

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7145599号
(P7145599)

(45)発行日 令和4年10月3日(2022.10.3)

(24)登録日 令和4年9月22日(2022.9.22)

(51)国際特許分類	F I
A 6 1 B 34/20 (2016.01)	A 6 1 B 34/20
A 6 1 B 6/03 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 7 7
A 6 1 B 34/10 (2016.01)	A 6 1 B 34/10
A 6 1 B 34/30 (2016.01)	A 6 1 B 34/30

請求項の数 18 外国語出願 (全26頁)

(21)出願番号	特願2017-195801(P2017-195801)	(73)特許権者	507400686 グローバス メディカル インコーポレイ ティッド アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 オー デュボン ジェネラル アーミステッド アベニュー 2 5 6 0
(22)出願日	平成29年10月6日(2017.10.6)	(74)代理人	110000338 特許業務法人HARAKENZO WO RLD PATENT & TRADEM ARK
(65)公開番号	特開2018-79304(P2018-79304A)	(72)発明者	ノーバート ジョンソン アメリカ合衆国, 0 1 8 4 5 マサチュ ーセッツ州, ノース アンドーヴァー, ストーンウェッジ サークル 3 2
(43)公開日	平成30年5月24日(2018.5.24)	(72)発明者	ニール クロフォード
審査請求日	令和2年8月5日(2020.8.5)		最終頁に続く
(31)優先権主張番号	15/289,537		
(32)優先日	平成28年10月10日(2016.10.10)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 2 D - 3 D位置合わせの収束を改善するための方法及びシステム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロボットアーム及びロボット基部を有するロボットであって、前記ロボット基部は、三次元(3D)医用画像及びX線システムからの二次元(2D)医用画像を受信するように構成された画像位置合わせ機能を備える、ロボットと、

解剖学的座標系において、1つ以上の追跡マーカを検出するように構成された少なくとも1つのカメラと、を備える、外科用ロボットシステムであって、

前記画像位置合わせ機能は、前記3D医用画像からシミュレートされた2Dデジタル医用画像を生成し、エラー許容値に達するまで前記シミュレートされた2Dデジタル医用画像の位置のピクセル強度と2D医用画像の位置のピクセル強度とを比較する反復工程を用いることによって前記シミュレートされた2Dデジタル医用画像を前記2D医用画像と一致させるように構成され、

前記画像位置合わせ機能は、最初に、前記3D医用画像上に仮想的に配置した第1のデジタル医用物体を前記2D医用画像上に仮想的に配置した第2のデジタル医用物体に対応させることによって、前記シミュレートされた2Dデジタル医用画像を前記2D医用画像に関連付け、前記3D医用画像及び前記2D医用画像上に関心領域を決定し、

前記反復工程は、比較のために決定された前記関心領域内に収束し、前記第1のデジタル医用物体及び前記第2のデジタル医用物体において動作するように構成され、

前記画像位置合わせ機能は、

(i) 3D解剖学的特徴及び第1の座標系を含む、3D医用画像を記憶することと、

(i i) 2 D 解剖学的特徴及び第 2 の座標系を含む、2 D 医用画像を記憶することと、
 (i i i) 前記 3 D 医用画像及び前記 2 D 医用画像上のデジタル医用物体の配置を記憶することと、

(i v) 前記 3 D 医用画像から、前記 3 D 解剖学的特徴に対応しているシミュレートされた 2 D 解剖学的特徴を含む、シミュレートされた 2 D デジタル医用画像を生成することと、

(v) 一致に到達するまで、前記 2 D 解剖学的特徴を前記シミュレートされた 2 D 解剖学的特徴と比較することと、

(v i) 前記一致に基づいて、前記第 1 の座標系を前記第 2 の座標系と位置合わせすることと、によって位置合わせするように更に構成され、

前記解剖学的座標系における前記ロボットアームの位置及び患者の位置が、前記 1 つ以上の追跡マーカを用いて、前記第 1 の座標系を描写する表示器上に表現されてもよい、外科用ロボットシステム。

【請求項 2】

前記 3 D 医用画像は、コンピュータ断層撮影 (C T) システム及び磁気共鳴画像 (M R I) システムのうちの少なくとも 1 つによって生成される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記解剖学的座標系は、前記患者の位置を追跡する画像追跡システムによって少なくとも一部決定される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記 3 D 医用画像は、断層撮影 (C T) システム及び磁気共鳴画像 (M R I) システムのうちの 1 つから術前に得られ、前記 2 D 医用画像は、X 線システムから術中に得られる、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記デジタル医用物体は、外科用医用インプラントデバイスである、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記デジタル医用物体は、デジタル的にシミュレートされた生体活性インプラントデバイス、電子式医用インプラントデバイス、及び人工医用移植材料のうちの少なくとも 1 つである、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記デジタル医用物体の前記配置は、陰影として現れる、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記 3 D 医用画像及び前記生成された 2 D デジタル医用画像に配置された前記対応するデジタル医用物体の前記配置には、配置許容差が提供される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 9】

前記一致は、一致許容差内で決定される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

外科用ロボットシステムによってデジタル医用画像座標系を位置合わせするための方法であって、

3 D 解剖学的特徴及び第 1 の座標系を含む、3 D 医用画像を記憶するステップと、

2 D 解剖学的特徴及び第 2 の座標系を含む、X 線システムからの 2 D 医用画像を記憶するステップと、

前記 3 D 医用画像及び前記 2 D 医用画像上のデジタル医用物体の仮想的な配置を記憶するステップと、

仮想的に配置された前記デジタル医用物体に基づいて、前記 3 D 医用画像及び前記 2 D 医用画像上における関心領域を決定するステップと、

前記 3 D 医用画像から、前記 3 D 解剖学的特徴に対応しているシミュレートされた 2 D 解剖学的特徴を含む、シミュレートされた 2 D デジタル医用画像を生成するステップと、

一致に到達するまで、決定された前記関心領域において前記 2 D 解剖学的特徴を前記シ

10

20

30

40

50

ミュレートされた2D解剖学的特徴と比較するステップと、

前記一致に基づいて、前記第1の座標系と前記第2の座標系との位置合わせを決定するステップと、を含む、方法。

【請求項11】

前記3D医用画像は、コンピュータ断層撮影(CT)システム及び磁気共鳴画像(MRI)システムのうちの少なくとも1つによって生成される、請求項10に記載の方法。

【請求項12】

前記第2の座標系は、医療手技中、患者の解剖学的座標系を参照する、請求項10に記載の方法。

【請求項13】

前記解剖学的座標系は、前記患者の位置を追跡する画像追跡システム及びX線システムによって少なくとも一部決定される、請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記3D医用画像は、断層撮影(CT)システム及び磁気共鳴画像(MRI)システムのうちの1つから術前に得られ、前記2D医用画像は、術中に得られる、請求項10に記載の方法。

【請求項15】

前記デジタル医用物体は、デジタル式にシミュレートされた外科用医用インプラントデバイスである、請求項10に記載の方法。

【請求項16】

前記デジタル医用物体は、デジタル式にシミュレートされた生体活性インプラントデバイス、電子式医用インプラントデバイス、及び人工医用移植材料のうちの少なくとも1つである、請求項10に記載の方法。

【請求項17】

前記デジタル医用物体の前記配置は、医用画像上の実際の物体の複製として現れる、請求項10に記載の方法。

【請求項18】

前記3D医用画像及び前記生成された2Dデジタル医用画像に配置された前記対応するデジタル医用物体の前記配置には、配置許容差が提供される、請求項10に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2016年5月18日に出願された米国特許出願第15/157,444号の一部継続であり、その米国特許出願は、2016年4月11日に出願された米国特許出願第15/095,883号の一部継続であり、その米国特許出願は、2013年10月24日に出願された米国特許出願第14/062,707号の一部継続であり、その米国特許出願は、2013年6月21日に出願された米国特許出願第13/924,505号の一部継続出願であり、その米国特許出願は、2012年6月21日に出願された仮出願第61/662,702号に対する優先権を主張し、及び2013年3月15日に出願された仮出願第61/800,527号に対する優先権を主張し、それらの全ては、全ての目的のためにその全体として参照することにより本明細書に組み込まれる。

[技術分野]

【0002】

本開示は、位置認識システム、特に、ロボット支援手術のための複数画像の位置合わせに関する。

[背景技術]

【0003】

画像誘導分野においては、位置合わせは2つ以上の座標系間の変換を定量化することである。位置合わせ成功後、光学的に追跡された空間など、1つの座標系のツールまたは他の物体の位置が、医用画像空間など、別の座標系に正確に表示され得る。画像誘導または

10

20

30

40

50

ロボット支援画像誘導をコンピュータ断層画像（ＣＴ）スキャンまたは磁気共鳴画像（ＭＲＩ）スキャンなどの術前３Ｄ画像データセットを用いて実施する場合、術前に得られた解剖学的ＣＴまたはＭＲＩ座標系、術中に得られた解剖学的座標系、追跡カメラの座標系の間など、複数の座標系間で共に位置合わせすること（*co-registration*）が必要とされる場合もある。

【０００４】

複数の座標系を共に位置合わせする１つの方法では、追跡カメラを用いて追跡されるＸ線装置及び患者の位置と共に、手術時に、患者の一对の２ＤのＸ線写真を取る場合など、２Ｄ－３Ｄ位置合わせを使用する。次に、Ｘ線撮影する座標系を、２Ｄ－３Ｄ位置合わせ法により術前に得られた３Ｄ医用画像座標系に位置合わせしてもよい。この方法においては、３ＤＣＴまたはＭＲＩデータセットを使用して、Ｘ線写真をシミュレートする２Ｄ再構成平面画像を生成してもよい。２Ｄ再構成シミュレートＸ線画像を３Ｄデータセットから生成する１つの方法では、２Ｄ平面上での立体医用画像（例えば、デジタル再構成シミュレーション画像（ＤＲＲ））から投射される点放射源からＸ線に沿って強度を追跡し、統合する。ＤＲＲは、実際の２ＤＸ線画像に一致するまで、つまり、ＤＲＲと実際の放射線写真の骨の特徴または強度特性が、ある程度の許容差内で重なり合うまで反復して生成される。例えば、反復方法は、Powell法などの方法を含んでもよい。これは、推定から始まり、その後、誤差が許容差内になるまで、系統的にパラメータを調節することによって、費用関数を最小限に抑える。一例として、費用関数は、ＤＲＲ及び実際のＸ線写真の画像内での場所で、ピクセル強度を減算することによって、構成され得、一对の両Ｘ線図において、ピクセル強度がＸ線とＤＲＲとの間で最も接近して合致したときに、最小限に抑えられる。反復工程間で調節可能な費用関数のパラメータとしては、３Ｄ立体データの位置及び配向、Ｘ線源、３Ｄボリュームに対するＸ線経路の角度などを挙げることができ、これらは、一对の撮影を行ったとき、既知の（追跡された）Ｘ線装置の実際の相対位置の幾何学的制約内で独立して、かつ／または同時に変化することもある。一旦一致が見出されると、Ｘ線撮影が行われるときにＸ線装置があるべきＣＴまたはＭＲＩ座標系での位置は、計算で使用されるパラメータからわかる。また、追跡座標系における実際のＸ線装置の位置も追跡カメラからわかる。このため、ＣＴ（またはＭＲＩ）、Ｘ線及びカメラの座標系間での変換が決定される。

【０００５】

しかし、上述の反復方法は、確実な一致を見出すまでに、数多くの反復を必要とする場合もあることから問題となることもある。これにより、長時間の遅延もあり、また更に悪いことに、複数の反復が１つの解に収束できないこともある。このため、２Ｄ－３Ｄ位置合わせの収束を改善するためにシステム及び方法が必要とされている。

〔発明の概要〕

【０００６】

本開示は、コンピュータ構成を開始することにより、反復を開始する前に、シミュレートされた及び実際のＸ線がかなり良好に合致するように、２Ｄ－３Ｄ位置合わせの収束を改善する方法及びシステムを提供する。改善することにより、反復の減少、処理時間の短縮、収束不良の減少などが得られる可能性がある。

【０００７】

一実施形態においては、デジタル医用画像を位置合わせするためのシステム及び方法が提供される。この方法は、３Ｄ解剖学的特徴及び第１の座標系を有する３Ｄデジタル医用画像を記憶するステップと、２Ｄ解剖学的特徴及び第２の座標系を有する２Ｄデジタル医用画像を記憶するステップとを含む。この方法は、３Ｄデジタル医用画像及び２Ｄデジタル医用画像上のデジタル医用物体の配置を記憶するステップ、及び３Ｄデジタル医用画像からシミュレートされた２Ｄデジタル医用画像であって、３Ｄ解剖学的特徴に対応しているシミュレートされた２Ｄ解剖学的特徴を含む、シミュレートされた２Ｄデジタル医用画像を生成するステップを更に含む。２Ｄ解剖学的特徴は、一致に到達し、その一致に基づいて第１の座標系と第２の座標系との位置合わせが決定されるまで、シミュレートされた

2 D解剖学的特徴と比較する。

【0008】

本発明のこれらの及び他のシステム、方法、物体、特徴、及び利点は、以下の好ましい実施形態の詳細な説明及び図より、当業者にとって明らかであろう。本明細書に記載の全ての文書は、参照することにより、その全体が本明細書に組み込まれる。

【0009】

本発明及びその特定の実施形態の以下の詳細な説明は、以下の図を参照することによって理解されてもよい。

[図面の簡単な説明]

【0010】

[図1]外科手技の間のロボットシステム、患者、外科医、及び他の医療要員の場所についての潜在的配設の頭上図である。

[図2]一実施形態に係る患者に対する外科用ロボット及びカメラの位置付けを含むロボットシステムを例解する。

[図3]例示的な実施形態に従う外科用ロボットシステムを例解する。

[図4]例示的な実施形態に従う外科用ロボットの一部を例解する。

[図5]例示的な実施形態に従う外科用ロボットのブロック図を例解する。

[図6]例示的な実施形態に従う外科用ロボットを例解する。

[図7A~7C]例示的な実施形態に従うエンドエフェクタを例解する。

[図8]一実施形態に係るエンドエフェクタの誘導管への外科用器具の挿入前及び後の、外科用器具及びエンドエフェクタを例解する。

[図9A~9C]例示的な実施形態に従うエンドエフェクタ及びロボットアームの一部分を例解する。

[図10]例示的な実施形態に従う動的参照アレイ、画像化アレイ、及び他の構成要素を例解する。

[図11]例示的な実施形態に従う位置合わせ方法を例解する。

[図12A~12B]例示的な実施形態に係る画像化デバイスの実施形態を例解する。

[図13]コンピュータ断層撮影ボリュームの複数のスライスにおける1つの腰椎上の椎弓根スクリーアの軌道を計画する工程を例解する。

[図14]X線上の複数の図による単一の腰椎上の椎弓根スクリーアの軌道を計画する工程を例解する。

[図15]本開示と一致する例示的方法を例解する。

【0011】

本発明は、特定の好ましい実施形態と関連して記述され、他の実施形態は、当業者によって理解され、本明細書に包含される。

[発明を実施するための形態]

【0012】

本開示は、本明細書における説明に記載されるまたは図面において例解される構成要素の構築及び配設の詳細にその用途において限定されないことが理解されるものとする。本開示の教示は、他の実施形態において使用及び実践されてもよいし、種々の方法において実践または実行されてもよい。また、本明細書において使用される専門表現及び専門用語が、説明目的のためであり、制限として見なされるべきではないことが理解されるものとする。本明細書における「含む(including)」、「備える(comprising)」、または「有する(having)」、及びこれらの変化形の使用は、その後列記される項目、及びそれらの同等物、ならびに追加の項目を包含することが意味される。別途指定または制限されない限り、「装着された(mounted)」、「接続された(connected)」、「支持された(supported)」、及び「連結された(coupled)」という用語、ならびにこれらの変化形は、広義に使用され、直接的及び間接的双方の装着、接続、支持、及び連結を包含する。更に、「接続された(connected)」及び「連結された(coupled)」は、物理的もしくは機械的接続

10

20

30

40

50

または連結に制限されない。

【 0 0 1 3 】

以下の考察は、当業者が本開示の実施形態を作製及び使用することを可能にするために提示される。例解される実施形態への種々の修正は、当業者には容易に明らかであり、本明細書における原理は、本開示の実施形態から逸脱することなく、他の実施形態及び用途に適用され得る。このため、実施形態は、示される実施形態に制限されることを意図しないが、本明細書において開示される原理及び特性と一致する最も広い範囲が与えられるものとする。以下の発明を実施するための形態は、異なる図面における同様の要素が同様の参照番号を有する図面を参照して読まれるものとする。図面は、必ずしも縮尺通りではなく、選択された実施形態を描写し、実施形態の範囲を制限することを意図しない。当業者は、本明細書において提供される実施例が、多くの有用な代替物を有し、実施形態の範囲内にあることを認識するであろう。

10

【 0 0 1 4 】

ここで図 1 及び図 2 を参照し、例示的な実施形態による外科用ロボットシステム 1 0 0 を例解する。外科用ロボットシステム 1 0 0 は、例えば、外科用ロボット 1 0 2、1 つ以上のロボットアーム 1 0 4、基部 1 0 6、表示器 1 1 0、例えば、誘導管 1 1 4 を含む、エンドエフェクタ 1 1 2、及び 1 つ以上の追跡マーカ 1 1 8 を含んでもよい。外科用ロボットシステム 1 0 0 は、患者追跡デバイス 1 1 6 を含んでもよく、また、患者追跡デバイス 1 1 6 は、1 つ以上の追跡マーカ 1 1 8 を含み、それは、患者 2 1 0 に（例えば、患者 2 1 0 の骨に）直接固定されるように適合される。外科用ロボットシステム 1 0 0 はまた、例えば、カメラスタンド 2 0 2 上に位置付けられた、カメラ 2 0 0 を利用してもよい。カメラスタンド 2 0 2 は、カメラ 2 0 0 を所望の位置に移動、配向、及び支持するために、任意の適切な構成を有することができる。カメラ 2 0 0 は、任意の適切なカメラまたは複数のカメラ、例えば、カメラ 2 0 0 の視点から見るることができる所与の測定量においてアクティブ及びパッシブ追跡マーカ 1 1 8 を識別することができる、例えば、1 つ以上の赤外カメラ（例えば、2 焦点または立体写真測量カメラ）等を含んでもよい。カメラ 2 0 0 は、所与の測定量をスキャンしてもよく、3 次元におけるマーカ 1 1 8 の位置を識別及び判定するために、マーカ 1 1 8 から来る光を検出してもよい。例えば、アクティブマーカ 1 1 8 は、電気信号（例えば、赤外発光ダイオード（LED））によって作動される赤外発光マーカを含んでもよく、パッシブマーカ 1 1 8 は、例えば、カメラ 2 0 0 または他の適切なデバイス上の照明器によって発出される赤外光を反射するレトロな反射性マーカ（例えば、それらは、入射光の方向に入射する IR 放射を反射する）を含んでもよい。

20

30

【 0 0 1 5 】

図 1 及び 2 は、手術室環境における外科用ロボットシステム 1 0 0 の配置のための潜在的な構成を例解する。例えば、ロボット 1 0 2 は、患者 2 1 0 の近くまたは次に位置付けられてもよい。患者 2 1 0 の頭部の近くが描写されるが、ロボット 1 0 2 は、手術を受けている患者 2 1 0 の領域に応じて、患者 2 1 0 の近くの任意の適切な場所に位置付けることができることが理解されるであろう。カメラ 2 0 0 は、ロボットシステム 1 0 0 から分離されてもよいし、患者 2 1 0 の足に位置付けられてもよい。この場所は、カメラ 2 0 0 が、手術野 2 0 8 への直接的な視線を有することを可能にする。再度、カメラ 2 0 0 は、手術野 2 0 8 への見通し線を有する任意の適切な位置に位置してもよいことが意図される。図示される構成において、外科医 1 2 0 は、ロボット 1 0 2 の向かいに位置付けられてもよいが、依然として、エンドエフェクタ 1 1 2 及び表示器 1 1 0 を操作することができる。外科助手 1 2 6 は、更にまた、エンドエフェクタ 1 1 2 及び表示器 1 1 0 の双方にアクセス可能に、外科医 1 2 0 の向かいに位置付けられてもよい。所望される場合、外科医 1 2 0 及び助手 1 2 6 の場所は、逆にされてもよい。麻酔医 1 2 2 及び看護師または洗浄技師 1 2 4 のための伝統的な領域は、ロボット 1 0 2 及びカメラ 2 0 0 の場所によって邪魔されないままである。

40

【 0 0 1 6 】

ロボット 1 0 2 の他の構成要素に関して、表示器 1 1 0 は、外科用ロボット 1 0 2 に取

50

設することができ、他の例示的な実施形態において、表示器 110 は、外科用ロボット 102 を伴う手術室内、または遠隔の場所のいずれかにおいて、外科用ロボット 102 から取り外すことができる。エンドエフェクタ 112 は、ロボットアーム 104 に連結されてもよく、少なくとも 1 つのモータによって制御されてもよい。例示的な実施形態において、エンドエフェクタ 112 は、患者 210 上で手術を実施するために使用される（本明細書において更に説明される）外科用器具 608 を受け入れる及び配向させることができる、誘導管 114 を備えることができる。本明細書において使用される際、「エンドエフェクタ」という用語は、「エンドイフェクチュエータ」及び「イフェクチュエータ要素」という用語と同義的に使用される。誘導管 114 を用いて一般的に示されるが、エンドエフェクタ 112 は、手術中の使用に適した任意の適切な器具類と置き換えてもよいことが理解されるであろう。一部の実施形態において、エンドエフェクタ 112 は、所望の様態における外科用器具 608 の移動をもたらすために任意の既知の構造を備えることができる。

10

【0017】

外科用ロボット 102 は、エンドエフェクタ 112 の並進及び配向を制御することができる。ロボット 102 は、例えば、x、y、及び z 軸に沿って、エンドエフェクタ 112 を移動させることができる。エンドエフェクタ 112 は、（エンドエフェクタ 112 と関連付けられるオイラー角（例えば、ロール、ピッチ、及び/またはヨー）のうちの一つ以上を選択的に制御することができるように）x、y、及び z 軸、ならびに Z フレーム軸のうちの一つ以上の周囲の選択的回転のために構成することができる。一部の例示的な実施形態において、エンドエフェクタ 112 の並進及び配向の選択的制御は、例えば、回転軸のみを備える 6 自由度のロボットアームを利用する従来のロボットと比較して、有意に改善された精密性をもって医療手技の実施を可能にすることができる。例えば、外科用ロボットシステム 100 は、患者 210 上で動作させるために使用されてもよく、ロボットアーム 104 は、患者 210 の身体の上に位置付けることができ、エンドエフェクタ 112 は、患者 210 の身体に向かって z 軸に対して選択的に角度付けられる。

20

【0018】

一部の例示的な実施形態において、外科用器具 608 の位置は、外科用ロボット 102 が、手技中、常に外科用器具 608 の場所を認識することができるように、動的に更新することができる。結果として、一部の例示的な実施形態において、外科用ロボット 102 は、医師からのいかなる更なる支援も伴わずに（医師がそのように所望しない限り）素早く所望の位置に外科用器具 608 を移動させることができる。一部の更なる実施形態において、外科用ロボット 102 は、外科用器具 608 が、選択された、事前に計画された軌道から外れた場合、外科用器具 608 の経路を補正するように構成することができる。一部の例示的な実施形態において、外科用ロボット 102 は、エンドエフェクタ 112 及び/または外科用器具 608 の移動の停止、修正、及び/または手動制御を可能にするように構成することができる。このため、使用中、例示的な実施形態において、医師または他のユーザは、システム 100 を動作させることができ、エンドエフェクタ 112 及び/または外科用器具 608 の自主的な移動を停止、修正、または手動で制御するオプションを有する。外科用ロボット 102 による外科用器具 608 の制御及び移動を含む、外科用ロボットシステム 100 の更なる詳細は、その全体として参照することにより本明細書に組み込まれる、同時係属米国特許出願通し番号第 13/924,505 号において見出すことができる。

30

40

【0019】

ロボット外科用システム 100 は、3次元においてロボットアーム 104、エンドエフェクタ 112、患者 210、及び/または外科用器具 608 の移動を追跡するように構成された一つ以上の追跡マーカ 118 を備えることができる。例示的な実施形態において、複数の追跡マーカ 118 は、例えば、制限することなく、ロボット 102 の基部 106 上、ロボットアーム 104 上、またはエンドエフェクタ 112 上等の、ロボット 102 の外表面に装着（またはそうでなければ固定）することができる。例示的な実施形態において、複数の追跡マーカ 118 のうちの少なくとも一つの追跡マーカ 118 は、エンドエフェ

50

クタ 112 に装着またはそうでなければ固定することができる。1つ以上の追跡マーカ 118 は、更に患者 210 に装着（またはそうでなければ固定）することができる。例示的な実施形態において、複数の追跡マーカ 118 は、外科医、外科用ツール、またはロボット 102 の他のパーツによって遮られる可能性を低減するように、手術野 208 から離間して、患者 210 上に位置付けることができる。更に、1つ以上の追跡マーカ 118 は、外科用ツール 608（例えば、スクリュードライバ、拡張器、インプラント挿入器、または同様のもの）に更に装着（またはそうでなければ固定）することができる。このため、追跡マーカ 118 は、マークされた物体（例えば、エンドエフェクタ 112、患者 210、及び外科用ツール 608）のそれぞれが、ロボット 102 によって追跡されることを可能にする。例示的な実施形態において、システム 100 は、例えば、エンドエフェクタ 112、（例えば、エンドエフェクタ 112 の管 114 内に位置付けられた）外科用器具 608 の、配向及び場所、ならびに患者 210 の相対位置を計算するために、マークされた物体のそれぞれから収集された追跡情報を使用することができる。

10

【0020】

例示的な実施形態において、マーカ 118 のうちの1つ以上は、光学マーカであってもよい。一部の実施形態において、エンドエフェクタ 112 上の1つ以上の追跡マーカ 118 の位置付けは、エンドエフェクタ 112 の位置をチェックまたは検証する役割を果たすことによって、位置測定値の精密性を最大化することができる。外科用ロボット 102 及び外科用器具 608 の制御、移動、ならびに追跡を含む、外科用ロボットシステム 100 の更なる詳細は、その全体として参照することにより本明細書に組み込まれる、同時係属米国特許出願通し番号第 13 / 924 , 505 号において見出すことができる。

20

【0021】

例示的な実施形態は、外科用器具 608 に連結された1つ以上のマーカ 118 を含む。例示的な実施形態において、例えば、患者 210 及び外科用器具 608 に連結される、これらのマーカ 118、ならびにロボット 102 のエンドエフェクタ 112 に連結されるマーカ 118 は、従来の赤外発光ダイオード（LED）または、例えば、Optotrak（登録商標）等の商業的に入手可能な赤外光追跡システムを使用して追跡されることが可能な Optotrak（登録商標）ダイオードを備えることができる。Optotrak（登録商標）は、Northern Digital Inc., Waterloo, Ontario, Canada の登録商標である。他の実施形態において、マーカ 118 は、Polaris Spectra 等の商業的に入手可能な光学追跡システムを使用して追跡されることが可能な従来の反射性球体を備えることができる。Polaris Spectra も、Northern Digital, Inc の登録商標である。例示的な実施形態において、エンドエフェクタ 112 に連結されたマーカ 118 は、オン及びオフにされ得る赤外発光ダイオードを備えるアクティブマーカであり、患者 210 及び外科用器具 608 に連結されるマーカ 118 は、パッシブ反射性球体を備える。

30

【0022】

例示的な実施形態において、マーカ 118 から発出された及び/またはマーカ 118 によって反射された光は、カメラ 200 によって検出することができ、マークされた物体の場所及び移動を監視するために使用することができる。代替の実施形態において、マーカ 118 は、無線周波数及び/もしくは電磁リフレクタまたはトランシーバを備えることができ、カメラ 200 は、無線周波数及び/もしくは電磁トランシーバを含むか、またはそれによって置き換えることができる。

40

【0023】

外科用ロボットシステム 100 と同様に、図 3 は、本開示の例示的な実施形態と一致するドッキング型構成における、外科用ロボットシステム 300 及びカメラスタンド 302 を例解する。外科用ロボットシステム 300 は、表示器 304、上部アーム 306、下部アーム 308、エンドエフェクタ 310、垂直コラム 312、キャスト 314、キャビネット 316、タブレット引出し 318、コネクタパネル 320、制御パネル 322、及び情報のリング部 324 を含む、ロボット 301 を備えてもよい。カメラスタンド 302 は

50

、カメラ 326 を備えてもよい。これらの構成要素は、図 5 に関してより多く説明される。図 3 は、カメラスタンド 302 が、例えば、使用中でないときに、ロボット 301 と入れ子にされる、ドッキング型構成における外科用ロボットシステム 300 を例解する。カメラ 326 及びロボット 301 は、例えば、図 1 及び図 2 に示されるように、外科手技中に、互いに分離してもよいし、任意の適切な場所に位置付けてもよいことが、当業者によって理解されるであろう。図 4 は、本開示の例示的な実施形態と一致する基部 400 を例解する。基部 400 は、外科用ロボットシステム 300 の一部分であってもよく、キャビネット 316 を備えてもよい。キャビネット 316 は、限定されるものではないが、バッテリー 402、配電モジュール 404、プラットフォームインターフェースボードモジュール 406、コンピュータ 408、ハンドル 412、及びタブレット引出し 414 を含む、外科用ロボットシステム 300 のある構成要素を収容してもよい。これらの構成要素間の接続及び関係は、図 5 に関してより詳細に説明される。

10

【0024】

図 5 は、外科用ロボットシステム 300 の例示的な実施形態のある構成要素のブロック図を例解する。外科用ロボットシステム 300 は、プラットフォームサブシステム 502、コンピュータサブシステム 504、動き制御サブシステム 506、及び追跡サブシステム 532 を備えてもよい。プラットフォームサブシステム 502 は、バッテリー 402、配電モジュール 404、プラットフォームインターフェースボードモジュール 406、及びタブレット充電ステーション 534 を更に備えてもよい。コンピュータサブシステム 504 は、コンピュータ 408、表示器 304、及びスピーカ 536 を更に備えてもよい。動き制御サブシステム 506 は、駆動回路 508、モータ 510、512、514、516、518、安定器 520、522、524、526、エンドエフェクタ 310、及びコントローラ 538 を更に備えてもよい。追跡サブシステム 532 は、位置センサ 540 及びカメラ変換器 542 を更に備えてもよい。システム 300 はまた、フットペダル 544 及びタブレット 546 を備えてもよい。

20

【0025】

入力電力は、電源 548 を介してシステム 300 に供給され、それは、配電モジュール 404 に提供されてもよい。配電モジュール 404 は、入力電力を受け取り、システム 300 の他のモジュール、構成要素、及びサブシステムに提供される異なる電力供給電圧を発生するように構成される。配電モジュール 404 は、異なる電圧供給をプラットフォームインターフェースモジュール 406 に提供するように構成されてもよく、それは、例えば、コンピュータ 408、表示器 304、スピーカ 536、ドライバ 508 等の他の構成要素に、例えば、電力モータ 512、514、516、518 及びエンドエフェクタ 310、モータ 510、リング部 324、カメラ変換器 542、ならびにシステム 300 のための他の構成要素、例えば、キャビネット 316 内の電気構成要素を冷却するための送風機に提供されてもよい。

30

【0026】

配電モジュール 404 はまた、電力を他の構成要素、例えば、タブレット引出し 318 内に位置し得るタブレット充電ステーション 534 等に提供してもよい。タブレット充電ステーション 534 は、テーブル 546 を充電するためにタブレット 546 と無線または有線通信してもよい。タブレット 546 は、本開示と一致する及び本明細書に説明される外科医によって使用されてもよい。配電モジュール 404 はまた、バッテリー 402 に接続されてもよく、そのバッテリーは、万一配電モジュール 404 が入力電力 548 からの電力を受信しない場合において、一時的な電源としての役割を果たす。他のときには、配電モジュール 404 は、必要な場合、バッテリー 402 を充電する役割を果たしてもよい。

40

【0027】

プラットフォームサブシステム 502 の他の構成要素はまた、コネクタパネル 320、制御パネル 322、及びリング部 324 を含んでもよい。コネクタパネル 320 は、異なるデバイス及び構成要素をシステム 300 ならびに / または関連付けられた構成要素及びモジュールに接続する役割を果たしてもよい。コネクタパネル 320 は、異なる構成要素が

50

らの線路または接続を受け入れる1つ以上のポートを含んでもよい。例えば、コネクタパネル320は、システム300を他の機器に接地し得る接地端子ポート、フットペダル544をシステム300に接続するためのポート、位置センサ540、カメラ変換器542、及びカメラスタンド302と関連付けられたカメラ326を備え得る追跡サブシステム532に接続するためのポートを有してもよい。コネクタパネル320はまた、他の構成要素、例えば、コンピュータ408等へのUSB、イーサネット（登録商標）、HDMI（登録商標）通信を可能にするために、他のポートを含んでもよい。

【0028】

制御パネル322は、システム300の動作を制御する種々のボタンもしくは指示器を提供してもよいし、及び/またはシステム300に関する情報を提供してもよい。例えば、制御パネル322は、システム300の電源をオンまたはオフにするためのボタン、垂直コラム312を上げるまたは下げるためのボタン、及びシステム300が物理的に移動することを係止するようにキャスト314に係合するように計画され得る安定器520～526を上げるまたは下げるためのボタンを含んでもよい。万一緊急の場合には、他のボタンがシステム300を停止してもよく、それは、全てのモータ電力をなくし得、全ての動きの発生を停止するために機械的制動を加え得る。制御パネル322はまた、ユーザにあるシステム状況を通知する指示器、例えば、線路電力指示器等、またはバッテリー402用の充電の状態を通知する指示器を有してもよい。

10

【0029】

リング部324は、システム300のユーザに、システム300が不十分に動作している異なるモード及び該ユーザへのある警告を通知するための視覚的指示器であってもよい。

20

【0030】

コンピュータサブシステム504は、コンピュータ408、表示器304、及びスピーカ536を含む。コンピュータ504は、システム300を動作させるためのオペレーティングシステム及びソフトウェアを含む。コンピュータ504は、情報をユーザに表示するために、他の構成要素（例えば、追跡サブシステム532、プラットホームサブシステム502、及び/または動き制御サブシステム506）からの情報を受信及び処理してもよい。更に、コンピュータサブシステム504はまた、音声をユーザに提供するためにスピーカ536を含んでもよい。

【0031】

追跡サブシステム532は、位置センサ504及び変換器542を含んでもよい。追跡サブシステム532は、図3に関して説明されたようなカメラ326を含むカメラスタンド302に対応してもよい。位置センサ504は、カメラ326であってもよい。追跡サブシステムは、外科手技中にユーザによって使用されるシステム300及び/または器具の異なる構成要素上に位置する、ある一定のマーカの場合を追跡してもよい。この追跡は、それぞれ、アクティブまたはパッシブ要素、例えば、LEDまたは反射性マーカ等の場所を追跡する赤外技術の使用を含む、本開示と一致する様態で行われてもよい。これらの種類のマーカを有する構造の場所、配向、及び位置は、表示器304上でユーザに表示され得るコンピュータ408に提供されてもよい。例えば、これらの種類のマーカを有し、（ナビゲーション空間として呼ばれ得る）この様態で追跡される外科用器具608が、患者の解剖学的構造の3次元画像に関連してユーザに示されてもよい。動き制御サブシステム506は、垂直コラム312、上部アーム306、下部アーム308を物理的に移動させる、またはエンドエフェクタ310を回転させるように構成されてもよい。物理的移動は、1つ以上のモータ510～518の使用を通じて行われてもよい。例えば、モータ510は、垂直コラム312を垂直に上げるまたは下げるように構成されてもよい。モータ512は、図3に示されるように垂直コラム312との係合点の周囲に、上部アーム308を横に移動させるように構成されてもよい。モータ514は、図3に示されるように上部アーム308との係合点の周囲に、下部アーム308を横に移動させるように構成されてもよい。モータ516及び518は、一方がロールを制御し得、かつもう一方が傾きを制御し得るような様態で、エンドエフェクタ310を移動させるように構成されてもよく

30

40

50

、それによって、エンドエフェクタ 3 1 0 が移動され得る複数の角度を提供する。これらの移動は、コントローラ 5 3 8 によって達成されてもよく、そのコントローラは、エンドエフェクタ 3 1 0 上に配置されたロードセルを通してこれらの移動を制御し得、ユーザが、これらのロードセルに係合することによって作動され得、所望の様態においてシステム 3 0 0 を移動させる。

【 0 0 3 2 】

更に、システム 3 0 0 は、ユーザが、（タッチスクリーン入力デバイスであってもよい）表示器 3 0 4 上に、表示器 3 0 4 上の患者の解剖組織の 3 次元画像上に外科用器具または構成要素の場所を指示することを通じて、垂直コラム 3 1 2、上部アーム 3 0 6、及び下部アーム 3 0 8 の自動移動を提供してもよい。ユーザは、フットペダル 5 4 4 を踏むことまたはいくらかの他の入力手段によって、この自動移動を開始してもよい。

10

【 0 0 3 3 】

図 6 は、例示的な実施形態と一致する外科用ロボットシステム 6 0 0 を例解する。外科用ロボットシステム 6 0 0 は、エンドエフェクタ 6 0 2、ロボットアーム 6 0 4、誘導管 6 0 6、器具 6 0 8、及びロボット基部 6 1 0 を備えてもよい。器具ツール 6 0 8 は、1 つ以上の追跡マーカ（例えば、マーカ 1 1 8 等）を含む追跡アレイ 6 1 2 に取設してもよく、関連付けられた軌道 6 1 4 を有してもよい。軌道 6 1 4 は、器具ツール 6 0 8 が、一度それが誘導管 6 0 6 を通して位置付けられるまたは誘導管 6 0 6 内に固定されると進むように構成される移動の経路、例えば、患者への器具ツール 6 0 8 の挿入の経路を表現してもよい。例示的な動作において、ロボット基部 6 1 0 は、外科用ロボットシステム 6 0 0 が、患者 2 1 0 上で動作している際に、ユーザ（例えば、外科医）を支援してもよいように、ロボットアーム 6 0 4 及びエンドエフェクタ 6 0 2 と電子通信するように構成されてもよい。外科用ロボットシステム 6 0 0 は、前に説明した外科用ロボットシステム 1 0 0 及び 3 0 0 と一致してもよい。

20

【 0 0 3 4 】

追跡アレイ 6 1 2 は、器具ツール 6 0 8 の場所及び配向を監視するために、器具 6 0 8 上に装着されてもよい。追跡アレイ 6 1 2 は、器具 6 0 8 に取設されてもよく、追跡マーカ 8 0 4 を備えてもよい。図 8 に最も良く見られるように、追跡マーカ 8 0 4 は、例えば、発光ダイオード及び/または他の種類の反射性マーカ（例えば、本明細書における他の箇所に説明されるようなマーカ 1 1 8）であってもよい。追跡デバイスは、外科用ロボットシステムと関連付けられた 1 つ以上の見通し線デバイスであってもよい。例として、追跡デバイスは、外科用ロボットシステム 1 0 0、3 0 0 と関連付けられた 1 つ以上のカメラ 2 0 0、3 2 6 であってもよいし、また、ロボットアーム 6 0 4、ロボット基部 6 1 0、エンドエフェクタ 6 0 2、及び/または患者 2 1 0 に対する器具 6 0 8 の定義された領域または相対的配向について追跡アレイ 6 1 2 を追跡してもよい。追跡デバイスは、カメラスタンド 3 0 2 及び追跡サブシステム 5 3 2 と併せて説明された構造のもので一致してもよい。

30

【 0 0 3 5 】

図 7 A、7 B、及び 7 C は、例示的な実施形態と一致するエンドエフェクタ 6 0 2 のそれぞれ、上面図、正面図、及び側面図を例解する。エンドエフェクタ 6 0 2 は、1 つ以上の追跡マーカ 7 0 2 を備えてもよい。追跡マーカ 7 0 2 は、発光ダイオードまたは他の種類のアクティブ及びパッシブマーカ、例えば、前に説明した追跡マーカ 1 1 8 等であってもよい。例示的な実施形態において、追跡マーカ 7 0 2 は、電気信号によって作動されるアクティブ赤外発光マーカ（例えば、赤外発光ダイオード（LED））である。このため、追跡マーカ 7 0 2 は、赤外マーカ 7 0 2 がカメラ 2 0 0、3 2 6 に認識できるように作動させてもよいし、または赤外マーカ 7 0 2 がカメラ 2 0 0、3 2 6 に認識できないように非作動にしてもよい。このため、マーカ 7 0 2 がアクティブであるとき、エンドエフェクタ 6 0 2 は、システム 1 0 0、3 0 0、6 0 0 によって制御されてもよいし、マーカ 7 0 2 が非作動にされるとき、エンドエフェクタ 6 0 2 は、適切な位置に係止され、システム 1 0 0、3 0 0、6 0 0 によって移動されることができなくてもよい。

40

50

【 0 0 3 6 】

マーカ702は、マーカ702が、外科用ロボットシステム100、300、600と関連付けられた1つ以上のカメラ200、326または他の追跡デバイスによって認識されることができるような状態で、エンドエフェクタ602上または内に配置してもよい。カメラ200、326または他の追跡デバイスは、追跡マーカ702の移動を追うことによって、エンドエフェクタ602を、それが異なる位置及び視野角に移動する際に、追跡してもよい。マーカ702及び/またはエンドエフェクタ602の場所は、外科用ロボットシステム100、300、600と関連付けられた表示器110、304、例えば、図2に示されるような表示器110及び/または図3に示される表示器304上に示されてもよい。この表示器110、304は、ユーザが、エンドエフェクタ602が、ロボット

10

【 0 0 3 7 】

例えば、図7Aに示されるように、マーカ702は、追跡デバイスが、手術野208から離れて配置され、ロボット102、301の方に向くように、かつ、カメラ200、326が、追跡デバイス100、300、600に対するエンドエフェクタ602の共通配向の範囲を通してマーカ702のうちの少なくとも3つを見ることができるよう、エンドエフェクタ602の表面の周囲に配置されてもよい。例えば、マーカ702の分配は、このようにして、エンドエフェクタ602が手術野208において並進及び回転されるときに、エンドエフェクタ602が追跡デバイスによって監視されることを可能にする。

20

【 0 0 3 8 】

加えて、例示的な実施形態において、エンドエフェクタ602は、外部カメラ200、326がマーカ702を読み取る準備ができたときを検出することができる赤外(IR)受信機を装備してもよい。この検出の直後、エンドエフェクタ602は、次いで、マーカ702を照明してもよい。外部カメラ200、326がマーカ702を読み取る準備ができていうIR受信機による検出は、外部カメラ200、326に、発光ダイオードであり得るマーカ702のデューティサイクルを同期させる必要性を信号で伝えてもよい。これはまた、全体としてロボットシステムによる低電力消費を可能にし得、それによって、マーカ702が、連続的に照明される代わりに、適時にのみ照明されるであろう。更に、例示的な実施形態において、マーカ702は、他のナビゲーションツール、例えば、異なる種類の外科用器具608等との干渉を防ぐために、電源をオフにしてもよい。

30

【 0 0 3 9 】

図8は、追跡アレイ612及び追跡マーカ804を含む1つの種類の外科用器具608を描写する。追跡マーカ804は、限定されるものでないが、発光ダイオードまたは反射性球体を含む、本明細書に説明される任意の種類のものであってもよい。マーカ804は、外科用ロボットシステム100、300、600と関連付けられた追跡デバイスによって監視され、カメラ200、326の見通し線のうちの1つ以上であってもよい。カメラ200、326は、追跡アレイ612及びマーカ804の位置ならびに配向に基づいて、器具608の場所を追跡してもよい。ユーザ、例えば、外科医120等は、追跡アレイ612及びマーカ804が、追跡デバイスまたはカメラ200、326によって十分に認識され、器具608及びマーカ804を、例えば、例示的な外科用ロボットシステムの表示器110上に表示させるような状態で、器具608を配向させてもよい。

40

【 0 0 4 0 】

外科医120が、器具608をエンドエフェクタ602の誘導管606の中に配置し得、器具608を調節し得る状態が、図8において明らかである。エンドエフェクタ112、310、602の中空管または誘導管114、606は、外科用器具608の少なくとも一部分を受け入れるようにサイズ決定及び構成される。誘導管114、606は、外科用器具608のための挿入及び軌道が、患者210の身体内またはその上で所望の解剖学的対象に到達することができるように、ロボットアーム104によって配向されるように構成される。外科用器具608は、略円筒形器具の少なくとも一部分を含んでもよい。ス

50

クリュードライバが外科用ツール 608 として例解されるが、任意の適切な外科用ツール 608 がエンドエフェクタ 602 によって位置付けられてもよいことが理解されるであろう。例として、外科用器具 608 は、誘導ワイヤ、カニューレ、レトラクタ、掘削器、リーマ、スクリュードライバ、挿入ツール、除去ツール、または同様のもののうちの 1 つ以上を含んでもよい。中空管 114、606 は円筒形構成を有するように一般的に示されるが、誘導管 114、606 は、外科用器具 608 に適応するために及び手術位置にアクセスするために所望された任意の適切な形状、サイズ、及び構成を有してもよいことが当業者によって理解されるであろう。

【0041】

図 9A ~ 9C は、例示的な実施形態と一致するエンドエフェクタ 602 及びロボットアーム 604 の一部分を例解する。エンドエフェクタ 602 は、本体 1202 及びクランプ 1204 を更に備えてもよい。クランプ 1204 は、ハンドル 1206、ボール 1208、バネ 1210、及びリップ部 1212 を備えてもよい。ロボットアーム 604 は、凹部 1214、装着プレート 1216、リップ部 1218、及び磁石 1220 を更に備えてもよい。[0072] エンドエフェクタ 602 は、1 つ以上の連結を通して外科用ロボットシステム及びロボットアーム 604 と機械的にインターフェースを取ってもよいし、ならびに / または係合してもよい。例えば、エンドエフェクタ 602 は、位置決め連結及び / または補強連結を通してロボットアーム 604 と係合してもよい。これらの連結を通して、エンドエフェクタ 602 は、可撓性及び無菌バリアの外側のロボットアーム 604 と締結してもよい。例示的な実施形態において、位置決め連結は、磁気運動学的装着であつてもよく、補強連結は、5 つの棒状オーバーセンタクラumpingリンク機構であつてもよい。

【0042】

位置決め連結に関して、ロボットアーム 604 は、装着プレート 1216 を備えてもよく、それは、非磁気材料、1 つ以上の凹部 1214、リップ部 1218、及び磁石 1220 であつてもよい。磁石 1220 は、凹部 1214 のそれぞれの下に装着される。クランプ 1204 の一部分は、磁気材料を備えてもよく、1 つ以上の磁石 1220 によって吸引されてもよい。クランプ 1204 及びロボットアーム 604 の磁気吸引を通して、ボール 1208 は、それぞれの凹部 1214 の中に着座させる。例えば、図 9B に示すボール 1208 は、図 9A に示す凹部 1214 に着座させてもよい。この着座は、磁氣的に支援された運動学的連結と考えられ得る。磁石 1220 は、エンドエフェクタ 602 の配向に関わらず、エンドエフェクタ 602 の全重量を支持するのに十分強いように構成されてもよい。位置決め連結は、6 自由度を固有に抑制する任意の様式の運動学的装着であつてもよい。

【0043】

補強連結に関して、クランプ 1204 の一部分は、固定接地リンクであるように構成されてもよく、そのように、クランプ 1204 は、5 つの棒リンク機構としての役割を果たしてもよい。クランプハンドル 1206 を閉じることは、リップ部 1212 及びリップ部 1218 が、エンドエフェクタ 602 及びロボットアーム 604 を固定するような状態でクランプ 1204 に係合する際に、エンドエフェクタ 602 をロボットアーム 604 に締結し得る。クランプハンドル 1206 が閉じられると、バネ 1210 は、クランプ 1204 が係止位置にある間に伸長または加圧され得る。係止位置は、中心を過ぎたリンク機構を提供する位置であり得る。中心を過ぎた閉じた位置の理由で、リンク機構は、クランプ 1204 を解放するためにクランプハンドル 1206 に加えられる力がなければ開かない。このため、係止位置において、エンドエフェクタ 602 は、ロボットアーム 604 に強固に固定され得る。

【0044】

バネ 1210 は、張力における曲がり梁であつてもよい。バネ 1210 は、高剛性及び高降伏ひずみを呈する材料、例えば、PEEK (ポリエーテルエーテルケトン) パージン材等から成つてもよい。エンドエフェクタ 602 及びロボットアーム 604 間のリンク機構は、エンドエフェクタ 602 及びロボットアーム 604 間に、2 つの連結の締結を妨害

10

20

30

40

50

せずに、無菌バリアを提供し得る。

【 0 0 4 5 】

補強連結は、複数のバネ部材を用いるリンク機構であってもよい。補強連結は、カムまたは摩擦に基づく機構を用いて掛止めしてもよい。補強連結はまた、ロボットアーム 6 0 4 へのエンドエフェクタ 1 0 2 の締結を支持する十分に強力な電磁石であってもよい。補強連結は、エンドエフェクタ 6 0 2 及びロボットアーム 6 0 4 間の界面上を滑り、かつスクリュウ機構、オーバーセンタリンク機構、またはカム機構を用いて締め付ける、エンドエフェクタ 6 0 2 及び / またはロボットアーム 6 0 4 のいずれかから完全に分離したマルチピースカラーであってもよい。

【 0 0 4 6 】

図 1 0 及び 1 1 を参照すると、外科手技の前または間に、ある位置合わせ手技が、ナビゲーション空間及び画像空間の両方において、物体及び患者 2 1 0 の対象の解剖学的構造を追跡するために行われてもよい。かかる位置合わせを行うために、位置合わせシステム 1 4 0 0 は図 1 0 に例解されるように使用されてもよい。

【 0 0 4 7 】

患者 2 1 0 の位置を追跡するために、患者追跡デバイス 1 1 6 は、患者 2 1 0 の硬い解剖学的構造に固定されるべき患者固定器具 1 4 0 2 を含んでもよく、動的参照基部 (D R B) 1 4 0 4 は、患者固定器具 1 4 0 2 に確実に取設されてもよい。例えば、患者固定器具 1 4 0 2 は、動的参照基部 1 4 0 4 の開口部 1 4 0 6 に挿入されてもよい。動的参照基部 1 4 0 4 は、追跡デバイス、例えば、追跡サブシステム 5 3 2 等が認識できるマーカ 1 4 0 8 を含んでもよい。これらのマーカ 1 4 0 8 は、本明細書に前に考察されたように、光学マーカまたは反射性球体、例えば、追跡マーカ 1 1 8 等であってもよい。

【 0 0 4 8 】

患者固定器具 1 4 0 2 は、患者 2 1 0 の硬い解剖組織に取設され、外科手技全体を通して取設されたままであってもよい。例示的な実施形態において、患者固定器具 1 4 0 2 は、患者 2 1 0 の硬い領域、例えば、外科手技を受ける対象の解剖学的構造から離れて位置する骨に取設される。対象の解剖学的構造を追跡するために、動的参照基部 1 4 0 4 は、対象の解剖学的構造の場所を用いて動的参照基部 1 4 0 4 を位置合わせするために、対象の解剖学的構造上またはその近くに一時的に配置される位置合わせ固定具の使用を通して対象の解剖学的構造と関連付けられる。

【 0 0 4 9 】

位置合わせ固定具 1 4 1 0 は、枢動アーム 1 4 1 2 の使用を通じて、患者固定器具 1 4 0 2 に取設される。枢動アーム 1 4 1 2 は、位置合わせ固定具 1 4 1 0 の開口部 1 4 1 4 を通じて患者固定器具 1 4 0 2 を挿入することによって、患者固定器具 1 4 0 2 に取設される。枢動アーム 1 4 1 2 は、例えば、枢動アーム 1 4 1 2 の開口部 1 4 1 8 を通じてノブ 1 4 1 6 を挿入することによって、位置合わせ固定具 1 4 1 0 に取設される。

【 0 0 5 0 】

枢動アーム 1 4 1 2 を使用して、位置合わせ固定具 1 4 1 0 は、対象の解剖学的構造の上に配置されてもよく、その場所は、位置合わせ固定具 1 4 1 0 上の追跡マーカ 1 4 2 0 及び / または基準 1 4 2 2 を使用して、画像空間及びナビゲーション空間において判定されてもよい。位置合わせ固定具 1 4 1 0 は、ナビゲーション空間において認識できるマーカ 1 4 2 0 の集合物を含んでもよい (例えば、マーカ 1 4 2 0 は、追跡サブシステム 5 3 2 によって検出可能であってもよい) 。追跡マーカ 1 4 2 0 は、本明細書において前に説明されるように、赤外光において認識できる光学マーカであってもよい。位置合わせ固定具 1 4 1 0 はまた、画像化空間 (例えば、3 次元 C T 画像) において認識できる基準 1 4 2 2 、例えば、軸受ボール等の集合物を含んでもよい。図 1 1 に関してより詳細に説明されるように、位置合わせ固定具 1 4 1 0 を使用して、対象の解剖学的構造は、動的参照基部 1 4 0 4 と関連付けられてもよく、それによって、ナビゲーション空間における物体の描写が、解剖学的構造の画像上に重ね合わされることを可能にする。対象の解剖学的構造から離れた位置に位置する動的参照基部 1 4 0 4 は、参照点になり得、それによって、外

10

20

30

40

50

科用領域からの位置合わせ固定具 1 4 1 0 及び / または 駆動アーム 1 4 1 2 の取外しを可能にする。

【 0 0 5 1 】

図 1 1 は、本開示と一致する位置合わせのための例示的な方法 1 5 0 0 を提供する。方法 1 5 0 0 は、ステップ 1 5 0 2 において始まり、そのステップにおいて、対象の解剖学的構造のグラフィカル表現（または画像（複数可））が、システム 1 0 0、3 0 0、6 0 0、例えば、コンピュータ 4 0 8 にインポートされてもよい。グラフィカル表現は、位置合わせ固定具 1 4 1 0 及び基準 1 4 2 0 の検出可能な画像化パターンを含む、患者 2 1 0 の対象の解剖学的構造の 3 次元 CT または 蛍光透視スキャンであってもよい。

【 0 0 5 2 】

ステップ 1 5 0 4 において、基準 1 4 2 0 の画像化パターンが、画像化空間において検出され、かつ位置合わせされ、コンピュータ 4 0 8 内に記憶される。任意選択的に、このときに、ステップ 1 5 0 6 において、位置合わせ固定具 1 4 1 0 のグラフィカル表現が、対象の解剖学的構造の画像上に重ね合わされてもよい。

【 0 0 5 3 】

ステップ 1 5 0 8 において、位置合わせ固定具 1 4 1 0 のナビゲーションパターンが、マーカ 1 4 2 0 を認識することによって検出され、かつ位置合わせされる。マーカ 1 4 2 0 は、位置センサ 5 4 0 を介して追跡サブシステム 5 3 2 によって赤外光を通してナビゲーション空間において認識される光学マーカであってもよい。このため、対象の解剖学的構造の場所、配向、及び他の情報が、ナビゲーション空間において位置合わせされる。したがって、位置合わせ固定具 1 4 1 0 は、基準 1 4 2 2 の使用による画像空間とマーカ 1 4 2 0 の使用によるナビゲーション空間の両方において認識されてもよい。ステップ 1 5 1 0 において、画像空間内の位置合わせ固定具 1 4 1 0 の位置合わせが、ナビゲーション空間に転移される。この転移は、例えば、マーカ 1 4 2 0 のナビゲーションパターンの位置と比較して、基準 1 4 2 2 の画像化パターンの相対位置を使用することによって、行われる。

【 0 0 5 4 】

ステップ 1 5 1 2 において、（画像空間を用いて位置合わせされた）位置合わせ固定具 1 4 1 0 のナビゲーション空間の位置合わせが、患者固定器具 1 4 0 2 に取設された動的な位置合わせアレイ 1 4 0 4 のナビゲーション空間に更に転移される。このため、位置合わせ固定具 1 4 1 0 は、取り外されてもよく、動的参照基部 1 4 0 4 は、ナビゲーション空間が画像空間と関連付けられるので、ナビゲーション及び画像空間の両方において、対象の解剖学的構造を追跡するために使用されてもよい。

【 0 0 5 5 】

ステップ 1 5 1 4 及び 1 5 1 6 において、ナビゲーション空間は、ナビゲーション空間において認識できるマーカ（例えば、光学マーカ 8 0 4 を用いる外科用器具 6 0 8）を用いて、画像空間及び物体上に重ね合わせてもよい。物体は、対象の解剖学的構造の画像上の外科用器具 6 0 8 のグラフィカル表現を通して追跡されてもよい。

【 0 0 5 6 】

図 1 2 A ~ 1 2 B は、患者 2 1 0 の手術前、手術中、手術後、及び / またはリアルタイムの画像データを取得するためにロボットシステム 1 0 0、3 0 0、6 0 0 と併せて使用され得る画像化デバイス 1 3 0 4 を例解する。任意の適切な主題が、画像化システム 1 3 0 4 を使用して任意の適切な手技のために画像化されてもよい。画像化システム 1 3 0 4 は、任意の画像化デバイス、例えば、画像化デバイス 1 3 0 6 及び / または C アーム 1 3 0 8 デバイス等であってもよい。X 線システムにおいて要求され得る患者 2 1 0 の頻繁な手動の再位置付けを必要とせずに、いくらかの異なる位置から患者 2 1 0 の X 線写真を取ることが望ましいであろう。図 1 2 A に例解されるように、画像化システム 1 3 0 4 は、「C」形状の両遠位端 1 3 1 2 において終端する細長い C 形状部材を含む C アーム 1 3 0 8 の形態であってもよい。C 形状部材 1 1 3 0 は、X 線源 1 3 1 4 及び画像受信器 1 3 1 6 を更に備えてもよい。アームの C アーム 1 3 0 8 内の空間は、X 線支持構造 1 3 1 8 か

10

20

30

40

50

らの実質的な干渉なしで患者を診療するための余地を医師に提供し得る。図 1 2 B に例解されるように、画像化システムは、支持構造画像化デバイス支持構造 1 3 2 8、例えば、車輪 1 3 3 2 を有する車輪付移動可能カート 1 3 3 0 等に取り設されるガントリー筐体 1 3 2 4 を有する画像化デバイス 1 3 0 6 を含んでもよく、それは、例解されない、画像捕捉部分を取り囲んでもよい。画像捕捉部分は、X線源及び/または発出部分ならびにX線受信及び/または画像受信部分を含んでもよく、それらは、互いから約 1 8 0 度に配置されてもよいし、画像捕捉部分の軌道に対してロータ（例解されない）上に装着されてもよい。画像捕捉部分は、画像取得の間に 3 6 0 度回転するように動作可能であってもよい。画像捕捉部分は、中心点及び/または軸の周囲に回転してもよく、患者 2 1 0 の画像データが、多方向からまたは複数の平面において取得されることを可能にする。ある画像化システム 1 3 0 4 が本明細書に例解されるが、任意の適切な画像化システムが、当業者によって選択されてもよいことが理解されるであろう。

10

【 0 0 5 7 】

ロボットシステム 3 0 0 は、例えば、コンピュータサブシステム 5 0 4 の一部として、及び更には、例えば、コンピュータ 4 0 6 の一部として、画像位置合わせ機能を備えてもよい。位置合わせ機能は、具体的には、医療手技（例えば、手術）の準備中に、患者の医用画像を取得し、処理することによって、位置合わせを実施するように構成されてもよい。位置合わせは、別の座標系に対して、1つの座標系内に患者 2 1 0 の術前画像データ、術中画像データ、及びリアルタイム画像データ間などの医用物体を位置付けするために行われてもよい。医用物体は、パッシブインプラント（例えば、スクリュー、ピン）、電子式インプラント（例えば、人工ペースメーカ、人工内耳など）、生体活性インプラント（例えば、医薬インプラント）、生物学的移植用組織、人工移植用材料などであってもよい。例えば、画像誘導またはロボット支援画像誘導は、コンピュータ断層撮影（CT）スキャンまたは磁気共鳴画像（MRI）スキャンなどの術前 3 D 画像データセットを用いて実施され得る。術前に得られた解剖学的 CT または MRI 座標系、術中に得られた解剖学的座標系、追跡カメラの座標系などの間など、複数の座標系を共に位置合わせすることが必要とされる場合もある。複数の座標系を共に位置合わせすることには、手術時に患者の複数の 2 D X線写真を取る、X線装置及び患者の位置を追跡する（例えば、追跡カメラを用いて）など 2 D - 3 D 位置合わせを使用してもよい。次に、X線写真を取る座標系を、2 D - 3 D 位置合わせにより術前得られた 3 D 医用画像座標系に位置合わせしてもよい。

20

30

【 0 0 5 8 】

複数の座標系を共に位置合わせすることには、反復工程を伴ってもよい。例えば、3 D CT または MRI データセットを使用して、X線写真をシミュレートする 2 D 再構成平面画像を生成してもよい。3 D データセットから 2 D 再構成シミュレート X線画像を生成することは、デジタル再構成シミュレーション画像（DRR）を生成するための準備中などに、2 D 平面上での立体医用画像から投射される点放射源から X線に沿って強度を追跡し、統合することを含んでもよい。次いで、DRR は、実際の 2 D X線画像に一致するまで、つまり、DRR 及び実際の放射線画像上の骨構造の特徴または強度特性が、ある程度の許容差内で重なり合うまで反復して生成されてもよい。実施形態においては、コンピュータ構成の初期条件は、本工程において必要な反復数を減らすために制定されてもよい。例えば、コンピュータ構成は、反復が始まる前に、シミュレートされた X線と実際の X線が所定のレベルに合致するように初期化されてもよい。このため、反復数が減少する可能性があり、かつ、複数の座標系の位置合わせに関連付けられる共に位置合わせすることへの収束に到達する可能性がある。

40

【 0 0 5 9 】

複数の座標系を位置合わせするためのコンピュータ構成の初期条件には、ユーザ（例えば、外科医、医師、医療技術者、医療助手など）がソフトウェアを操作し、外科手技中埋め込むことを意図している外科用物体（surgical object）を表現するグラフィック物体を、術中に得られる複数の画像（例えば、X線画像）上に現れる解剖学的構造に重畳させ得るステップを含んでもよい。実施形態においては、グラフィック物体を

50

適用するとき、外科用金具を埋め込み、X線撮影を行った場合、それらの外観が、X線上に現れる陰影の外観に類似しているように、描写されてもよい。2D画像上にグラフィック物体を置く前またはその後、ユーザは、グラフィック物体が2D画像に適用されるグラフィック物体と同一の解剖学的場所で、3D医用画像上に重畳されるように、ソフトウェアの操作を行ってもよい。一例においては、術前3D医用画像は、術中2D X線画像と一緒に使用してもよく、そこでユーザは、おそらく最初に（術前に）3D医用画像上でのスクリーンの場所を計画する可能性があり、その後、術中に、2つ以上の2D X線写真上で同一のスクリーンを設計する。例えば、手術前、ユーザは、システムを使用して、3D術前CTまたはMRI画像上の特定の脊柱において椎弓根スクリーンを設計し、次いで、手術を始める前、手術室でのシステムとの相互作用により、X線上で同じ椎弓根スクリーンを計画する。図13は、コンピュータ断層撮影ボリューム1600（4つの画像の左上1600A、4つの画像の右上1600B、及び4つの画像の右下1600D）の相互直交スライス、及び任意で3D後部の斜視図（4つの画像の左下1600C）から、単一の腰椎（L3）の椎弓根スクリーンの軌道を計画する工程の一部を示す。スクリーンの軌道を計画するために、ユーザは、システムとの相互作用（例えば、マウス、タッチスクリーン、ボイスコマンド、または他の対話式方法）を介して、コンピュータ断層撮影ボリューム画像1600に重ね合わせる、スクリーンの軌道を表現するグラフィック物体の位置を操作する。図14は、X線図1700（前後のX線図1700A及びX線側面図1700B）での単一の腰椎（L3）上の椎弓根スクリーンの軌道を計画する工程の一部を示す。スクリーンの軌道を計画するために、ユーザは、システムとの相互作用を介して、X線画像に重ね合わせる、スクリーンの軌道を表現するグラフィック物体の位置を操作する。

10

20

【0060】

2D及び3D画像セットにおいて、ユーザが金具の場所を正確に一致させることができない場合には、ユーザは、所定の配置基準（例えば、異なる外科用物体、解剖学的特徴などのプロファイルに記憶された配置の制約）内の許容差の範囲内（例えば、設定された線形寸法または回転寸法制限内）で配置できる。次いで、そのシステムでは、異なる座標系（例えば、CT（またはMRI）及びX線座標系の両方）で、シミュレートされた画像と実際の画像との一致を試みる際に、反復工程が始まり、かつこの領域内に収束するように画像上の関心領域を決定するために、物体の場所を使用してもよい。

30

【0061】

実施形態においては、本システムは、2D及び3Dで計画されるわずかに1つの物体を使用できる。しかし、1つの計画された物体では、制限された自由度がもたらされることから（例えば、自由度6のうち5）、2つ以上の計画された物体を使用することにより、性能が改善され得る。つまり、1つの計画された物体では、解剖学的構造の配向が、外科用スクリーンの軸の周囲など、物体の回転配列にあることが明らかでない可能性がある。意図した構成全体（例えば、複数の物体の配置）を用いることにより、全関心領域と分離させる更なる利点を有する一方で、手術用金具構成の一部のみを使用する場合、アルゴリズムは、指示された領域外で外挿し、正確な標的化が必要であってもなくてもよい解剖学的特徴（例えば、骨）に一致させてもよい。

40

【0062】

CTまたはMRIの3D医用画像を用いて、すでに物体の配置を計画しているユーザにとっては、2D平面X線写真上で設計するとき、対応する物体がどこに進むべきであるかは、すぐに明らかにはならないであろう。画像の相関が困難である理由は、3D医用画像の計画は、ユーザが、画像ボリュームを介して2つまたは3つの相互直交スライスを見るときに行われるためであり、つまり、そのスライスの正面側または裏側の解剖学的構造ではなく、スライス自体の上で解剖学的構造のみが表示され得るためである。しかし、2Dで計画する場合、ユーザは、同じ解剖学的特徴を介して2つ以上の投影を見ることができ、更に、X線の性質により、投影された画像は、点放射源から生じ、円錐ビームにより患者を通して画像増強器またはコレクタ極板に移動し、2D及び3Dと比較したときに

50

ユーザによって精神的に照合することが困難であると考えられる視差を取り入れる。2D画像が撮影されたときに3D医用画像がすでに存在する場合には、術前CTまたはMRIを使用する場合のように、DRR（一致アルゴリズム内で生成されたものなど）は、2D画像上での物体の配置を計画するとき、ユーザ用のツールとして使用され得る。つまり、ソフトウェアは、外観が実際のX線写真（例えば、デフォルトは、前後及び側面のX線であってもよい）にほぼ類似するように、ユーザが迅速に調節できるDRRを生成し、表示することができる。このソフトウェアは、これらのDRR上で3D画像に計画された物体を自動的に重畳することができる。この方法を考慮すると、DRR上で認識できる物体と隣り合わせるときに、実際の2DX線写真上に同様に配置させる物体の配置を計画することは、ユーザにとって比較的容易であり得る。

10

【0063】

物体の配置が隣接する場所は、システムにとって既知である（2D及び3D画像の両方において、など）ため、位置合わせの一部として初期条件を定めることにより、反復一致アルゴリズムの補助となり、更に迅速に収束させ得る。ユーザの誤配置により、物体の位置が正確に合致しないこともあり得るが、システムによって（またはプロファイル内に記憶された配置の制約を介してユーザによって）設定された制約内に配置されている場合、1つの解に収束させるために、アルゴリズムは、粗調整の代わりに、微調整を開始できるほど十分に接近していてもよい。代替的状況においては、開始位置が提供されていない場合、アルゴリズムによりシミュレートされたX線の配向が誤方向へ変化し、おそらく、許容差を超える最小エラー値（例えば、収束に到達しない場合など）への収束を開始することもある。

20

【0064】

画像上に初期配置を提供する別の利点は、解剖学的構造上の標識による識別を参照するのではなく、ユーザが実際に撮像された解剖学的構造上に物体を配置できる点である。特に2D図においては、骨の湾曲が移動する方向など、可視化することが難しい可能性があるため、解剖学的構造上の標識を認識することは、医療関係にとって困難であり得る。例えば、ユーザが、骨突起の最外伸展部に印をつけるように求められているが、骨突起がX線経路の方向に対して配向されている場合、その結果得られた陰影のいずれの部分も突起の最外伸展部に相当するか不明である可能性がある。しかし、2D及び3D図上に最適に配置されたときに、この工程のほとんどのユーザは、外科用物体の外観に精通している必要があり、このため、物体が医用画像上にどのように現れるかについて、すでに精通している必要がある。

30

【0065】

初期配置は、ユーザが2Dまたは3D画像上での各解剖学的特徴（例えば、椎骨）の周囲で範囲（例えば、ボックス）を重畳させる必要がある場合など、2Dを3D医用画像と一致させるためのアルゴリズムによって、時に必要とされるセグメンテーションの目的を自動的に満たすこともある。これによって、各脊髄レベルで一致アルゴリズムを独立して実行できるように、ソフトウェアに各椎骨の解剖学的レベルを示す。各解剖学的特徴を独立して位置合わせする理由は、3D画像は、一般に、患者が仰臥位で横たわっている間に撮影し、2D画像は、一般に、患者が腹臥で横たわっている間に撮影するためであり、かつ画像をほぼ同じ配向で撮影した場合であっても、特徴間で若干動きがある可能性があり、このことは、一方のレベルでの2D-3D位置合わせが、別のレベルでは必ずしも有効ではないことを意味する。位置合わせ工程（例えば、複数の座標系の反復収束）前の物体の配置から、初期条件を設定することによって、ユーザは、物体が計画されるレベルを認識している。例えば、外科医がL1からL5まで長い構成を実施しようとする場合、これらの全てのレベルにおいて、術前に3D画像上で、次いで、術中に再び2D画像上で、スクリーンを計画してもよい。これらの計画工程を実施することによって、画像の各部分の解剖学的レベルに関する類似の情報がソフトウェアに提供されることになる。例えば、その後、3D及び2D画像の各レベルのエッジを自動的にセグメント化するために使用される物体から離して外側に移動させながら、画像のピクセル強度の変化を画像解析アルゴリ

40

50

ズムにより確認することができる。更に、解剖学的特徴の既知の一般的な形状は（例えば、椎骨）及び隣接する物体（例えば、外科用スクリュー）間の既知の一般的な空間を使用して、解剖学的特徴及び物体のエッジを検出するための自動化アルゴリズムを改善することができる。前述の実施例を参照すると、ソフトウェアは、L I ~ L S まで各椎骨でのマッチングアルゴリズムを独立して実行し、各レベルに対して固有の位置合わせをもたらすことができる。

【 0 0 6 6 】

本開示では、外科用スクリューの脊柱への挿入など（例えば、図 1 3 及び 1 4 に描写するとおり）の手術例を用いているが、本発明の開示は、医用物体を体内に埋め込むためのあらゆる医療手技に使用される、複数の解剖学的構造画像の位置合わせ収束を改善するための方法及びシステムを示す。当業者は、本発明において開示の方法及びシステムは、当業者に既知の任意の医用インプラントまたは移植に適用されてもよいことを理解するであろう。

10

【 0 0 6 7 】

図 1 5 は、本開示の原理と一致する例示的方法 2 5 0 0 を例解する。方法 2 5 0 0 は、前述のとおり、ロボットシステムによって実行され、使用されてもよい。方法 2 5 0 0 は、ロボットが 3 D 撮像システム及び 2 D 撮像システムからの画像データをインポートし記憶する 2 5 0 2 にて開始されてもよい。このシステムは、また、第 1 の座標系の 3 D 解剖学的特徴及び第 2 の座標系の 2 D 解剖学的特徴を記憶してもよい。これらの撮像システムは、上述のものと同じであっても、3 D C T スキャン及び 2 D X 線を備えてもよい。更に、本システムは、3 D 及び 2 D 画像の両方上のデジタル医用物体の配置情報を記憶してもよい。ステップ 2 5 0 4 では、術中 2 D 画像の特定の特徴が、画像処理を用いて、強調表示されてもよい。ステップ 2 5 0 6 では、記憶された 3 D 画像は、剛体変換を受けて、最終的に、3 D 画像データを術中 2 D 画像データに位置合わせするために、ボリューム配向及び位置情報により、2 D D R R 画像（シミュレートされた 2 D 画像）を生成してもよい。ボリューム及び配向情報は、後述の比較結果に応じて、初期または後続のシミュレートされた 2 D 画像の反復に基づいてもよい。

20

【 0 0 6 8 】

ステップ 2 5 0 8 では、シミュレートされた 2 D 画像データの特徴は、画像処理を用いて強調表示され、かつステップ 2 5 1 0 では、シミュレートされた 2 D 画像データの初期特徴は、術中 2 D 画像特徴の画像特徴と比較してもよい。比較の開始点として、ステップ 2 5 0 2 で記憶されたデジタル医用画像を使用してもよい。

30

【 0 0 6 9 】

ステップ 2 5 1 2 では、システムは、シミュレートされた 2 D 画像データの現在の特徴と術中 2 D 画像データの画像特徴の一致が発生するか否かを決定してもよい。一致が発生した場合、方法 2 5 0 0 は、ステップ 2 5 1 4 に進み、3 D 座標系（第 1 の座標系）と 2 D 座標系（第 2 の座標系）の位置合わせを行う。ステップ 2 5 1 2 で一致が発生しない場合、方法 2 5 0 0 は、ステップ 2 5 0 6 に進み、シミュレートされた 2 D 画像データの次の反復または別の画像特徴と 2 D 画像データの画像特徴とを比較する。これは、一致が発生するまで繰り返し行い、方法 2 5 0 0 をステップ 1 5 1 4 に送信し、第 1 及び第 2 の座標系の位置合わせを行う。

40

【 0 0 7 0 】

本発明は、詳細に示し、記載している好ましい実施形態と関連して開示されているが、様々な変化形態及びその改良形態は、当業者にとって容易に明らかであろう。したがって、本発明の趣旨及び範囲は、前述の実施例に制限されるものではないが、法律によって許容可能である最も広い範囲意味で理解されるものとする。

【 0 0 7 1 】

本明細書に参照される全ての文献は、援用によって本明細書に組み込まれる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 7 2 】

50

【図 1】外科手技の間のロボットシステム、患者、外科医、及び他の医療要員の場所についての潜在的配設の頭上図である。

【図 2】一実施形態に係る患者に対する外科用ロボット及びカメラの位置付けを含むロボットシステムを例解する。

【図 3】例示的な実施形態に従う外科用ロボットシステムを例解する。

【図 4】例示的な実施形態に従う外科用ロボットの一部を例解する。

【図 5】例示的な実施形態に従う外科用ロボットのブロック図を例解する。

【図 6】例示的な実施形態に従う外科用ロボットを例解する。

【図 7 A】例示的な実施形態に従うエンドエフェクタを例解する。

【図 7 B】例示的な実施形態に従うエンドエフェクタを例解する。

10

【図 7 C】例示的な実施形態に従うエンドエフェクタを例解する。

【図 8】一実施形態に係るエンドエフェクタの誘導管への外科用器具の挿入前及び後の、外科用器具及びエンドエフェクタを例解する。

【図 9 A】例示的な実施形態に従うエンドエフェクタ及びロボットアームの一部を例解する。

【図 9 B】例示的な実施形態に従うエンドエフェクタ及びロボットアームの一部を例解する。

【図 9 C】例示的な実施形態に従うエンドエフェクタ及びロボットアームの一部を例解する。

【図 10】例示的な実施形態に従う動的参照アレイ、画像化アレイ、及び他の構成要素を例解する。

20

【図 11】例示的な実施形態に従う位置合わせ方法を例解する。

【図 12 A】例示的な実施形態に係る画像化デバイスの実施形態を例解する。

【図 12 B】例示的な実施形態に係る画像化デバイスの実施形態を例解する。

【図 13】コンピュータ断層撮影ボリュームの複数のスライスにおける 1つの腰椎上の椎弓根スクリューの軌道を計画する工程を例解する。

【図 14】X線上の複数の図による単一の腰椎上の椎弓根スクリューの軌道を計画する工程を例解する。

【図 15】本開示と一致する例示的方法を例解する。

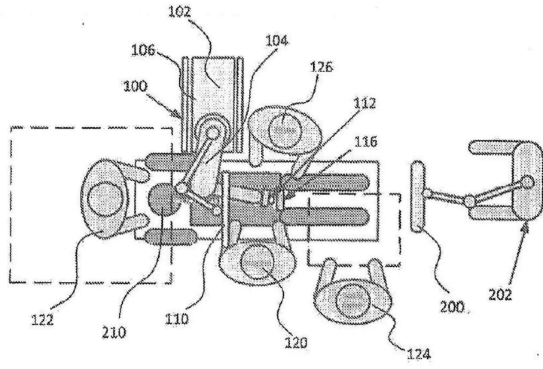
30

40

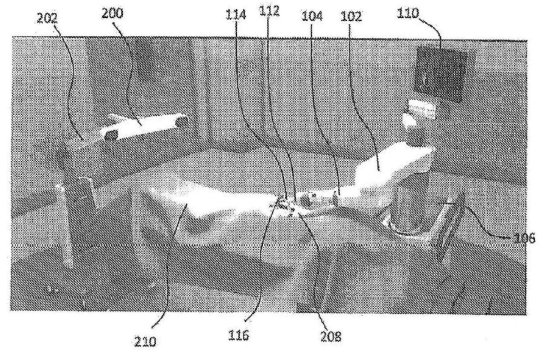
50

【図面】

【図 1】

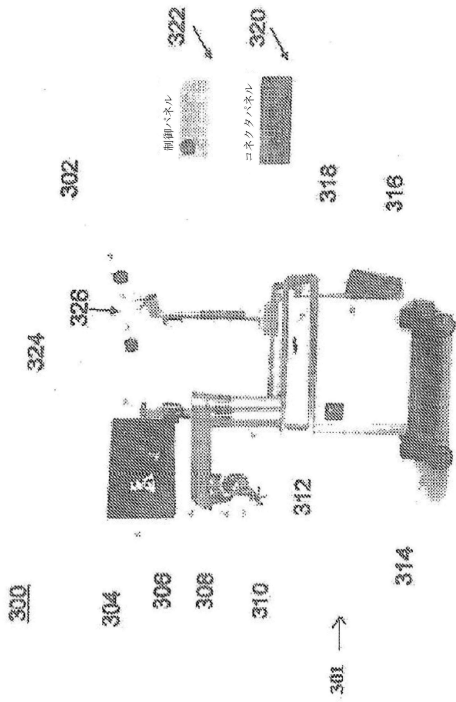


【図 2】

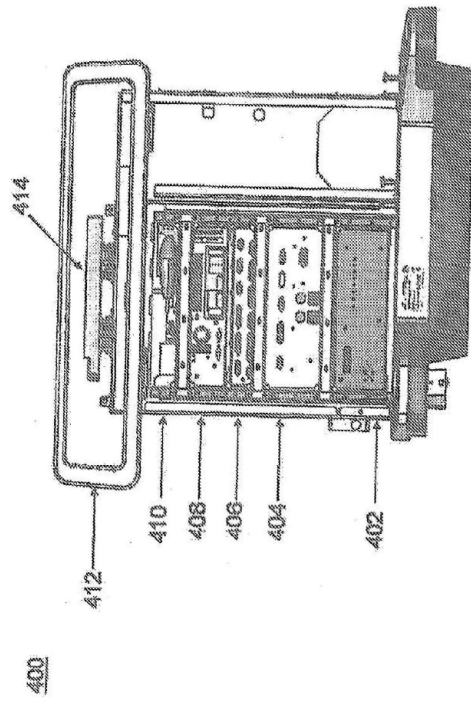


10

【図 3】



【図 4】



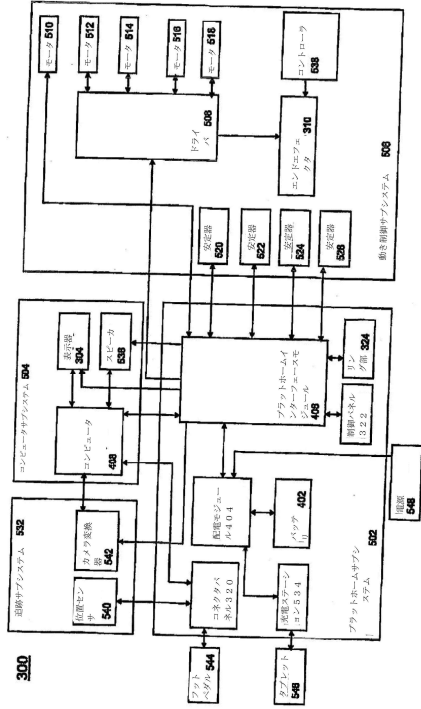
20

30

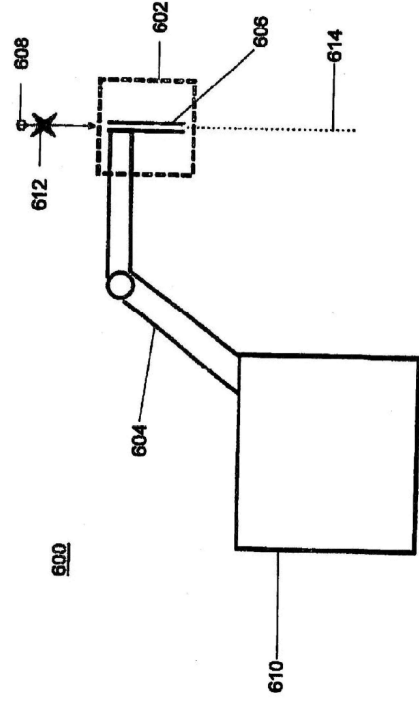
40

50

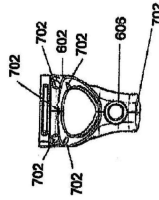
【 図 5 】



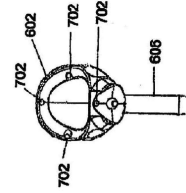
【 図 6 】



【 図 7 A 】



【 図 7 B 】



10

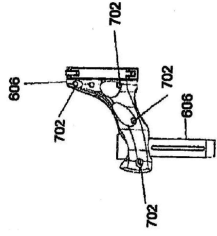
20

30

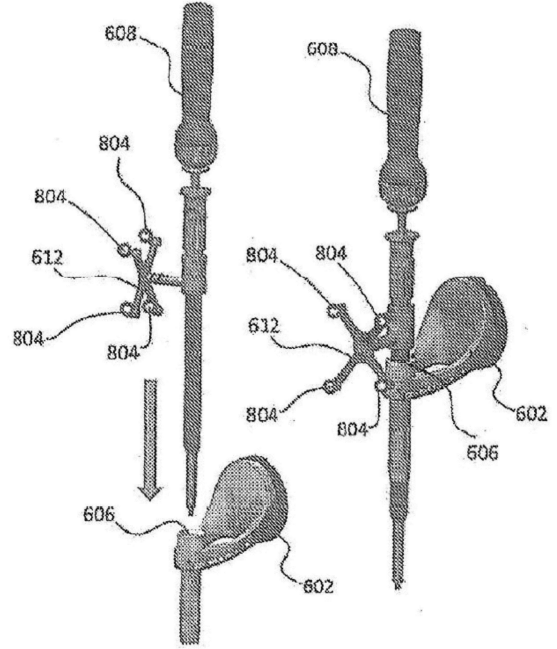
40

50

【 7 C 】



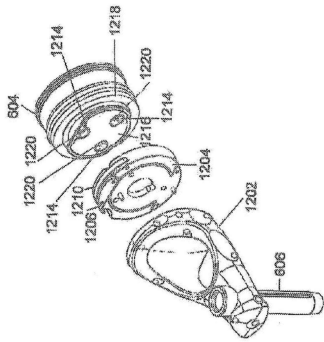
【 8 】



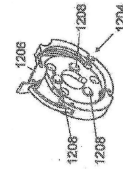
10

20

【 9 A 】



【 9 B 】

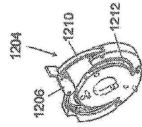


30

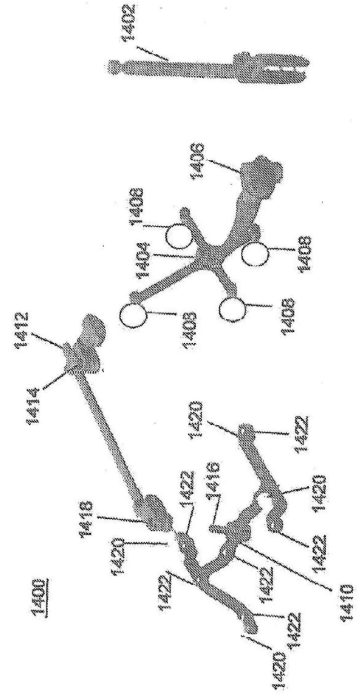
40

50

【図9C】



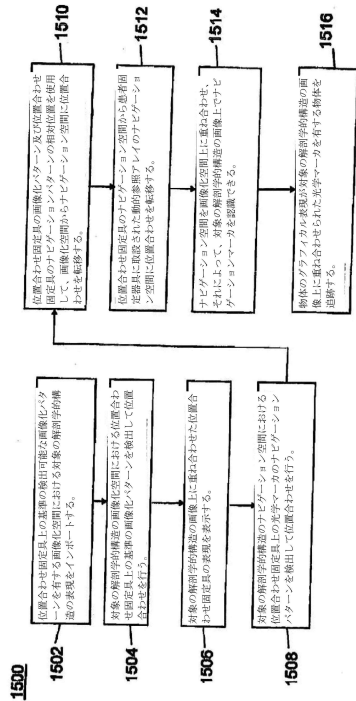
【図10】



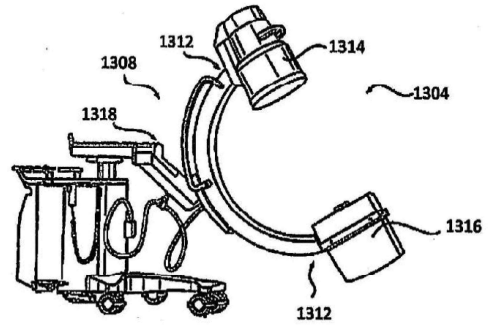
10

20

【図11】



【図12A】

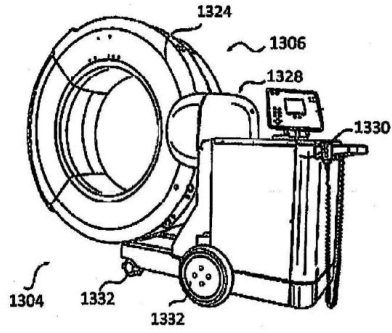


30

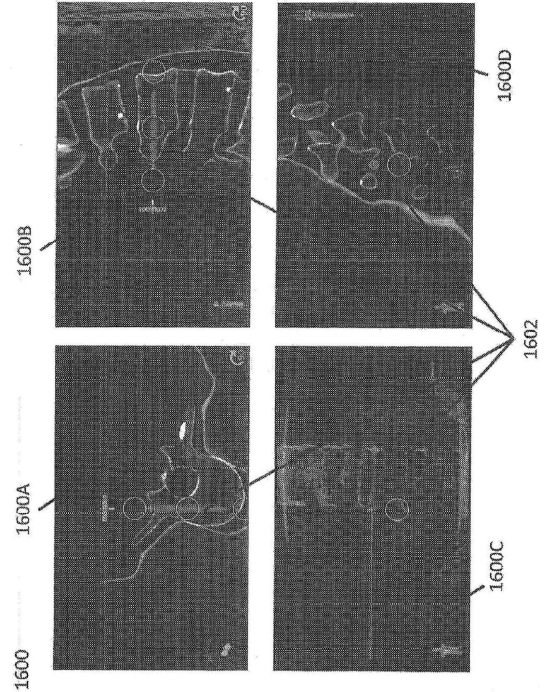
40

50

【図 1 2 B】



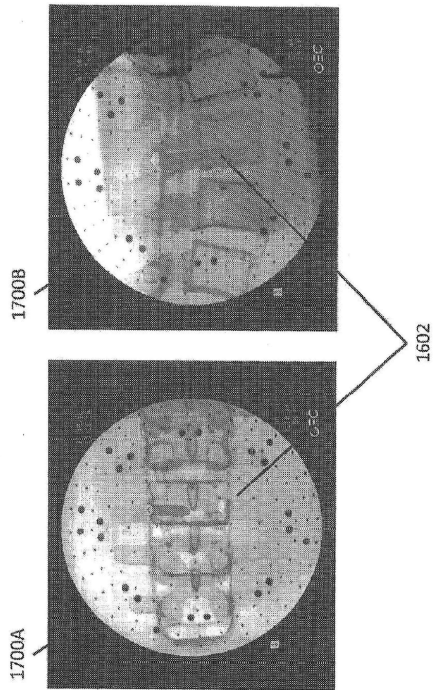
【図 1 3】



10

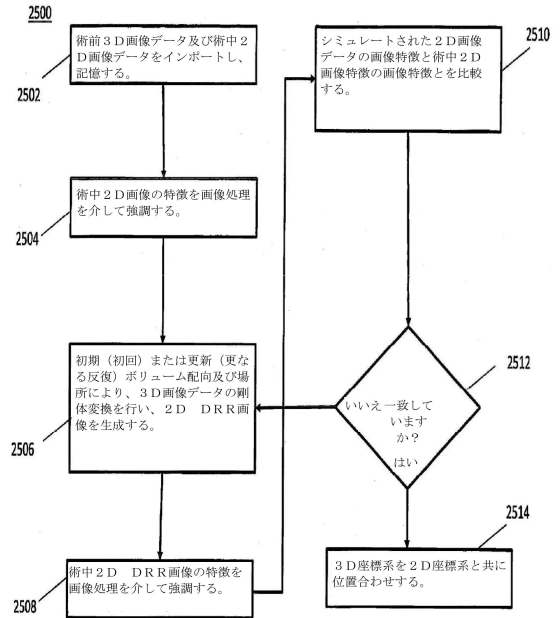
20

【図 1 4】



1700

【図 1 5】



30

40

フロントページの続き

- アメリカ合衆国, 8 5 2 2 4 アリゾナ州, チャンドラー, ウェスト パロミノ ドライブ 2 7 0 8
 (72)発明者 ジェフリー フォーサイス
 アメリカ合衆国, 0 2 9 2 1 ロードアイランド州, クランストン, ホープ ヒル テラス 9 6
 (72)発明者 ユアン チェン
 アメリカ合衆国, 0 1 8 1 0 マサチューセッツ州, アンドーヴァー, アップル プロッサム ロー
 ド 1 6
 (72)発明者 ジャワード モクタル
 アメリカ合衆国, 0 1 7 4 1 マサチューセッツ州, カーライル, イースト ライディング ドライ
 ブ 2 9 5
 審査官 中村 一雄
 (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 2 5 6 2 2 5 (U S , A 1)
 米国特許出願公開第 2 0 1 0 / 0 2 2 8 3 4 0 (U S , A 1)
 米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 0 5 1 6 4 7 (U S , A 1)
 米国特許出願公開第 2 0 0 4 / 0 2 1 5 0 7 1 (U S , A 1)
 独国特許出願公開第 1 0 2 0 1 2 2 1 5 0 0 1 (D E , A 1)
 (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
 A 6 1 B 3 4 / 2 0
 A 6 1 B 6 / 0 3
 A 6 1 B 3 4 / 1 0
 A 6 1 B 3 4 / 3 0