又は器具のシャフト又は中間部分が最小侵襲的な手術アクセス部位又は他の孔を通じた安全動作に制約されるよう、システムのプロセッサによってマニピュレータ組立体の動作を制御し得る。そのような動作は、例えば、孔部位を通じた手術作業空間内へのシャフトの軸方向挿入、その軸についてのシャフトの回転、及びアクセス部位に隣接する旋回地点についてのシャフトの旋回移動を含み得る。

【0025】

ここに記載する例示的なマニピュレータ組立体の多くは、手術部位内でエンドエフェク

10

20

30

40

50

タを位置決めし且つ移動させるのに必要とされるよりも多くの自由度を有する。例えば、最小侵襲的孔を通じて内部手術部位で6つの自由度で位置付け得る手術用エンドエフェクタが、一部の実施態様では、9つの自由度(6つのエンドエフェクタ自由度 - 場所のための3つの自由度、及び向きのための3つの自由度に加え、アクセス部位制約に従う3つの自由度)を有し得るが、10又はそれよりも多くの自由度を有し得る。所与の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変更可能なマニピュレータ組立体は、作業空間内でエンドエフェクタ位置のために或い範囲の継手状態を可能にするよう十分な自由度を有し或いは提供するものとして記載され得る。例えば、所与のエンドエフェクタ位置のために、マニピュレータ組立体は、ある範囲の代替的なマニピュレータリンク位置のいずれかの位置を占め得るし(それらのいずれかの位置の間で駆動させられ得る)。同様に、所与のエンドエフェクタ速度ベクトルのために、マニピュレータ組立体は、零空間内のマニピュレータ組立体の様々な継手のために或る範囲の異なる継手移動速度を有し得る。

10

**【0026】**

本発明は、広範囲の動作が望ましく、他のロボットリンク、外科人員及び手術器具、並びに同種のものの存在の故に、限定的な専用体積が利用可能である、外科(及び他の)用途に特に適した、ロボットリンク構造を提供する。各ロボットリンクのために必要とされる大きい範囲の動作及び減少させられた体積は、ロボット支持構造の場所と外科又は他の作業空間との間により大きな柔軟性ももたらし、それにより、据付けを容易化し且つ加速させ得る。

20

**【0027】**

継手又は同種のものの「状態」という用語は、ここでは、継手と関連付けられる制御変数を指すことが多い。例えば、角継手の状態は、その範囲の移動内でその継手によって定められる角度、及び/又は継手の角速度を指し得る。同様に、軸方向又は角柱継手の状態は、継手の軸方向位置、及び/又はその軸方向速度を指し得る。ここに記載するコントローラの多くは速度コントローラを含み得るが、それらは何らかの位置調節の特徴も有することが多い。代替的な実施態様は、主として或いは全体的に、位置コントローラ、加速コントローラ、又は同種のものに依存し得る。そのような装置において用い得る制御システムの多くの特徴は、米国特許第6,699,177号により完全に記載されており、その全開示をここに参照として援用する。故に、記載する動作が関連する計算に基づく限り、位置制御アルゴリズム、速度制御アルゴリズム、両方の組み合わせ、又は同種のものを用いて、ここに記載する継手の動作及びエンドエフェクタの動作の計算を行い得る。

30

**【0028】**

特定の実施態様において、例示的なマニピュレータアームの工具は、最小侵襲孔に隣接する旋回地点について旋回する。システムは、ここにその全文を援用する米国特許第6,786,896号に記載される遠隔中心運動力学のような、ハードウェア遠隔中心を利用し得る。そ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地点について旋回するようにリンクの動作を制約する二重平行四辺形リンクを利用し得る。代替的な機械的に制約される遠隔中心リンクシステムは知られており、且つ/或いは将来的に開発され得る。驚くべきことに、本発明と関係する作業は、遠隔中心リンクシステムが高度に構成可能な運動学的構成から利益を享受し得ることを示す。具体的には、手術ロボットシステムが最小侵襲的手術アクセス部位で又はその付近で交差する2つの軸についての旋回動作を可能にするリンクを有するとき、球形旋回動作は患者内の所望の範囲の動作の広がり全体を包含し得るが、(不十分に調整される、患者の外側でのアーム対患者の又はアーム間の接触の影響を受け易い、及び/又は同種のもののような)回避可能な欠陥に依然として悩まされ得る。第1に、アクセス部位で又はその付近での旋回動作に機械的に同様に制約される1つ又はそれよりも多くの追加的な自由度を追加することは、動作の範囲における僅かの又は幾らかの改良をもたらすように思われ得る。それにも拘わらず、そのような継手は、全体的なシステムが他の外科手術及び同種のもののために動作の範囲を更に拡張することによって衝突抑制姿勢において構成される或いはそれに向

40

50

かって駆り立てられることを可能にすることによって有意な利点をもたらす得る。

【0029】

他の実施態様において、システムは、その全文を参照としてここに援用する米国特許第8,004,229号中に記載されるような遠隔中心を達成するよう、ソフトウェアを利用し得る。ソフトウェア遠隔中心を有するシステムにおいて、プロセッサは、機械的な制約によって決定される旋回地点ではなく、計算される旋回地点場所について器具シャフトの中間部分を旋回させるために、継手の動作を計算する。ソフトウェア旋回地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を選択的に実施し得る。より具体的には、ある範囲の旋回地点/中心(例えば、移動可能な旋回地点、受動旋回地点、固定/剛的旋回地点、ソフト旋回地点)に亘る異なるシステムモードを所望に実施し得る。よって、本発明の実施態様は、ソフトウェア中心アーム及びハードウェア中心アームの両方を含む様々の種類のマニピュレータアームにおける使用に適する。

10

【0030】

多数の高度に構成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、マニピュレータはベースと器具との間に比較的多数の継手及びリンクを含むので、マニピュレータアームの動作は特に複雑であり得る。構成の範囲及びマニピュレータアームの動作の範囲が増大すると、遠位エンドエフェクタに近接するマニピュレータアームの一部と隣接するマニピュレータとの間でのアーム間衝突の可能性も増大する。例えば、ここに記載するような、最小侵襲的孔に隣接する遠隔中心について旋回する遠位工具を有するマニピュレータアームの相当な範囲の動作は、マニピュレータアームの突出部分又はマニピュレータアーム自体の遠位リンクが隣接するマニピュレータのリンク又は突出部分と接触し且つ/或いは衝突することを可能にし得る。マニピュレータアームの複数の継手の精密な動作は特に複雑であるので、アーム間衝突は繰り返し起きる問題であり得るし、回避するのが困難であり得る。本発明は、マニピュレータアームの遠位部分又は工具の所望の状態を維持しながら、ヤコビアン内のマニピュレータアームの回避動作を計算し且つ回避動作をもたらすよう継手を駆動させることによって、そのようなアーム間衝突を回避し、それにより、所望のエンドエフェクタ動作をもたらしながら、多数のマニピュレータアーム間の衝突を回避する。

20

【0031】

本発明の実施態様は、第1の基準幾何学的構成と第2の基準幾何学的構成との間の距離が所望より少ないという決定に回答してアーム間衝突を回避するよう零空間内のマニピュレータ構造を再構成するよう運動学的リンクの被駆動継手の使用を容易化する回避動作を計算するプロセッサを含み、第1の基準幾何学的構成は、第1のマニピュレータアームの1つ又はそれよりも多くの部分に対応し、第2の基準幾何学的構成は、第2の隣接するマニピュレータアームの1つ又はそれよりも多くの部分に対応する。他の実施態様において、システムは、追加的なマニピュレータアームを含み、各追加的なマニピュレータアームは、第3の基準幾何学的構成を有する第3のマニピュレータアーム及び第4の基準幾何学的構成を有する更なるマニピュレータアームのような、対応する基準幾何学的構成を有する。そのような実施態様において、システムは、1つ又はそれよりも多くの対の基準幾何学的構成又はラインセグメント上の各々の最も近い地点の間のような、基準幾何学的構成の各々とそれらの間に延びる回避ベクトルとの間の相対的な状態を更に決定し、隣接する基準幾何学的構成の各々の間の十分な距離を維持するために1つ又はそれよりも多くのマニピュレータアームの回避動作を計算する。

30

40

【0032】

特定の実施態様において、システムは、隣接するマニピュレータと重なり合う或る範囲の動作を有するマニピュレータの部分に対応する所定の基準幾何学的構成を用いることで、その部分は、各々がそのそれぞれの範囲の動作内で重なり合う領域に移動するとき、隣接するマニピュレータとの衝突の影響を受け易い。第1の基準幾何学的構成は、単一の地点であり得るし、或いは、より典型的には、マニピュレータアームの突出部分及び/又

50



はリンクに対応する多数のラインセグメントであり得る。次に、システムは隣接するアームの所定の基準幾何学的構成の間の相対的な状態を決定し、その状態は、基準幾何学的構成の位置、速度、又は加速度のいずれかであり得る。相対的な状態は、各基準幾何学的構成の速度ベクトル間の距離であり得るし、それらの間の差を含み得る。一部の実施態様において、回避動作はこの相対的な状態を用いて計算され、使用者によって命令される所望の変位動作をもたらすように計算される動作と組み合わせられる。そのような実施態様では、衝突が起こりそうにないことを相対的な状態が示すならば、回避動作は最小又は無視可能であり、相対的な状態が最小衝突を示すとき、回避動作は実質的により大きい。

#### 【0033】

特定の実施態様において、各基準幾何学的構成の状態は、プロセッサが回避動作を計算することにおける使用のために相対的な継手状態を決定するのを可能にするために基準幾何学的状態間の比較を可能にするよう、それぞれのマニピュレータアーム内の継手センサを用いて決定される。手術システムのコントローラは、継手コントローラプログラミング指令又はコードをその上に記憶して有する読取可能なメモリを備えるプロセッサを含んでよく、それはプロセッサが継手を駆動するための適切な継手命令を導出することを可能にし、コントローラがマニピュレータの継手の動作をもたらすことを可能にし、隣接するマニピュレータとの衝突を回避し且つ/或いは所望のエンドエフェクタ動作をもたらす。

#### 【0034】

以下の記述では、本発明の様々の実施態様を記載する。説明の目的のために、実施態様の網羅的な理解をもたらすために、特別な構成及び詳細を示す。しかしながら、特別な詳細がなくても本発明を実施し得ることも当業者に明らかである。更に、記載する実施態様を藍内にしないために、周知の機能を省略し或いは簡略化することがある。

#### 【0035】

幾つかの図面を通じて同等の参照番号が同等の部分を表す図面を次に参照すると、図1Aは、手術テーブル14上に横たわっている患者12に対して最小侵襲的診断又は外科手術を執り行うことにおける使用のための、幾つかの実施態様に従った最小侵襲的ロボット手術システム10(MIRSシステム)を例示する俯瞰図である。システムは手術中の外科医18による使用のための外科医コンソール16を含み得る。1人又はそれよりも多くの助手20が手術に参加し得る。MIRSシステム10は、患者側カート22(手術ロボット)と、電子機器カート24とを更に含み得る。外科医18がコンソール16を通じて手術部位を見る間に、患者側カート22は患者12の体の最小侵襲的切開を通じて少なくとも1つの取り外し可能に結合される工具組立体26(以下、単に「工具」と呼ぶ)を操作し得る。内視鏡28を方向付けるために患者側カート22によって操作し得る立体内視鏡のような内視鏡によって、手術部位の画像を取得し得る。外科医コンソール16を通じた外科医18への引き続きの表示のために手術部位の画像を処理するために、電子機器カート24を用い得る。一度に用いられる手術工具26の数は、他の要因の中でも、診断又は外科手術及び手術室内の空間制約に大いに依存する。手術中に用いられる工具26の1つ又はそれよりも多くを変更することが必要であるならば、助手20は患者側カート22から工具26を取り外し、それを手術室内のトレイ30からの他の工具26と交換し得る。

#### 【0036】

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を図式的に例示している。上記で議論したように、最小侵襲的手術中に(図1Aの患者側カート22のような)患者側カート54(手術ロボット)を制御するために、外科医は(図1Aの外科医コンソール16のような)外科医コンソール52を用い得る。患者側カート54は、立体内視鏡のような画像化装置を使用して、手術部位の画像を捕捉し、捕捉画像を(図1Aの電子機器カート24のような)電子機器カート56に出力し得る。上記で議論したように、電子機器カート56は、いかなる後続の表示にも先立ち、捕捉した画像を様々な方法において処理し得る。例えば、電子機器カート56は、外科医コンソール16を介して結合画像を外科医に表示するに先立ち、捕捉した画像を仮想制御インターフェース

10

20

30

40

50

でオーバーレイし得る。患者側カート54は電子機器カート56の外側での処理のために捕捉画像を出力し得る。例えば、患者側カート54は捕捉画像をプロセッサ58に出力し、捕捉画像を処理するためにプロセッサを用い得る。電子機器カート56及びプロセッサ58の組み合わせによっても画像を処理し得る。捕捉画像を共同して、順次的に、及び/又はそれらの組み合わせで処理するために、電子機器カート56及びプロセッサ58を連結し得る。手術の画像又は他の関連する画像のような画像を近くで及び/又は遠隔に表示するために、1つ又はそれよりも多くの別個のディスプレイ60もプロセッサ58及び/又は電子機器カート56と結合し得る。

【0037】

図2は、外科医コンソール16の斜視図である。外科医コンソール16は、深さ知覚を可能にする手術部位の協調立体図を外科医18に提示するための左眼用ディスプレイ32と右眼用ディスプレイ34とを含む。外科医コンソール16は、1つ又はそれよりも多くの入力制御装置36を更に含み、入力制御装置36は患者側カート22(図1Aに図示)に1つ又はそれよりも多くの工具を操作させる。外科医が工具26を直接的に制御している強い感覚を有するよう、入力制御装置36が工具26と一体的であるという知覚又はテレプレゼンスを外科医にもたらしするために、入力制御装置36はそれらの関連する工具26(図1Aに図示)と同じ自由度をもたらし得る。この目的を達成するために、位置、力、及び触感を入力制御装置36を通じて工具26から外科医の手に戻すよう、位置、力、及び触覚フィードバックセンサ(図示せず)を利用し得る。

【0038】

外科医が手続きを直接的に監視し、必要であれば物理的に存在し、且つ電話又は他の通信媒体を通じてというよりもむしろ直接的に補助者に話し得るよう、外科医コンソール16は患者と同じ部屋に配置されるのが普通である。しかしながら、外科医を異なる部屋、完全に異なる建物、又は他の患者から離れた隔場所に配置して、遠隔外科手術を可能にしてもよい。

【0039】

図3は、電子機器カート24の斜視図である。電子機器カート24を内視鏡28と結合させ得る。電子機器カート24は、例えば、外科医コンソール上の外科医への或いは近くに又は遠隔に配置される他の適切なディスプレイへの後続の表示のために捕捉画像を処理する、プロセッサを含み得る。例えば、内視鏡が用いられる場合、電子機器カート24は、手術部位の協調立体画像を外科医に提示するために捕捉画像を処理し得る。そのような協調は、対向する画像間の整列を含み得、立体内視鏡の立体作動距離を調節することを含み得る。他の実施例として、画像処理は、光学収差のような画像捕捉装置の結像誤差を補償するために、以前に決定したカメラ較正パラメータの使用を含み得る。外科医は、外科医コンソール16のコントローラの三次元コントローラ作業空間内でコントローラを移動させることによってロボットシステムを用いて組織を概ね操作し、次いで、それは三次元マニピュレーターム作業空間を通じて移動する1つ又はそれよりも多くのマニピュレータームを移動させる。プロセッサが、継手センサを介して且つ/或いは動作命令から作業空間内のマニピュレータームの位置を計算し得、1つ又はそれよりも多くのマニピュレータームの継手空間に座標系変換を遂行することによって外科医によって命令される所望の動作に影響を及ぼし得、継手空間はプロセッサに利用可能な代替的な継手構造の範囲である。これらのプロセスを実施するためのプログラム指令を有形媒体に記憶させられる機械読取可能なコード中に任意的に組み込み得る。有形媒体は、光ディスク、磁気ディスク、磁気テープ、バーコード、EEPROM、又は類似物を含み得る。代替的に、I/Oケーブル、イントラネット、インターネット、又は類似物のような、データ通信システムを用いて、プログラミング指令をプロセッサに送信し且つプロセッサから送信し得る。例示的な制御システムは、1999年8月13日に出願された米国特許出願第09/373,678号中により詳細に記載されており、その全文をここに参照として援用する。

【0040】

図4は、複数のマニピュレータアームを有する患者側カート22を示しており、各マニピュレータアームはその遠位端で手術器具又は工具26を支持する。図示の患者側カート22は、手術部位の画像を捕捉するために用いられる立体内視鏡のような撮像装置28又は手術器具26を支持するために用い得る4つのマニピュレータアーム100を含む。操作は多数のロボット継手を有するロボットマニピュレータアーム100によってもたらされる。切開の大きさを最小限化するために、運動遠隔中心が切開に維持されるよう、撮像装置28及び手術器具26を患者の切開を通じて位置付けて操作し得る。手術器具又は工具26が撮像装置28の視野内に位置付けられるとき、手術部位の画像は手術器具又は工具26の遠位端の画像を含み得る。

#### 【0041】

手術器具26に関して、異なる種類及び異なるエンドエフェクタの様々の代替的なロボット手術器具又は器具を用い得る。外科手術中に少なくとも一部のマニピュレータの器具は取り外され且つ交換される。デベキー鉗子(DeBakey Forceps)、マイクロ鉗子(microforceps)、ポット鋏(Potts scissors)、及びクリップアプライヤ(clip-applier)を含む、これらのエンドエフェクタのうちの幾つかは、一対のエンドエフェクタジョー(又はブレード)を定めるように互いに対して回転する第1及び第2のエンドエフェクタ素子を含む。エンドエフェクタジョーを有する器具のために、ハンドルのグリップ部材を握り締めることによってジョーを作動させ得ることが多い。解剖刀及び電気メスプローブを含む、他のエンドエフェクタは、単一のエンドエフェクタ素子(例えば、単一の「指」)を有する。例えば、器具先端への電気メスエネルギーの供給を開始させるために、グリップ部材

#### 【0042】

時々、組織画像を捕捉するために器具の先端を用い得る。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が、しばしば腹壁又は類似の場所を通じて、最小侵襲孔を通じて手術作業部位内に遠位に挿入されることを可能にする。手術作業部位に通気し得るし、患者内のエンドエフェクタの動作を、少なくとも部分的に、シャフトが最小侵襲孔を通過する場所についての器具26の回転によってもたらし得る。換言すれば、エンドエフェクタの所望の動作をもたらすのを助けるために、シャフトが最小侵襲孔の場所を通じて延びるよう、マニピュレータ100は器具の近位ハウジング患者の外側に移動させる。故に、マニピュレータ100は外科手術中に患者Pの外側で有意な動作を受ける。

#### 【0043】

図5A-10に参照して本発明に従った例示的なマニピュレータアームを理解し得よう。上述のように、マニピュレータアームは遠位器具又は手術器具を概ね支持し、ベースに対する器具の動作をもたらす。(典型的には外科助手の助けを受けて)異なるエンドエフェクタを有する多数の異なる器具を外科手術中に各マニピュレータに順次的に取り付け得るので、好ましくは遠位器具ホルダが非取付器具又は工具の素早い取外し又は交換を可能にする。図4を参照して理解され得るよう、マニピュレータは患者側カートのベースに近位的に取り付けられる。典型的には、マニピュレータアームは、複数のリンクと、ベースと遠位器具ホルダとの間に延びる関連する継手とを含む。1つの特徴において、所与のエンドエフェクタ位置のために或る範囲の異なる構成を通じてマニピュレータアームの継手を駆動させ得るよう、例示的なマニピュレータは余分の自由度を有する複数の継手を含む。これはここに開示するマニピュレータアームの実施態様のいずれにも当て嵌まり得る。

#### 【0044】

例えば、図5Aに示されるように、特定の実施態様において、例示的なマニピュレータアームは、マニピュレータアームを継手の遠位で継手軸について回転させるために第1の継手軸について回転する近位回転継手J1を含む。一部の実施態様において、回転継手J1はベースに直接的に取り付けられるのに対し、他の実施態様では、回転継手J1を1つ又はそれよりも多くのリンク又は継手に取り付け得る。マニピュレータアームの継手を所

10

20

30

40

50

与のエンドエフェクタ位置のためのある範囲の異なる構成を通じて駆動させ得るよう、マニピュレータの継手は、組合わせにおいて、余分の自由度を有する。例えば、器具ホルダ 510 内に支持される（工具 512 又は器具シャフトが貫通して延びるカニューレのような）遠位部材 511 が特定の状態を維持する間に図 5A - 5D のマニピュレータアームを異なる構成に操作し得る。図 5A - 5D のマニピュレータアームはエンドエフェクタの所与の位置又は速度を含み得る。遠位部材 511 は、典型的には、工具シャフト 512 が貫通して延びるカニューレであり、器具ホルダ 510 は、典型的には、カニューレ 511 を通じて延び最小侵襲的孔を通じて患者の体内に至る前に器具が付着する（円材上を並進する煉瓦状の構造として示される）キャリッジである。

【0045】

図 5A - 5D 中に例示されるようなリンクを接続する継手の回転の軸と共に図 5A - 5D のマニピュレータアーム 500 の個々のリンクを記載すると、第 1 のリンク 504 が旋回継手 J2 から遠位に延び、旋回継手 J2 はその継手軸について旋回し且つ回転継手 J1 に結合され、回転継手 J1 はその継手軸について回転する。継手の残余の多くを図 5A に示されるようなそれらの関連する近位軸によって特定し得る。例えば、リンク 504 の遠位端が、旋回継手 J3 で第 2 のリンク 506 の近位端に結合され、旋回継手 J3 は、その継手軸について旋回する。第 3 のリンク 508 の近位端が、旋回継手 J4 で第 2 のリンク 506 の遠位端に結合され、旋回継手 J4 は、図示のように、その軸について旋回する。第 3 のリンク 508 の遠位端は、旋回継手 J5 で器具ホルダ 510 に結合される。マニピュレータの幅 w の減少をもたらす且つマニピュレータ組立体の操作中のマニピュレータの一部の周りの隙間を改良するために、リンクが図 5D に示されるように互いに隣り合って位置付けられるときにリンクが「積み重ねられて」見えるよう、継手 J2, J3, J4, J5 の各々の旋回軸を実質的に平行に構成し得る。一部の実施態様において、器具ホルダは、最小侵襲的孔を通じる器具の軸方向動作を促進させ且つ器具が滑動可能に挿入されるカニューレへの器具ホルダの取付けを容易化する、プリズム状の継手 J6 のような追加的な継手も含む。

【0046】

カニューレ 511 は、器具ホルダ 510 の遠位に追加的な自由度を含み得る。マニピュレータのモータによって、器具の自由度の作動を駆動させ得る。代替的な実施態様は、器具上にあるものとしてここに示す 1 つ又はそれよりも多くの継手が代わりにインターフェース上にあるように或いはその逆であるように、迅速に取り外し可能な器具ホルダ / 器具インターフェースで、支持するマニピュレータ構造から器具を分離する。一部の実施態様において、カニューレ 511 は、工具のシャフトが最小侵襲的孔に隣接して旋回する遠隔中心 RC 又は工具中心の挿入地点の付近又は近位に、回転継手 J7（図示せず）を含む。器具の遠位手首部が、器具手首部で 1 つ又はそれよりも多くの継手の器具継手軸についてカニューレ 511 を通じるエンドエフェクタの旋回運動を可能にする。エンドエフェクタ場所及び向きと無関係に、エンドエフェクタジョー素子の間の角度を制御し得る。

【0047】

特定の実施態様では、隣接するマニピュレータアームの基準幾何学的構成の間の相対的な状態を決定することによって、アーム間の衝突が今にも起こりそうであり得るときをシステムのプロセッサが決定し得るよう、システムは各マニピュレータアームの位置又は状態に対応する所定の基準幾何学的構成を用いる。図 5A に示されるように、「回避基準幾何学的構成」とも時折呼ぶ基準幾何学的構成 700 は、対応するラインセグメント 704, 706, 708, 701, 711 を含み得る。各ラインセグメントは、物理的なマニピュレータアーム 500 のリンクに対応する。「基準幾何学的構成」自体はプロセッサによって定められ（或いは前もって定められ且つ / 或いは使用者によって入力され）、マニピュレータの構成部品が手術空間を通じて移動するとき、典型的には継手センサを用いて、その状態はプロセッサによって決定され且つ追跡される。図 5A に示されるラインセグメントは例示的な目的のためであり、基準幾何学的構成がマニピュレータアームに関する構成部品又は機能にどのように対応するかを表示し、且つアーム間の衝突を避けるために

10

20

30

40

50

本発明に従ってプロセッサによって基準幾何学的構成をどのように定め且つ利用し得るかにおける変形を例示する。基準幾何学的構成は、マニピュレータアームに関連する突起又は機能に対応する地点又はラインセグメントを更に含み得る。例えば、ラインセグメント 711 は、円材リンク 710 に移動可能に取り付けられるキャリッジの突出縁に対応し、ラインセグメント 712 は、カニューレ 511 を通じて延びる器具のベースの突出縁に対応する。ここに記載するように、図 5 E に示されるような、第 1 のマニピュレータの構成部品に対応する所定の基準幾何学的ラインセグメントを「第 1 の基準幾何学的構成」と集合的に呼び、図 5 E は、基準幾何学的構成 700 を、マニピュレータアーム 500 の様々の構成部品に対応する網羅的なラインセグメント 706, 708, 710, 711, 712 として描写する。

10

#### 【0048】

図 6 A - 6 C は、本発明に従って、上記のような、第 1 及び第 2 のマニピュレータの相互作用並びに第 1 及び第 2 の回避基準幾何学的構成の例示的な使用を例示している。図 6 A におけるシステムは、第 1 のマニピュレータ 500 と、第 2 のマニピュレータ 500' とを含み、各々のマニピュレータは、所与のエンドエフェクタ位置のためのある範囲の構成を有する運動学的に接合するリンクの同一の組立体を有するが、様々の他のマニピュレータを用い得ること並びに同じシステム内で異なる種類のマニピュレータを組み合わせ得ることが理解されよう。1 つの特徴において、システムは、基準幾何学的構成 700 のラインセグメントと基準幾何学的構成 700' のラインセグメントとの間に仮想的な力を適用することによって、マニピュレータの一方又は両方の回避動作を計算する。プロセッサは仮想的な力を用いて、一对の相互作用する素子を互いに離れる方向に移動させるのに必要とされる動作をもたらす継手力を計算する。一部の実施態様において、システムは、相互作用する素子の間に延びる回避ベクトルに沿って上記の基準幾何学的構成を用いて、隣接するマニピュレータの相互作用する素子の間の「反発力」を計算し得る。マニピュレータアームの三次元作業空間内で相対的な状態、回避ベクトル、及び反発力を計算し、次に、継手空間内に変換し得る。次に、継手空間内のマニピュレータアームの動作は、マニピュレータ構成自体に対応する、基準幾何学的構成間の分離を増大させるよう、零空間内の回避動作を決定するために、ヤコビヤンの零空間上に投影されると同時に、マニピュレータの遠位部分の所望の位置を維持する。しばしば、その力は、各マニピュレータの基準幾何学的構成の間の相対的な状態又は距離、最小又は最大距離、或いは所望の距離の関数であり得る（例えば、 $f(d > d_{max}) = 0$ 、 $f'(d) < 0$ ）（注： $f'$  は、 $f$  の微分）。零空間内の回避動作を計算するために、零空間係数を得るために基準幾何学的構成の相互作用する素子の間の計算される反発力の使用を用い得る。零空間係数及び零空間係数を用いて回避動作を計算することを以下により詳細に記載する。

20

30

#### 【0049】

例示的な実施態様において、システムは、潜在的に相互作用し或いは衝突し得る隣接するマニピュレータから最も近接する対の素子（しばしば「相互作用素子」と呼ぶ）を少なくとも決定する。各マニピュレータから 1 つの一对の相互作用素子は、重なり合う運動の範囲を有する如何なる対の素子をも含み得る。例えば、図 6 A において、1 つの相互作用する素子対は 711 及び 711' であるのに対し、他の相互作用する素子対は 710 及び 706' である。一部の実施態様において、システムは特定の分離距離内で相互作用素子を考察するに過ぎない。相互作用する素子対の間の距離（ $d$ ）が、基準幾何学的構成 711 及び 711' が対応する相互作用素子の間の距離（ $d$ ）のような、所望未満であるという決定に回答して、プロセッサは、相互作用素子の間の距離を増大させるために、一方又は両方のマニピュレータの回避動作を計算する。他の実施態様では、より効率的な動作をもたらすために或いは動作中に他の相互作用素子対の間の適切な距離を維持するために、回避動作の計算は、710 及び 706' の間の距離  $d'$  のような、他の対の相互作用素子の間の距離を用いて得られる力も含み得る。特定の実施態様において、回避動作は、特定される相互作用素子の間に延びるベクトルに沿う反発力を決定することによって、或いはマニピュレータの作業空間内に仮想的な力を適用し且つ継手空間内の回避動作を計算する

40

50

ためにこの形態を使用することによって計算される。

【 0 0 5 0 】

一部の実施態様において、回避動作は、計算される回避動作に従って上記計算において用いられる対の1つのマニピュレータの継手を駆動させるために計算される。他の実施態様では、それらの継手が他の計算される動作をもたらすために駆動させられるか否かに拘わらず、マニピュレータのもう1つの特定の継手を駆動させるために、回避動作を計算し得る。加えて、使用者によって命令されるマニピュレータアームの移動動作を実施するときに駆動させられない継手のような、マニピュレータアームの1つ又はそれよりも多くの特定の継手を駆動させるためにも、回避動作を計算し得る。

【 0 0 5 1 】

図6Aの実施態様では、距離(d)が所望未満であるという決定にตอบสนองして、プロセッサは第2のマニピュレータ500'の計算される回避動作を決定し、基準幾何学的構成711及び711'の間の距離(d)を増大させる。図6Aに示されるように、マニピュレータアームは、各々、それぞれのアームを継手の軸について旋回させる近位の回転継手J1によって支持される。図6B-6Cに示されるように、一方又は両方のアームにおいて継手の組み合わせを用いる一方又は両方のマニピュレータアームの動作は、それぞれ、エンドエフェクタの状態及びその遠隔中心RCを変更させずに、アームの上方部分を移動させ得る。図6Bにおいて、最も近い位置は、ある距離(d1)だけ離れるようにシステムによって決定される。この決定にตอบสนองして(或いはここに記載する方法のいずれかに従って)、システムは一方又は両方のアームの1つ又はそれよりも多くの継手を駆動して、各アームの把持でエンドエフェクタの状態を変更せずに(図6Cにd2として示される)最も近い地点の間の距離を増大させる。よって、システムは、ヤコビアン内の零空間内で計算される動作に従って対のマニピュレータのうち一方の少なくとも第1の継手を駆動することによって、衝突を回避する。一部の実施態様において、少なくとも第1の近位継手を駆動することは回避動作をもたらすと同時に、マニピュレータの遠位部分(エンドエフェクタ)の再構成を最小限化するが、マニピュレータアームのより遠位部分の1つ又はそれよりも多くの継手を駆動するよう、類似の回避動作を計算し得る。他の特徴では、変位動作を実施するときにそのような継手が駆動されるか否かに拘わらず、ここに記載する継手のいずれかを移動させる回避動作を計算するように、或いはマニピュレータの状態又は特定の構成に基づき階層に従った継手の駆動を含めるように、システムを構成し得る。

【 0 0 5 2 】

特定の実施態様によれば、しばしばマニピュレータアーム間の「最も近い地点」を決定することを含む多数の異なる方法に従って回避動作を計算し得る。継手センサを介した既知のマニピュレータ位置又は状態に基づく計算を用いて最も近い地点を決定し得るし、或いは外部センサ、ビデオセンサ、ソナーセンサ、容量センサ、又はタッチセンサ、及び同種のもののような、他の適切な手段を用いて近似させ得る。実施態様は局所的なアーム間の接近及び/又は衝突を感知し得る被駆動リンク又はスレーブに取り付けられる近接センサも用い得る。

【 0 0 5 3 】

特定の実施態様において、プロセッサは各基準幾何学的構成のラインセグメント上の最も近い地点を決定する。仮想的な反発力を適用した後、プロセッサは、次に、第1及び第2のマニピュレータの間の反発力を計算する。1つの特徴では、隣接するマニピュレータアーム上の交差するラインセグメントが互いに反発するよう、各マニピュレータアームの基準幾何学的構成を「局所的ラインセグメント」と定め得る。他の特徴では、局所的ラインセグメントのみが仮想的な力によって反発させられるよう、一方のマニピュレータの基準幾何学的構成を「局所的ラインセグメント」として定め、他方を「障害ラインセグメント」として定め得る。この特徴は、マニピュレータアームの一方のみ又は一部のみのために回避動作を計算することによって、システムが衝突を回避することを可能にし、それによって、不要な動作又は過剰に複雑な回避動作を防止する。例えば、仮想的な力を各基準幾何学的構成のラインセグメントの間に適用し得るが、「局所的ラインセグメント」の動

10

20

30

40

50

作のみが計算される。他の実施態様において、プロセッサは、仮想的な力を適用することから得られる計算される力を、回避動作に従って移動させられるべきマニピュレータアームの継手速度に変換し、次に、それは零空間に投影される。これは、所望のエンドエフェクタを維持すると同時にアーム間の衝突を避けるために、回避動作がヤコビアンの零空間内のマニピュレータの継手及び/又はリンクを拡張する仮想的な力を用いて計算されることを可能にする。

#### 【0054】

例示的な実施態様において、プロセッサは、しばしばマニピュレータアームの作業空間内の計算を用いて、各マニピュレータアームから少なくとも一対の基準幾何学的構成ラインセグメント、典型的には、最も近い対のラインセグメントの間の距離を決定する。特定の最大除外距離(exclusion distance)よりも近いラインセグメント対のために、最も近い地点が特定される。次に、プロセッサは仮想的な反発ベクトルを適用し、その強さは距離に反比例し、次に、それは継手空間内に変換され、その対のラインセグメントの間の十分な隙間を維持するよう零空間内の移動を計算するために零空間上に投影される。プロセッサは上記プロセスを1つよりも多くのラインセグメント対に行い得る。そのような実施態様では、全てのラインセグメント対からの反発ベクトルの組み合わせ結果を最終的な一連の零空間係数( )に積分し、次に、計算される回避動作を実施するために、最終的な一連の零空間係数( )を継手コントローラによって用い得る。零空間内の移動を実施するための零空間係数の使用を以下に更に詳細に記載する。

#### 【0055】

他の例示的な実施態様では、マニピュレータアームの各対のために、プロセッサは、上述のように、各素子に対応する基準幾何学的構成を用いて潜在的に互いに接触し或いは衝突し得る一対の素子又は構成部品を先ず決定する。対応する基準幾何学的構成を用いることによって、次に、システムは、典型的には最大除外距離内の、各対の最も近い素子、多数の相互作用対、又は全ての素子対の効果の重み付け合計を決定する。回避動作を計算するために、プロセッサは、概ね、相互作用素子の各対上の最も近い地点を先ず決定し、素子を互いから離れる方向に「押す」ために用い得る回避ベクトルを計算する。素子を互いから反発させる方向における速度を命令された上述のような仮想的な力を生成することによって、或いは様々の他の方法によって、回避ベクトルを計算し得る。次に、プロセッサは、零空間係数を得るために、基準幾何学的構成の最も近い地点で素子を互いから離れる方向に反発させるのに必要とされる力を零空間ベクトル内でマッピングし、次に、零空間係数は、マニピュレータの零空間内の回避動作を計算するために用いられる。

#### 【0056】

1つのアプローチにおいて、プロセッサはマニピュレータアームの作業空間内の回避ベクトルを計算し、回避ベクトルを継手速度空間内に変換し、次に、回避動作を得るために、その結果を用いて、ベクトルを零空間上に投影する。最も近い地点の間の反発又は回避ベクトルを計算し、作業空間内で、回避ベクトルをマニピュレータアームの「最も近い」地点の運動にマッピングし、次に、最も近い地点を互いから離れる方向に移動させる所望の向き及び大きさをもたらす零空間係数( )を決定するように、プロセッサを構成し得る。隣接するマニピュレータアーム上の様々の地点又は機能の間で多数の相互作用地点が用いられるならば、各相互作用機能からの回避ベクトルに関連付けられる結果として得られる零空間係数を加法を通じて組み合わせ得る。

#### 【0057】

他のアプローチにおいて、プロセッサは、零空間基底ベクトルを用い、ベクトルを物理的空間内のマニピュレータの回避幾何学的構成の運動に変換し、次に、物理的空間内のこれら及び回避ベクトルを組み合わせる元々の零空間基底ベクトルのための係数にし得る。マニピュレータアーム(例えば、回避幾何学的構成)の最も近い地点の間の反発又は回避ベクトルを計算し、ちょうど記載したように、これらを回避ベクトルと組み合わせるよう、プロセッサを構成し得る。マニピュレータアーム上の多数の機能が用いられるならば、少なくとも平方又は他の方法論を用いて、結果として得られる継手速度ベクトル又は零

10

20

30

40

50

空間係数を組み合わせ得る。

【0058】

第1のアプローチにおいて、高い電位がマニピュレータアームの間のより短い距離を表し、より低い電位がマニピュレータアームの間のより長い距離を表すように、回避動作は継手空間内に電位場を生成することによって決定される。次に、電位場の負の勾配を好ましくは可能な限り最大の程度まで下に降下させるよう、零空間係数が選択される。第2のアプローチにおいて、システムは零空間基底ベクトルを決定し、零空間基底ベクトルを作業空間内の回避幾何学的構成の結果として得られる運動にマッピングし、次に、各基底ベクトルのための零空間係数を選択することは、マニピュレータアームの回避幾何学的構成の間の距離を増大させ、それにより、マニピュレータアーム上の最も近い地点の間の距離を増大させる。

10

【0059】

上述のように、如何なる数の異なる種類の継手をも含めるように、或いは代替的に、マニピュレータアームの特定の継手を駆動するのを避けるために、回避動作を計算し得る。本発明に従って異なる角度において用い得る追加的な継手を図7-10に示し、以下に更に記載する。

【0060】

図7に示するマニピュレータアームでは、継手J1, J2, J3, J4, J5の様々の組み合わせを駆動することを含むよう回避動作を計算し得る(描写の実施態様において、継手J3, J4, J5は平行四辺形の配置において構成され、従って、一体的に移動し、それらの間に単一の状態を有する)、或いは代替的に継手J6並びに零空間内に所要のマニピュレータアームをもたらす任意の他の継手を駆動するように回避動作を計算し得る。器具ホルダ510をマニピュレータアーム508の遠位リンクに結合する継手として図7に例示するマニピュレータアームの継手J6を任意的に用い得る。継手J6は器具ホルダ510が継手J6の軸について捩れ或いは回転するのを可能にし、軸は典型的には遠隔中心又は挿入地点を通過する。理想的には、継手軸はアーム上に遠位に配置され、従って、挿入軸の向きを移動させるのに特に最適である。この余分の自由度の追加は、マニピュレータが任意の単一の器具先端位置のために複数の位置を取ることを可能にし、それにより、器具先端が外科医の命令に従うと同時に、隣接するマニピュレータアーム又は他の障害物との衝突を回避するのを可能にする。取り付けられる手術器具のエンドエフェクタを第1の軸(例えば、縦揺れ軸)の周りで関節動作させ、エンドエフェクタを第1の軸に対して垂直な第2の軸(例えば、偏揺れ軸)の周りで関節動作させるように、マニピュレータアームを構成し得る。継手J6の継手軸、J1の偏揺れ軸、及びカニューレ511の挿入軸の関係は、図8に示されている。

20

30

【0061】

図7も、回転継手の継手軸についてマニピュレータアームを回転させる近位の回転継手J1を有するマニピュレータを例示している。継手J1は、次の連続的な継手を所定の距離又は角度だけ偏らせるリンク501を含む。典型的には、継手J1の継手軸は、図7の各々において示されるように、工具先端の挿入地点又は遠隔中心RCと整列させられる。例示的な実施態様では、体壁での運動を防止し、従って、手術中に移動させられ得るよう、継手J1の継手軸は、マニピュレータアームにおける各々の他の回転継手軸と同様に、遠隔中心を通過する。継手軸はアームの近位部分に結合させられるので、アームの背の位置及び向きを変更するために継手軸を用い得る。一般的に、このような余分な軸は、器具先端が外科医の命令に従うと同時に、他のアーム又は患者の解剖学的構造と衝突することを回避することを可能にする。

40

【0062】

図9-10は、例示的なマニピュレータアームと共に使用するための他の種類の余分な継手、ある軸についてマニピュレータアームを回転させる近位継手を例示している。一部の実施態様において、マニピュレータアームを支持する第1の継手J1は、マニピュレータアームの運動の範囲を増大させるよう曲線経路に沿って並進し、マニピュレータアーム

50



が減少した操作性を有し得る地域から離れて並進する。この地点は、図9に示すような円形の経路を含み得、或いは図10に示すような半円又は弓形の経路を含み得る。一般的に、そのような実施態様において、継手軸は遠隔中心RCと交差し、工具先端のシャフトは遠隔中心RCについて回転する。図9に示す実施態様において、継手軸は垂直軸であるのに対し、図10に示す実施態様において、継手軸は水平である。

#### 【0063】

例示的な実施態様において、マニピュレータの継手動作は、システムのモータを用いてコントローラによって1つ又はそれよりも多くの継手を駆動することによって制御され、継手はコントローラのプロセッサによって計算された協調的な関節動作に従って駆動される。数学的に、コントローラはベクトル及び/又はマトリクスを用いて継手命令の少なくとも一部を遂行し得、それらの一部は継手の構成または速度に対応する素子を有し得る。プロセッサに利用可能な代替的な継手構造の範囲を継手空間として概念化し得る。継手空間は、例えば、マニピュレータが自由度を有するのと同じ次元を有し得、マニピュレータの特定の構成が継手空間内に特定の地点を表し得、各座標はマニピュレータの関連する継手の継手状態に対応する。

10

#### 【0064】

特定の実施態様において、システムはコントローラを含み、コントローラにおいて、デカルト座標空間(以下「デカルト空間」という)内の命令される位置及び速度は入力である。一般的にはあるが、所望のデカルト空間位置を均等な継手空間位置にマッピングする閉形式の関係はなく、デカルト空間速度に対して継手空間速度をマッピングするために運動学的ヤコビアンを用い得るよう、デカルト空間速度と継手空間速度との間の閉形式の関係が概ねある。よって、入力位置と出力位置との間に閉形式のマッピングがないときでさえ、例えば、ヤコビアンに基づくコントローラにおいて、命令される使用者入力からマニピュレータの動作を実施するために、継手の速度のマッピングを反復的に用い得るが、様々のインプレメンテーション(implementations)を用い得る。

20

#### 【0065】

例示的な実施態様において、システムはコントローラを含み、コントローラにおいて、ここではデカルト空間として示される作業空間内の機能の命令される位置及び速度は入力である。その機能は、マニピュレータ上の如何なる機能であってよく、或いは制御入力を用いて関節作動させられるべき制御フレームとして使用し得るマニピュレータから離れた機能であってもよい。ここに記載される一部の実施態様において用いられるマニピュレータ上の機能の実施例は、工具先端である。マニピュレータ上の機能の他の実施例は、工具先端上の物理的な機能でなく、ピン又は彩色模様のようなマニピュレータの一部である。マニピュレータから離れた機能の実施例は、工具先端から正に特定の距離及び角度だけ離れた空間内の基準地点である。マニピュレータから離れた機能の他の実施例は、マニピュレータに対するその位置を構築し得る標的組織である。全てのこれらの場合において、エンドエフェクタは、制御入力を用いて関節作動させられるべき仮想の制御フレームと関連付けられる。しかしながら、以下において、「エンドエフェクタ」及び「工具先端」は同義的に用いられる。一般的にはあるが、所望のデカルト空間エンドエフェクタ位置を均等な継手空間位置にマッピングする閉形式の関係はなく、デカルト空間エンドエフェクタと継手空間速度との間に概ね閉形式の関係がある。運動学的ヤコビアンは、継手空間位置素子に対するエンドエフェクタのデカルト空間位置素子の偏微分の行列である。このようにして、運動学的ヤコビアンはエンドエフェクタと継手との間の運動学的関係を捕捉する。換言すれば、運動学的ヤコビアンはエンドエフェクタ上で継手運動の効果を捕捉する。以下の関係を用いてデカルト空間エンドエフェクタ速度( $dx/dt$ )に対して継手空間速度( $dq/dt$ )をマッピングするために運動学的ヤコビアン( $J$ )を用い得る。

30

40

【数 1】

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

【0066】

よって、入力位置と出力位置との間に閉形式のマッピングがないときでさえも、例えば、ヤコビアンに基づくコントローラにおいて、命令される使用者入力からマニピュレータの動作を実施するために、速度のマッピングを反復的に用い得るが、様々のインプレメンテーションも用い得る。一部の実施態様はヤコビアンに基づくコントローラを含むが、一部のインプレメンテーションは、ここに記載する機能のいずれかをもたらすためにヤコビアンにアクセスするように構成し得る様々の種類のコントローラを用い得る。

10

【0067】

1つのそのようなインプレメンテーションを以下に簡略化された用語において記載する。ヤコビアン (J) を計算するために、命令される継手位置を用いる。各時間ステップ (t) の間に、所望の動作 (dx<sub>des</sub>/dt) を行い且つ所望のデカルト空間位置からの蓄積された微分 (x) を矯正するために、デカルト空間速度 (dx/dt) を計算する。次に、ヤコビアンの疑似逆 (J<sup>#</sup>) を用いてこのデカルト空間速度を継手空間速度 (dq/dt) に変換する。次に、継手空間命令された位置 (q) をもたらすよう、結果として得られる継手空間命令された速度を積分する。これらの関係を以下に列挙する。

20

【数 2】

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

$$dq/dt = J^{\#} dx/dt \quad (2)$$

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

【0068】

ヤコビアン (J) の疑似逆は、所望の工具先端動作 (そして、一部の場合には、旋回的な工具運動の遠隔中心) を継手速度空間内に直接的にマッピングする。使用されるマニピュレータが (最大 6 までの) 工具先端自由度よりも有用な継手軸を有するならば、(そして、工具運動の遠隔中心が使用中であり、マニピュレータが遠隔中心の場所と関連付けられる 3 つの自由度のために追加的な 3 つの継手軸を有さなければならないとき)、マニピュレータは余分であると言われる。余分なマニピュレータのヤコビアンは、少なくとも 1 つの次元を有する「零空間」を含む。この脈絡において、ヤコビアンの「零空間」(N(J)) は、工具先端運動を瞬間的に達成しない継手速度の空間であり (そして、遠隔中心が用いられるとき、旋回地点場所の移動はない。「零運動」は、遠隔中心の場所及び / 又は工具先端の瞬間的を同様にもたらさない継手位置の組み合わせ、軌跡、又は経路である。(ここに記載する如何なる再構成をも含む) マニピュレータの所望の再構成を達成するために、計算される零空間速度をマニピュレータの制御システム内に組み込む或いは注入することは、上記等式 (2) を以下の通り変更する。

30

40

【数 3】

$$dq/dt = dq_{perp}/dt + dq_{null}/dt \quad (4)$$

$$dq_{perp}/dt = J^{\#} dx/dt \quad (5)$$

$$dq_{null}/dt = (I - J^{\#} J) z = V_n V_n^T z = V_n \square \quad (6)$$

【0069】

50

等式(4)に従った継手速度は2つの成分を有し、第1の成分は、零垂直空間成分(null-perpendicular-space component)、即ち、所望の工具先端運動をもたらす、(そして、遠隔中心が用いられるときに、所望の遠隔中心運動をもたらす)、「最も純粋な」継手速度(最短のベクトル長)であり、第2の成分は、零空間成分(null-space component)である。等式(2)及び(5)は、零空間成分がないならば、同じ等式が達成されることを示している。等式(6)は、左側の及び一番右側の零空間成分のための従来の形態で開始し、例示的なシステムにおいて用いられる形態を示し、 $(V_n)$ は、零空間のための一組の正規直交基底ベクトルであり、 $(\quad)$ はそれらの基底ベクトルを混合させるための係数である。一部の実施態様では、零空間内の運動を所望に成形し或いは制御するために、 $\quad$ は、例えば、ノブ又は他の制御手段の使用によって、制御パラメータ、変数、又は設定によって決定される。

10

## 【0070】

図11Aは、例示的なマニピュレータアーム内のヤコビアンの零空間とヤコビアンの零垂直空間との間の関係を図式的に例示している。図11Aは、水平軸に沿う零空間及び垂直軸に沿う零垂直空間を示す二次元の概略図であり、2つの軸は互いに直交している。対角線のベクトルは、零空間における速度ベクトル及び零垂直空間における速度ベクトルの合計を表しており、それは上記等式(4)の表現である。

## 【0071】

図11Bは、「零運動マニホールド」として示される、四次元継手空間内の零空間と零運動マニホールドとの間の関係を図式的に例示している。各矢印 $(q_1, q_2, q_3, q_4)$ は、主継手軸を表している。閉塞円弧は、同じエンドエフェクタ状態(例えば、位置)を瞬間的に達成する一組の継手空間位置である零運動マニホールドを表している。円弧上の所与の地点Aのために、零空間はエンドエフェクタの動作を瞬間的にもたらさない継手速度の空間であるので、零空間は地点Aで零運動マニホールドの接線に対して平行である。例示的な実施態様において、回避動作を計算することは、第1及び第2の基準幾何学的構成を用いて決定されるような相互作用素子対間の距離を増大させ、それにより、マニピュレータアーム間の距離を増大させる、零空間係数 $(\quad)$ を生成することを含む。

20

## 【0072】

図12-13は、本発明の実施態様に従ってアーム間の衝突を回避するロボット手術システムのマニピュレータ組立体を再構成する方法を例示している。図12は、上記で議論した等式に関連して、患者側カート継手状態を制御する一般的アルゴリズムを実施するのに必要とされる所要ブロックの簡略図を示している。図12の方法によれば、システムは、マニピュレータアームの前方運動学を計算し、次に、等式(1)を用いて $dx/dt$ を計算し、等式(5)を用いて $dq_{pre}/dt$ を計算し、次に、等式(6)を用いて $dq_{null}/dt$ を計算する。計算した $dq_{pre}/dt$ 及び $dq_{null}/dt$ から、システムは、次に、等式(4)及び(3)を用いて $dq/dt$ 及び $q$ をそれぞれ計算し、それにより、コントローラがマニピュレータの回避動作に影響を及ぼしながらエンドエフェクタの所望の命令状態(及び/又は遠隔中心の場所)を維持する動作をもたらす。

30

## 【0073】

図13は、システムの例示的な実施態様のブロック図を示している。所望の先端状態をもたらすために使用者によって入力される操作命令に応じて、システムは、継手状態センサを用いて決定されるような現在の継手位置を用いて、適切なヤコビアン、故に、 $dq_{pre}/dt$ を計算し、所望の先端状態をもたらす。各マニピュレータアームの基準幾何学的構成の間の距離 $(d)$ を決定するためにも、現在の継手位置を用い得る。隣接するアームの相互作用素子上の基準対の基準幾何学的構成の間の距離 $(d)$ が臨界的な距離 $(d_{min})$ 未満であるという決定に応じて、システムは、 $(d)$ を増大させる継手速度 $dq_{null}/dt$ を決定し、次に、それを $dq_{pre}/dt$ と組み合わせて $dq/dt$ を得て、それによって、継手はアーム間の衝突を回避すると同時に所望の先端状態をもたらすように駆動させられる。

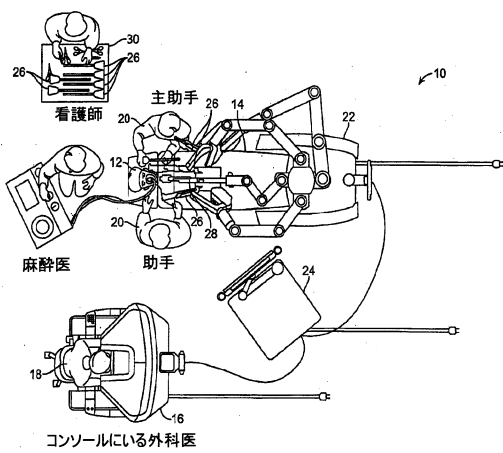
40

## 【0074】

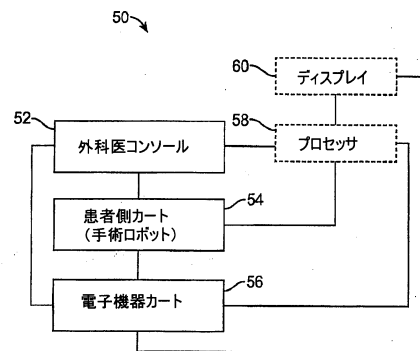
50

理解の明確性のために一例として例示的な実施態様を詳細に記載したが、様々の適合、変形、及び変更が当業者に明らかであろう。故に、本発明の範囲は専ら付属の請求項によって限定される。

【図 1 A】



【図 1 B】



【 図 2 】

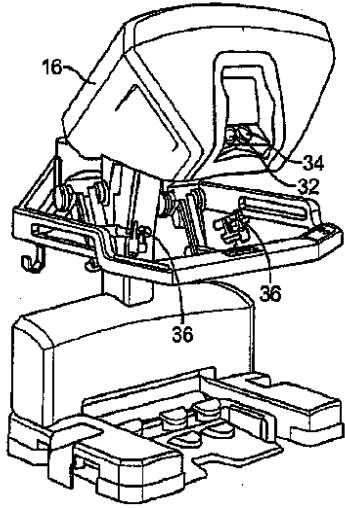


FIG. 2

【 図 3 】

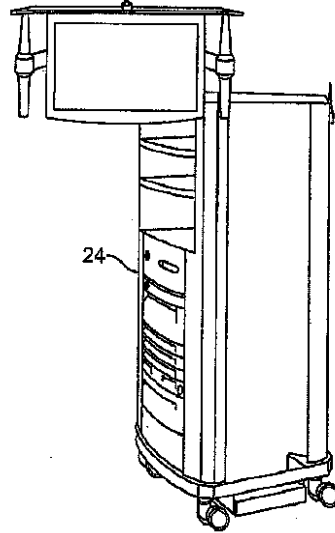


FIG. 3

【 図 4 】

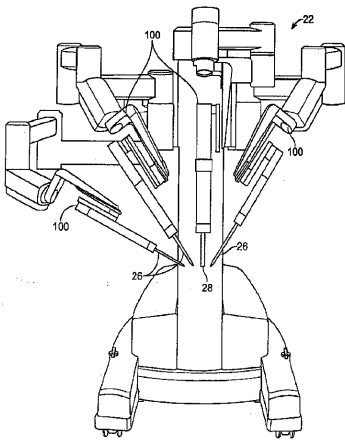


FIG. 4

【 図 5 B 】

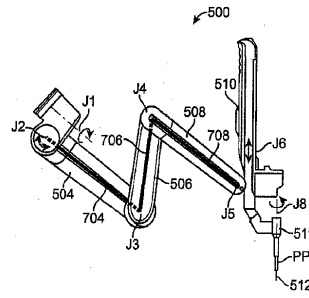


FIG. 5B

【 図 5 A 】

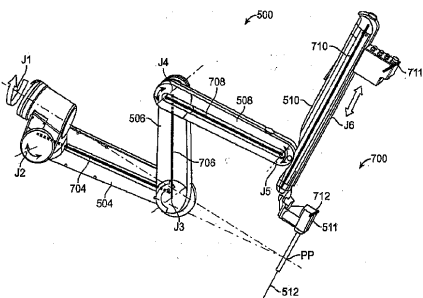


FIG. 5A

【 図 5 C 】

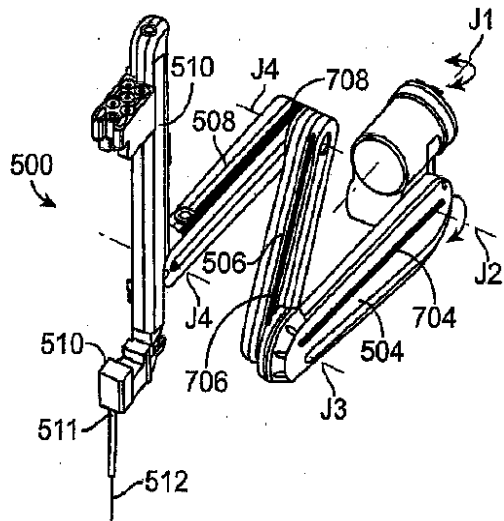


FIG. 5C

【 図 5 D 】

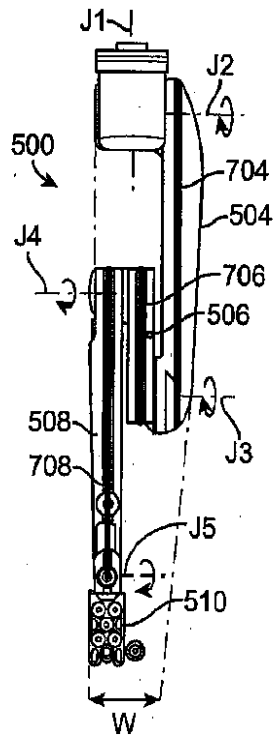


FIG. 5D

【 図 5 E 】

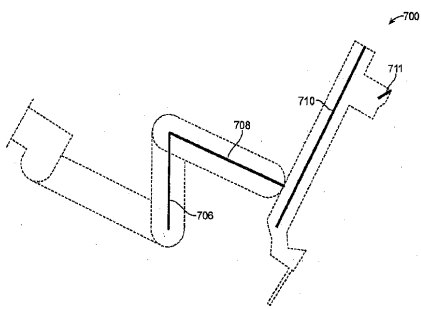


FIG. 5E

【 図 6 B 】

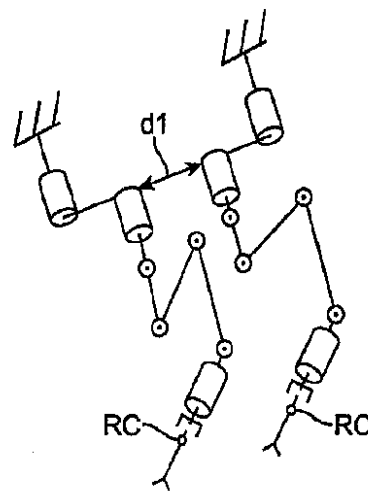


FIG. 6B

【 図 6 A 】

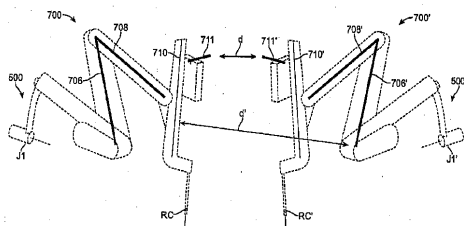


FIG. 6A

【 図 6 C 】

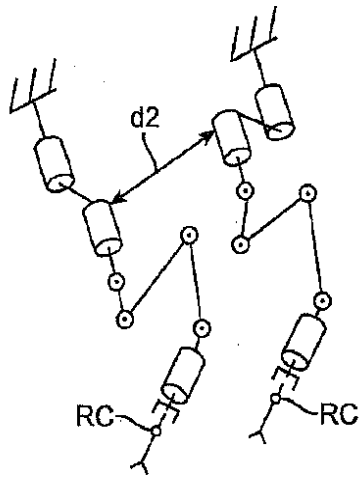


FIG. 6C

【 図 7 】

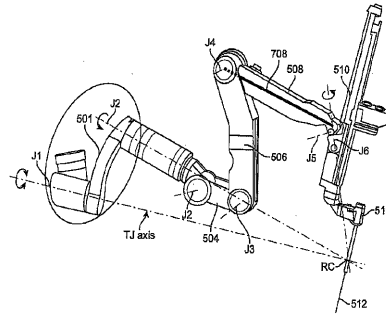


FIG. 7

【 図 8 】

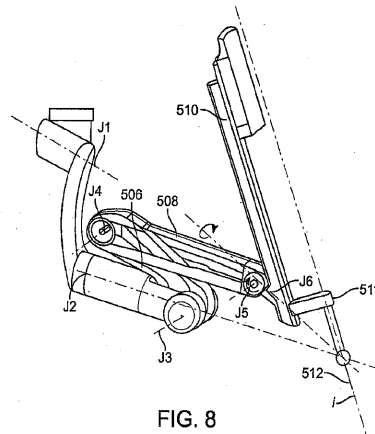


FIG. 8

【 図 9 】

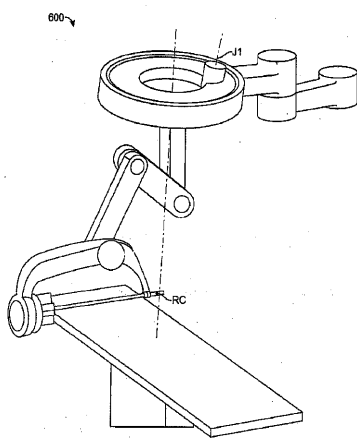


FIG. 9

【 図 10 】

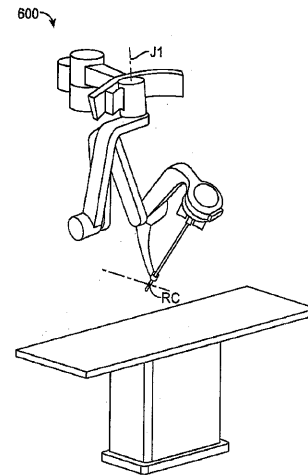
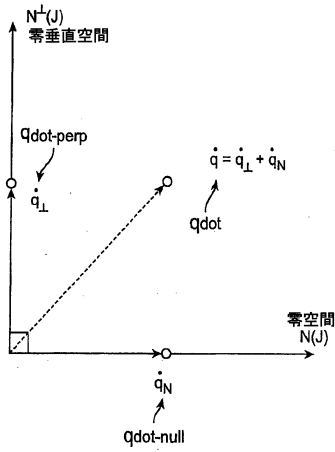
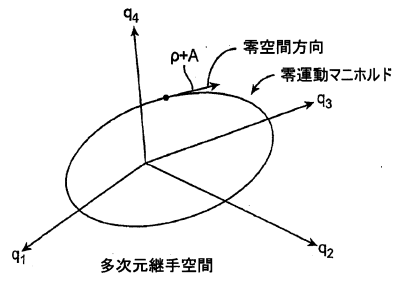


FIG. 10

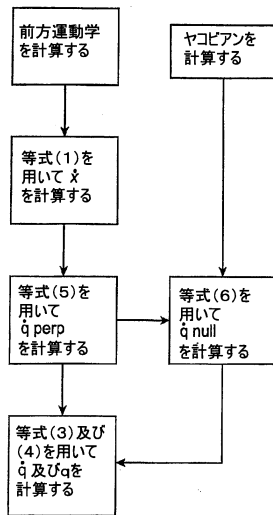
【図11A】



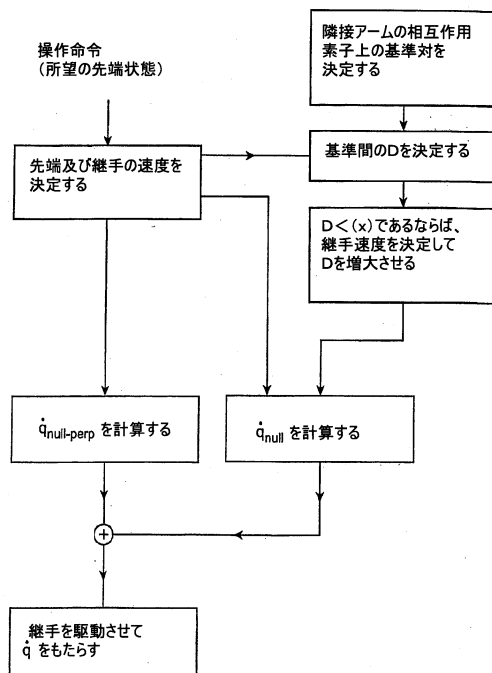
【図11B】



【図12】



【図13】





## フロントページの続き

- (72)発明者 アワータッシュ, アージャン, エム  
アメリカ合衆国 95051 カリフォルニア州, サンタクララ, スティーヴンス・クリーク・ブ  
ールヴァード 5222, #102
- (72)発明者 ヒンウィ, プッシュカー  
アメリカ合衆国 94539 カリフォルニア州, フリモント, スパロー・ドライブ 44219
- (72)発明者 シェナ, ブルース, マイケル  
アメリカ合衆国 94025 カリフォルニア州, メンロパーク, ポープ・ストリート 414
- (72)発明者 デヴェンジェンゾ, ローマン, エル  
アメリカ合衆国 95124 カリフォルニア州, サンノゼ, ラレイ・ドライブ 2458

審査官 沼田 規好

- (56)参考文献 特開2011-206312(JP, A)  
特表2009-525097(JP, A)  
特開2004-094399(JP, A)  
米国特許出願公開第2011/0276059(US, A1)  
特開2012-011498(JP, A)  
特表2008-514357(JP, A)  
特表2009-521751(JP, A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 34/30  
B25J 9/10