

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2013-516264

(P2013-516264A)

(43) 公表日 平成25年5月13日(2013.5.13)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
A 6 1 B 19/00 (2006.01)	A 6 1 B 19/00 5 0 2	
	A 6 1 B 19/00 5 0 6	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2012-547558 (P2012-547558) (86) (22) 出願日 平成22年11月17日 (2010.11.17) (85) 翻訳文提出日 平成24年7月5日 (2012.7.5) (86) 国際出願番号 PCT/IB2010/055245 (87) 国際公開番号 W02011/083374 (87) 国際公開日 平成23年7月14日 (2011.7.14) (31) 優先権主張番号 61/293, 222 (32) 優先日 平成22年1月8日 (2010.1.8) (33) 優先権主張国 米国 (US)	(71) 出願人 590000248 コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ ヴィ オランダ国 5 6 2 1 ベーアー アイン ドーフェン フルーネヴァウツウェッハ 1 (74) 代理人 100107766 弁理士 伊東 忠重 (74) 代理人 100070150 弁理士 伊東 忠彦 (74) 代理人 100091214 弁理士 大貫 進介
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リアルタイム速度最適化を使用した校正不要のビジュアルサーボ

(57) 【要約】

光学的視野をもったカメラと先端効果器および先端効果器を巧みに操作するための一つまたはそれ以上の関節をもったロボットのためのロボットコントロール方法である。本ロボットコントロール方法は、カメラによって光学的に捉えられた画像のデジタルビデオフレームを取り込み、デジタルビデオフレームにおける画像特徴に関して先端効果器の姿勢をコントロールするためのビジュアルサーボを実行する。ビジュアルサーボは、デジタルビデオフレームの画像座標系において、追跡ポイントから画像特徴に関する目標ポイントへ延びる追跡ベクトルを特定し、また、先端効果器に関するロボット座標系から構築された構成空間における追跡ベクトルをマッピングし、そして、構成空間における追跡ベクトルのマッピングからロボット座標系における先端効果器の姿勢を導く。

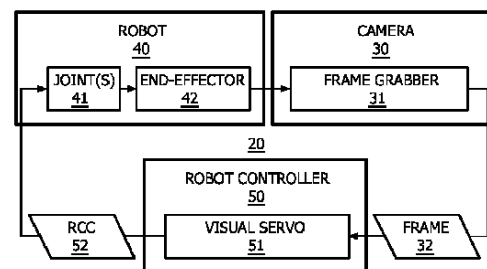


FIG. 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ロボットシステムであって：

画像を示す一連のデジタルビデオフレームを取り込むための光学的視野を有するカメラと；

先端効果器および該先端効果器を巧みに操作するための少なくとも一つのロボット関節を有するロボットと；

前記カメラおよび前記ロボットと通信するロボットコントローラーであり、該ロボットコントローラーは、それぞれのデジタルビデオフレームにおける画像特徴に関して前記先端効果器の姿勢をコントロールするためのビジュアルサーボを含んだロボットコントローラーと；

10

を有し、

前記ビジュアルサーボは、

それぞれのデジタルビデオフレームのために、追跡ポイントから画像特徴に関する目標ポイントへ延びる、前記デジタルビデオフレームにおける追跡ベクトルを特定するように動作可能であり、

前記先端効果器に関するロボット座標系から構築された構成空間における追跡ベクトルをマップし、

前記構成空間における追跡ベクトルのマッピングから前記ロボット座標系における前記先端効果器の姿勢を得る、

20

ことを特徴とするロボットシステム

【請求項 2】

前記カメラは、前記先端効果器に搭載された内視鏡である、

請求項 1 に記載のロボットシステム。

【請求項 3】

前記ビジュアルサーボは、さらに、前記デジタルビデオフレームにおける、あらゆる前記画像特徴の動きを追跡するように動作可能である、

請求項 1 に記載のロボットシステム。

【請求項 4】

前記ビジュアルサーボは、さらに、前記先端効果器の少なくとも一つの得られた姿勢のための少なくとも一つのロボット関節の動きを命令するように動作可能である、

30

請求項 1 に記載のロボットシステム。

【請求項 5】

追跡ベクトルを特定することが、前記画像座標系において、追跡方向を含んだ追跡速度と、前記追跡ベクトルの追跡速度を設定することである、

請求項 1 に記載のロボットシステム。

【請求項 6】

前記構成空間において現在マップされた追跡ベクトルの追跡方向は、前記構成空間において以前にマップされた少なくとも二つの追跡ベクトルの間での、指定された回数の連続的な方向の変化に応じて、前記構成空間の少なくとも二つの象元の間で回転している、

40

請求項 5 に記載のロボットシステム。

【請求項 7】

前記追跡ベクトルの追跡速度は、前記構成空間でマップされたように、連続したサンプルデジタルビデオフレームの前記画像特徴の動きの程度に応じて、速度ファクターによって調整される、

請求項 5 に記載のロボットシステム。

【請求項 8】

前記速度ファクターは、前記追跡ベクトルの追跡待ち時間と前記ロボットシステムのアプリケーションに応じた速度のうち、少なくとも一つについての関数である、

請求項 7 に記載のロボットシステム。

50

【請求項 9】

前記追跡ベクトルの追跡速度は、前記構成空間でマップされたように、前記追跡ポイントと前記目標ポイントとの間の距離に応じて、長さファクターによって調整される、
請求項 5 に記載のロボットシステム。

【請求項 10】

前記長さファクターは、比例制御、積分制御、微分制御の、少なくとも一つの関数である、

請求項 9 に記載のロボットシステム。

【請求項 11】

前記ロボット構成空間は、リモート回転中心に関する軸に対して前記カメラの回転を表
わす、

請求項 1 に記載のロボットシステム。

【請求項 12】

前記ロボット構成空間は、前記カメラがリモート回転中心に関する前記軸に対しての回
転するにつれて、プローブと前記画像特徴の特定により確立された、

請求項 11 に記載のロボットシステム。

【請求項 13】

光学的視野を有するカメラと、先端効果器および該先端効果器を巧みに操縦するための
少なくとも一つの関節を有するロボット、のためのビジュアルサーボであって、

前記ビジュアルサーボは；

デジタルビデオフレームにおける画像特徴のあらゆる動きを追跡するための、特徴追跡
モジュール；および

前記デジタルビデオフレームの画像座標系において、追跡ポイントから前記画像特徴に
関する目標ポイントへ延びる追跡ベクトルを特定し、

前記先端効果器に関するロボット座標系から構築された構成空間において前記追跡ベク
トルをマッピングし、かつ

前記構成空間における前記追跡ベクトルのマッピングから前記ロボット座標系における前
記先端効果器の姿勢を得る、

前記特徴追跡モジュールに対応する方向決定モジュール；

を有することを特徴とするビジュアルサーボ。

【請求項 14】

前記ビジュアルサーボは、さらに；

少なくとも一つの前記先端効果器の得られた姿勢のための少なくとも一つのロボット関
節の動作を命令する、

前記方向決定モジュールに対応する逆運動学モジュール、

を有する

請求項 13 に記載のビジュアルサーボ。

【請求項 15】

前記カメラは、前記先端効果器に搭載された内視鏡である、

請求項 13 に記載のビジュアルサーボ。

【請求項 16】

光学的視野を有するカメラと、先端効果器および該先端効果器を巧みに操縦するための
少なくとも一つの関節を有するロボットと、を含むロボットコントロール方法であって、

前記ロボットコントロール方法は；

前記カメラによって光学的に視られたように画像を示す連続したデジタルビデオフレ
ームを獲得すること；および

それぞれのデジタルビデオフレームにおける画像特徴に関して先端効果器の姿勢をコン
トロールするためのビジュアルサーボを実行すること、

を含み、

それぞれのデジタルビデオフレームのための前記ビジュアルサーボは；

10

20

30

40

50

前記デジタルビデオフレームの画像座標系において、追跡ポイントから前記画像特徴に関する目標ポイントへ延びる追跡ベクトルを特定すること、

前記先端効果器に関するロボット座標系から構築された構成空間において前記追跡ベクトルをマッピングすること、および

前記構成空間における前記追跡ベクトルのマッピングから前記ロボット座標系における前記先端効果器の姿勢を得ること、

を含む、

ことを特徴とするロボットコントロール方法。

【請求項 17】

前記ロボットコントロール方法は、さらに、

前記デジタルビデオフレームにおける前記画像特徴のあらゆる動きを追跡すること、を含む、

請求項 16 に記載のロボットコントロール方法。

【請求項 18】

前記ロボットコントロール方法は、さらに、

少なくとも一つの前記先端効果器の得られた姿勢のための少なくとも一つのロボット関節の動作を命令すること、

を含む、

請求項 16 に記載のロボットコントロール方法。

【請求項 19】

追跡ベクトルを特定することが、前記画像座標系において、追跡方向を含んだ追跡速度と、前記追跡ベクトルの追跡速度を設定すること、

を含む、

請求項 16 に記載のロボットコントロール方法。

【請求項 20】

前記ロボット構成空間は、リモート回転中心に関する軸に対する前記カメラの回転を表わす、

請求項 16 に記載のロボットコントロール方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般的には、ロボットプロセスにおけるロボットのビジュアルサーボに関する。特に、本発明は、低侵襲手術 (minimally invasive surgery) における内視鏡ロボットのビジュアルサーボに関するものである。

【背景技術】

【0002】

一般的に、低侵襲手術は、画像処理能力を有する、長くて、フレキシブルな、もしくはリジッド (rigid) な内視鏡を利用している。内視鏡を身体 of 自然開口部または小さな切り口から体内に挿入することにより、内視鏡は、外科医が手術を行う際に、アイピースを通して、もしくはスクリーン上で観察できる、興味部位の映像を提供する。

【0003】

ビジュアルサーボとは、ビジュアル入力 (画像入力) を使用してロボットの動作パラメータを設定する、ロボットの制御方法である。この方法は、目標追従型ロボットや、自律型ロボットについて、使用されている。外科手術用のロボットにおいて、ビジュアルサーボは、解剖学上の対象 (例えば、臓器) または外科的な対象 (例えば、器官) に向かってロボットを案内するように、医学的画像のコントロールループにおいて使用されている。この領域におけるビジュアルサーボの標準的な画像のモダリティ (modality) は、リジッドな内視鏡である。内視鏡のカメラ映像は、ロボットコントロールループに接続され、捜査情報を提供している。

【0004】

ビジュアルサーボのコントロールループを閉じるためには、画像座標 (visual coordinate) とロボット関節空間 (robotic joint space) との間の数学的変換を確立する必要がある (イメージャコピアン: Image Jacobian として参照される)。プロセス全体は、システム校正 (system calibration) として参照され、カメラ校正やロボット校正といった、種々の段階が必要とされる。さらには、完全な校正を提供するには、カメラと臓器や検討中の対象物との間の深さを、画像の側、もしくは特別なセンサーを使用した側、のどちらかから測定する必要がある。

【0005】

より特定的には、カメラ校正とは、例えば、画像の光学的中心とか、方向およびピクセルサイズの両方における焦点距離といった、固有のカメラパラメータを確立するプロセスである。通常これは、操作前に行われるもので、校正対象物 (通常は、チェス盤のようなもの) のいくつかの画像の獲得と、これらの画像からのパラメータの算出を含んでいる。もし、いくつかのパラメータが、手術の最中に変更になれば (例えば、カメラの焦点が変化する) カメラ校正を繰り返す必要がある。

10

【0006】

ロボット校正とは、ロボットの関節空間と先端効果器 (end-effector)、つまり、この領域においては内視鏡、との間の数学的な関係を確立するプロセスである。このプロセスは、簡単なプロセスであり、実際にもうまく確立されている。しかしながら、通常は、校正を実行するためには技術的なエキスパートを必要とする。もし、ユーザーまたは外科医が、ロボットに対して内視鏡を移動したならば、ロボット校正を繰り返す必要がある。

20

【0007】

特に内視鏡手術について、医療用ロボットのビジュアルサーボを解決するための異なった手法が提案されてきている、しかしながら、これらの全ての手法は、画像ヤコビアンに依存しており、当業者者にとって知られるように、多くの欠点を経験する

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、画像ヤコビアン、もしくは内視鏡画像からの深さ認識に依存しない、ビジュアルサーボ技術を提供する。より特定的には、本発明に係るビジュアルサーボ技術は、内視鏡の校正、もしくはロボットに対する内視鏡の相対的な位置の獲得、をする必要のない内視鏡を有するロボットを含んでいる。本発明に係るビジュアルサーボ技術は、さらに、ハードウェアのいかなる調整もなく、そして手術ワークフローにプロセスを追加することもなく、一般的な内視鏡と共に使用されるロボットシステムを実現する。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一つの形態は、カメラ (例えば、内視鏡) と、ロボットと、ロボットコントローラーを有するロボットシステムである。カメラは、イメージを説明するデジタルのビデオフレームを獲得するための光学的視野 (例えば、前方または斜め方向) を有している。ロボットは、先端効果器を有しており、先端効果器を巧みに操縦するための一つまたはそれ以上の関節を有している。ロボットコントローラーは、デジタルビデオフレームの中の画像特徴 (image feature) に対する先端効果器の姿勢をコントロールするためのビジュアルサーボを含んでいる。こうして、ビジュアルサーボは、追跡ポイント (tracking point) から画像特徴に因んだ目標ポイント (target point) へ延びる、デジタルビデオフレームの画像座標系における追跡ベクトル (tracking vector) を定め、先端効果器に因んだロボット座標系から組み立てられた構成空間 (configuration space) における追跡ベクトルをマップ (map) し、そして構成空間における追跡ベクトルのマップからロボット座標系における先端効果器の姿勢を得る。

40

50

【 0 0 1 0 】

本発明の第二の形態は、光学的視野を有するカメラと、先端効果器と先端効果器を巧みに操縦するための一つまたはそれ以上の関節を持ったロボットと、を含んだロボットコントロール方法である。ロボットコントロール方法は、カメラによって光学的に視認されたものとして画像を説明しているデジタルビデオフレームを獲得することを含み、デジタルビデオフレームにける画像特徴に関する先端効果器の姿勢をコントロールするためのビジュアルサーボの実行を含む。ビジュアルサーボは、追跡ポイントから画像特徴に因んだ目標ポイントへ延びる、デジタルビデオフレームの画像座標系における追跡ベクトルを定めること、先端効果器に因んだロボット座標系から組み立てられた構成空間における追跡ベクトルをマップすること、そして構成空間における追跡ベクトルのマップからロボット座標系における先端効果器の姿勢を得ること、を含んでいる。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】図 1 は、本発明に従って、ロボットシステムの典型的な実施例を示している。

【図 2】図 2 は、本発明に従って、ロボットコントロールループの典型的な実施例を示している。

【図 3】図 3 は、図 2 に示すロボットコントロールループに従って、デジタルビデオフレームの典型的なシーケンスを示している。

【図 4】図 4 は、図 2 に示すロボットコントロールループに従って、デジタルビデオフレームの典型的なシーケンスを示している。

20

【図 5】図 5 は、図 2 に示すロボットコントロールループに従って、デジタルビデオフレームの典型的なシーケンスを示している。

【図 6】図 6 は、図 2 に示すロボットコントロールループに従って、デジタルビデオフレームの典型的なシーケンスを示している。

【図 7】図 7 は、本発明に従って、ロボットコントロール方法の典型的な実施例を表すフローチャートを示している。

【図 8】図 8 は、本発明に従って、方向設定方法の典型的な実施例を表すフローチャートを示している。

【図 9】図 9 は、図 8 に示すフローチャートに従って、先端効果器の姿勢を決定する第一の典型的なシーケンスを示している。

30

【図 10】図 10 は、図 8 に示すフローチャートに従って、先端効果器の姿勢を決定する第一の典型的なシーケンスを示している。

【図 11】図 11 は、図 8 に示すフローチャートに従って、先端効果器の姿勢を決定する第一の典型的なシーケンスを示している。

【図 12】図 12 は、図 8 に示すフローチャートに従って、先端効果器の姿勢を決定する第二の典型的なシーケンスを示している。

【図 13】図 13 は、図 8 に示すフローチャートに従って、先端効果器の姿勢を決定する第二の典型的なシーケンスを示している。

【図 14】図 14 は、図 8 に示すフローチャートに従って、先端効果器の姿勢を決定する第二の典型的なシーケンスを示している。

40

【図 15】図 15 は、本発明に従って、光学的ビジュアルサーボ方法の第一の典型的な実施例を表すフローチャートを示している。

【図 16】図 16 は、本発明に従って、光学的ビジュアルサーボ方法の第二の典型的な実施例を表すフローチャートを示している。

【図 17】図 17 は、本発明に従って、速度ファクターの典型的な安定化について示している。

【図 18】図 18 は、本発明に従って、スピード調整方法の典型的な実施例を表すフローチャートを示している。

【図 19】図 19 は、本発明に従って、方向調整方法の典型的な実施例を表すフローチャートを示している。

50

【図 20】図 20 は、本発明に従って、目標プローブ方法の典型的な実施例を表すフローチャートを示している。

【発明を実施するための形態】

【0012】

図 1 に示すように、ロボットシステム 20 は、カメラ 30 と、ロボット 40 と、ロボット 40 の自動操縦機能を含むあらゆるロボット工程のためのロボットコントローラー 50 を有している。このようなロボット工程の例としては、これらに限定されるわけではないが、医療工程、組立ライン工程、そして可動性ロボットを含んだ工程、がある。特に、ロボットシステム 20 は、これらに限定されるわけではないが、低侵襲心臓手術（例えば、冠状動脈バイパス移植または左房室弁交換）、低侵襲腹部手術（腹腔鏡検査）（例えば、前立腺摘出手術または胆嚢切除手術）、および経管腔的内視鏡手術（natural orifice transluminal endoscopic surgery）を含む医療工程のために利用されている。

10

【0013】

カメラ 30 は、前方の光学的視野もしくは斜め方向の光学的視野を持ち、規定のフレームレート（例えば、毎秒 30 フレーム）で連続した 2 次元のデジタルビデオフレーム 32 を取り込むことができる、あらゆるタイプのフレーム取り込み装置を備えた、あらゆるタイプのカメラであり得る。一つの典型的な実施例において、カメラ 30 は、画像装置（例えば、光ファイバー、レンズ、CCD ベースの小型画像システム、など）を介して、体の（例えば、人間でも動物でも）解剖学的部位の画像を取るために構成されたあらゆる装置であるとして、ここにおいて広く定義された内視鏡である。画像装置は、前方の光学的視野もしくは斜め方向の光学的視野を有しており、それぞれのデジタルビデオフレーム 32 をロボットコントローラー 50 に提供することができるデジタルフレーム取り込み装置を備えている。内視鏡の例としては、これらに限定されるわけではないが、あらゆるタイプの画像スコープ（例えば、気管支鏡、大腸内視鏡、腹腔鏡、関節鏡、など）および画像装置に備え付けのスコープに類似したあらゆる装置（例えば、画像用カニューレ）を含んでいる。

20

【0014】

ロボット 40 は、特定のロボット工程のために要求されるように、ロボット 40 の先端効果器 42 を巧みに操縦するための一つまたはそれ以上の関節 41 をモーターでコントロールするように構成された、あらゆるロボット装置であるとして、ここでは広く定義される。実際問題として、ロボット 40 は、最低限 4 次の自由度を有し、望ましくは、6 次もしくは 7 次の自由度を有し得る。

30

【0015】

先端効果器 42 の姿勢は、ロボット 40 の座標系における先端効果器 42 の位置と方向のことであり、先端効果器 42 の姿勢が与えられると、ロボット 40 の座標系におけるカメラ 40 の光学的視野の姿勢が定まる。このように、カメラ 40 は、先端効果器 42 に取り付けられ得る（例えば、医療工程において、体の解剖学的部位の画像を提供するためにロボット 40 に取り付けられた内視鏡）。

40

【0016】

前方の光学的視野をもったカメラ 30 を備えたロボット 40 の実施例として、ロボット 40 は、カメラ 30 のあらゆる仮の向きを許容することができる（例えば、カメラ 30 の長手方向の軸に関して、カメラ 30 を手動で回転させる内部操作）。斜め方向の光学的視野をもったカメラ 30 を備えたロボット 40 の実施例として、ロボット 40 は、カメラ 30 の長手方向の軸に関してカメラ 30 を回転するための特定の関節を持つことができる。

【0017】

ロボットコントローラー 50 は、先端効果器 42 の望ましい姿勢を達成するために必要な、それぞれのロボット関節 41 の最終的な動作を命令することにより、特定のロボット工程のために必要とされるように先端効果器 42 の姿勢をコントロールするために、一つまたはそれ以上のロボットコントロール命令（Robot Control Command）

50

nd : R C C) をロボット 4 0 に与えるように構成された、あらゆるコントロールであるとして、ここでは広く定義される。

【 0 0 1 8 】

例えば、内視鏡の先端効果器 4 2 に取り付けられたカメラ 3 0 と共に、ロボットコントロール命令は、必要に応じて一つまたはそれ以上のロボット関節 4 1 を動作させることができる。外科医に一貫した先端部の画像を提供するように、内視鏡によって外科手術用ツールの機器先端部の追跡を促進するために必要であり、心臓病手術における血管といった特定の解剖学的部位に向かって内視鏡を操縦するために必要であり、もしくは臓器の解剖学的視野に係る安定した画像を提供するように、内視鏡と臓器を生理的に同時に移動するために必要である。

10

【 0 0 1 9 】

デジタルビデオフレーム 3 2 における画像の特徴をロボット追跡 (r o b o t i c t r a c k i n g) するために、ロボットコントローラ 5 0 は、それぞれのデジタルビデオフレーム 3 2 における画像の特徴に関する先端効果器 4 2 の姿勢をコントロールするためのビジュアルサーボ 5 1 を有する。特に、ビジュアルサーボ 5 1 は、デジタルビデオフレーム 3 2 における特定の画像特徴の決定された目標ポイント (例えば、一つまたはそれ以上のピクセル) に係る静的な (s t a t i c) 、もしくは動的な (d y n a m i c) ロボット追跡を備えている。ロボット追跡は、デジタルビデオフレーム 3 2 における、追跡ポイント (例えば、一つまたはそれ以上のピクセル) から目標ポイントまで延びる追跡ベクトルを自動的に特定する適応性のある (a d a p t i v e) アルゴリズムを実行することによる。

20

【 0 0 2 0 】

このようにして、図 2 に示すように、ビジュアルサーボ 5 1 は、特徴追跡工程 5 3 、方向設定工程 5 5 、および逆運動学工程 5 7 を、ロボットコントロールのクローズドループにおいて、フレーム取り込み装置 3 1 に備えられた画像取り込み工程 3 3 とロボット関節 4 1 のコントロールされた動作 4 3 と共に、有している。実際には、工程 5 3 、5 5 および 5 7 は、あらゆるプラットフォーム (例えば、一般的なコンピューター、A S I C ボード、など) に取り込まれた、ハードウェア、ソフトウェア、及び / 又はファームウェアにより実現されるビジュアルサーボ 5 1 (図示なし) のモジュールによって実行され得る。

30

【 0 0 2 1 】

図 2 において、特徴追跡工程 5 3 は、従来技術として知られているように、デジタルビデオフレームにおける特定のイメージフレームの目標ポイントを特定するために、それぞれにデジタルイメージフレームを個別に処理することが含まれている。例えば、図 3 から図 6 は、4 つのデジタルイメージフレーム 3 2 について、黒字の X としてシンボル化された特定の画像特徴の目標ポイント T G を示している。この図 3 から図 6 の例においては、特定の特徴とは、外科医に一貫した先端部の画像を提供する内視鏡であるカメラ 3 0 を伴う外科手術用ツールの機器先端部であり得るし、もしくは、特定の特征とは、血管または臓器といった、特定の解剖学的特徴の限定的な部位であり得る。

【 0 0 2 2 】

再び図 2 であるが、特徴追跡工程 5 3 は、それぞれのデジタルイメージフレーム 3 2 における目標ポイントの追跡された移動を示す 2 次元の画像データ (2 D I D) 5 4 を生成する。次に、方向設定工程 5 5 は、それぞれのデジタルイメージフレーム 3 2 について、追跡ポイントから目標ポイントに延びる追跡ベクトル (例えば、追跡方向と追跡速度) を特定するために 2 D (2 次元) データ 5 4 を処理する。追跡ベクトルの特定では、追跡ポイントから目標ポイントに延びる固定の追跡方向を設定し、追跡速度を設定する。追跡速度も固定され得るか、代替的には追跡ポイントの追跡を最適化するために調整され得る。あらゆる大きさの、もしくは最小の大きさの追跡ベクトルをもった、それぞれのデジタルビデオフレーム 3 2 について、方向設定工程 5 5 は、デジタルビデオフレーム 3 2 における画像特徴に関してロボット 4 0 の先端効果器 4 2 の望ましい姿勢を示す 3 次元のロボットデータ (3 D R D) 5 6 を生成する。逆運動学工程 5 7 は、従来技術として知られてい

40

50

るように、デジタルビデオフレーム 3 2 における画像特徴に関して先端効果器 4 2 の望ましい姿勢を達成するように、ロボット関節 4 1 の適切な関節動作 4 3 のために必要な一つまたはそれ以上のロボットコントロールコマンド 5 2 を生成するために、3 D (3 次元) データ 5 6 を処理する。

【 0 0 2 3 】

例えば、図 3 から図 6 は、白抜きの X としてシンボル化された追跡ポイント T R から目標ポイント T G まで延びる追跡ベクトルの特定について図示している。特に、図 3 は、追跡ポイント T R において初期化された目標ポイントを有するデジタルビデオフレーム 3 2 (1) を示している。図 4 に示すように、デジタルビデオフレーム 3 2 (2) において目標ポイント T G が追跡ポイント T R から離れて動くと、方向設定工程 5 5 は、追跡ポイント T R から目標ポイント T G に向かう矢印によってシンボル化された追跡ベクトルを特定する。追跡ベクトルを特定することにより、方向設定工程 5 5 は、デジタルビデオフレーム 3 2 (3) の目標ポイント T G の方向に、デジタルビデオフレーム 3 2 (2) における追跡ポイント T R を動かすための追跡方向を設定する。そして、デジタルビデオフレーム 3 2 (2) における画像特徴に関するロボット 4 0 の先端効果器 4 2 の望ましい姿勢を決定するために、追跡方向と追跡ベクトルの追跡速度を利用する。次に、逆運動学工程 5 7 は、デジタルビデオフレーム 3 2 (2) における画像特徴に関する先端効果器 4 2 の望ましい姿勢を達成するように、ロボット関節 4 1 の適切な関節動作 4 3 のために必要なロボットコントロールコマンド 5 2 を生成する。

【 0 0 2 4 】

図 5 に示すように、デジタルビデオフレーム 3 2 (3) では、追跡ポイント T R は目標ポイント T G の方向に動いているが、目標ポイント T G は、まだ追跡ポイント T R から離れている。方向設定工程 5 5 は、再び、追跡ポイント T R から目標ポイント T G に向かう矢印によってシンボル化された追跡ベクトルを特定する。追跡ベクトルを特定することにより、方向設定工程 5 5 は、デジタルビデオフレーム 3 2 (5) (図示なし) の目標ポイント T G の方向に、デジタルビデオフレーム 3 2 (4) における追跡ポイント T R を動かすための追跡方向を設定する。そして、デジタルビデオフレーム 3 2 (3) における画像特徴に関するロボット 4 0 の先端効果器 4 2 の望ましい姿勢を決定するために、追跡方向と追跡ベクトルの追跡速度を利用する。再び、逆運動学工程 5 7 は、デジタルビデオフレーム 3 2 (4) における画像特徴に関する先端効果器 4 2 の望ましい姿勢を達成するように、ロボット関節 4 1 の適切な関節動作 4 3 のために必要なロボットコントロールコマンド 5 2 を生成する。

【 0 0 2 5 】

図 6 に示すように、デジタルビデオフレーム 3 2 (4) では、追跡ポイント T R と目標ポイント T G は、再び一致している。このように、デジタルビデオフレーム 3 2 (4) の追跡ベクトルはゼロであり、ロボットコントローラ 5 0 は、ロボット関節 4 1 を固定状態に維持する。こうした時間連続的なデジタルビデオフレーム 3 2 がゼロでない追跡ベクトルを示すか、もしくは追跡ベクトルが追跡ポイントと目標ポイントの間の最小値となる、までの時間維持する。

【 0 0 2 6 】

ここでの図 1 から図 6 の記載は、ビジュアルサーボ 5 1 の一般的な理解を促進させる。後続の図 8 から図 1 6 に示すビジュアルサーボ 5 1 の典型的な実施例は、より詳細なビジュアルサーボ 5 1 の理解を促進させる。特に、図 1 5 および図 1 6 のビジュアルサーボ方法については、追跡速度は、必要に応じてそれぞれのビデオフレームにおいて調節されるか、もしくは最適な追跡速度に固定されるまで、あらゆる特定のフレームレートである。

【 0 0 2 7 】

図 7 は、ビジュアルサーボ 5 1 のためにロボットシステム 2 0 (図 1) によって実行されるロボットコントロールの代表的なフローチャート 6 0 を示している。特に、フローチャート 6 0 は、ロボット校正ステージ S 6 1 と、ビジュアルサーボステージ S 6 3 のために事前に必要なものとして目標初期化ステージ S 6 2 を含んでいる。実際問題として、ス

10

20

30

40

50

ページ S 6 1 の初期導入にあたり、当業者にとっては理解されるであろうように、追跡されるべき新たな画像特徴のために、ステージ S 6 2 とステージ S 6 3 だけが実行される必要がある。

【 0 0 2 8 】

ステージ S 6 1 は、従来技術として知られているように、ロボット 4 0 の関節空間と先端効果器 4 2 の間の数学的な関係を確立することを含んだロボット 4 0 のロボット校正を包含している。

【 0 0 2 9 】

ステージ S 6 2 は、従来技術として知られているように、デジタルビデオフレーム 3 2 において特定の画像特徴の目標初期化を包含している。ステージ S 6 2 の一つの典型的な実施例においては、特定の環境におけるカメラ 3 0 の鉛直方向の動き（挿入）は、システム 2 0 のユーザーにより設定可能なパラメーターであり、それゆえビジュアルサーボ 5 1 による自動的なコントロールを超えたものである。このように、環境の中にカメラ 3 0 を挿入した後において、ビジュアルサーボ 5 1 によるロボット 4 0 の自動的なコントロールは、先端効果器 4 2 の二次の自由度を持って実行され得る。二次の自由度は、ロボット 4 0 のための 2 次元的な球形キャップ（spherical cap）を定義するための、シータ角度 とファイ角度 を含んでいる。このことは、環境の中にカメラ 3 0 を挿入する際にロボット 4 0 の仮想リモート回転中心（remote-center-of-rotation: RCM）を確立することを含み得る。仮想 RCM は、ロボット 4 0 のための球状円錐（spherical conic）な作業空間を定義している特定の回転軸まわりのロボット 4 0 の動きを固定する（例えば、低侵襲外科手術において患者の体の小さな開口部を通して内視鏡を挿入したポイントである）。球状円錐な作業空間は、当業者にとっては理解されるであろうように、シータ角度 とファイ角度 に基づいて、2 次元の球形キャップに変換される。

10

20

【 0 0 3 0 】

カメラ 3 0 が内視鏡であるロボットコントローラー 5 0 での RCM の実施例としては、内視鏡に関する RCM ポイントは以下により定義される。（１）内視鏡の先端から固定の距離にある内視鏡のシャフトに沿って配置されたマーカーを利用することによるもの、（２）コンピュータプログラムを介した RCM ポイントと内視鏡の先端との間の距離のユーザーズペックによるもの、（３）内視鏡の先端を望ましい挿入ポイントに位置決めした後で RCM として挿入ポイントを設定し、望ましい深さまで内視鏡を挿入することによるもの、もしくは（４）ロボット 4 0 に関する空間における既定のポイントを利用し、既定のポイントが望ましい挿入ポイントと一致するようにロボット 4 0 を位置決めすることによるもの、である。

30

【 0 0 3 1 】

実際問題として、RCM に基づくロボット 4 0 の動きは、フローチャート 6 0 のステージ S 6 3 のビジュアルサーボのためにロボットコントローラー 5 0 によって実行される典型的な動作モードであろう。代替的には、ロボットコントローラー 5 0 は、カメラ 4 0 のための球状円錐な作業空間を定義するステージ S 6 3 のビジュアルサーボのために、カメラ 4 0 を初期的に位置決めし得る。あらゆる動作モード（RCM でも、そうでなくても）のために、ステージ S 6 3 は、図 2 に関連して前述したように、特徴追跡工程 5 3 と逆運動学工程 5 7 を含んだビジュアルサーボを包含し、図 8 から図 1 6 に示すように、方向付け工程の典型的な実施例を含む。

40

【 0 0 3 2 】

特に、図 8 は、本発明の方向設定方法を表わすフローチャート 7 0 を示している。フローチャート 7 0 の理解を促進するために、先端効果器 4 2 は内視鏡の先端効果器 9 3 で表わされる。一つの実施例においては、内視鏡の先端効果器 9 3 は、従来技術として知られたあらゆる手段によってロボット 4 0 に接続された近位端（proximal end）を有する内視鏡である。

【 0 0 3 3 】

50

図 8 において、フローチャート 70 のステージ S 7 1 は、それぞれのデジタルビデオフレーム 3 2 の 2 次元の画像座標系 8 0 を、3 次元であり、2 次の自由度を持つロボット 4 0 のロボット座標系 9 0 にマップすること (mapping) を包含している。ステージ S 7 1 に示すように一つの実施例においては、画像座標系 8 0 は、x 軸と y 軸を有しており、ロボット座標系 9 0 は、ピボットポイント 9 1 (例えば、仮想 RCM) から、内視鏡の先端効果器 9 3 がピボットポイント 9 1 に関して一回転することで輪郭付けされる 2 次元平面 9 2 へ延びる破線によってシンボル化された軸を有する球形キャップである。実際問題として、ピボットポイント 9 1 と内視鏡の先端効果器 9 3 の末端との距離は知られており、シータ角度 θ は、平面 9 2 の表面に沿ったオリジンポイント (origin point) に関しての球面キャップの軸のまわりの、内視鏡の先端効果器 9 3 の末端の回転の程度を明確に数量化し、ファイ角度 ϕ は、内視鏡の先端効果器 9 3 の末端の、球面キャップの軸からの分離の程度を明確に数量化する。代替的には、実際問題として、ピボットポイント 9 1 と内視鏡の先端効果器 9 3 の末端との距離は知られており、シータ角度 θ は、平面 9 2 の表面に沿ったオリジンポイント (origin point) に関しての球面キャップの軸のまわりの、内視鏡の先端効果器 9 3 の末端の回転の程度を暗黙のうちに示しており、ファイ角度 ϕ は、内視鏡の先端効果器 9 3 の末端の、球面キャップの軸からの分離の程度を暗黙のうちに示している。

10

【0034】

フローチャート 70 のステージ S 7 2 は、ロボット座標系 9 0 によって定義されるようにシータ角度 θ とファイ角度 ϕ のとり得る範囲に関して、ロボット座標系 9 0 の 2 次元の構成空間 100 を構築することを包含している。実際問題として、構成空間の構築は、ロボット座標系 9 0 の平面 9 2 を、構成空間 100 としてはたらく 2 次元平面へ球面投影することを含んでいる。結果として生じる構成空間 100 は、二つの設定可能なパラメータに関する内視鏡の先端効果器 9 3 の先端の構成空間の全てを表わしている。

20

【0035】

フローチャート 70 のステージ S 7 3 は、画像座標系 8 0 における追跡ベクトルのマッピングに基づいて、構成空間 100 におけるロボットベクトルをマッピングすることを含んだロボット座標系 9 0 に関して内視鏡の先端効果器 9 3 の姿勢を決定することを包含している。特に、複数のデジタルビデオフレームを通して画像座標系 8 0 における画像の動きは、構成空間 100 においてマップされる。このマッピングは、以下の事実の観点で未知のスケールを伴う定性的なものである。すなわち、画像座標系 8 0 におけるピクセルでの位置 (暗黙的にミリメートル単位) は、構成空間 100 により表わされるように、ロボット座標系 9 0 において二つの角度 (ラジアン単位) で内視鏡の先端効果器 9 3 の姿勢に変換される。

30

【0036】

例えば、図 9 から図 11 に示すように三つのデジタルビデオフレームを通して、追跡ポイント (白抜きの X) の周りの円によって表わされる追跡ベクトル (vtr) の最小量を特定することは、追跡ベクトル (vtr) を構成空間 100 におけるロボットベクトル (vro b) としてマップすることを可能にする。マッピングのスケールが未知であるとしても、画像座標系 8 0 における目標ポイント TG の位置は、構成空間 100 により表わされるように、ロボット座標系 9 0 において二つの角度 (ラジアン単位) で内視鏡の先端効果器 9 3 の姿勢に変換される。このように、画像座標系 8 0 における追跡ベクトル (vtr k) の追跡方向は、ロボット座標系 9 0 におけるロボットベクトル (vro b) のロボット方向を決定する。次に、逆運動学によって、ロボット座標系 9 0 において内視鏡の先端効果器 9 3 の姿勢を達成するためにロボット関節 41 を動かすように処理される。

40

【0037】

さらなる例として、図 12 から図 14 に示すように三つのデジタルビデオフレームを通して、再び、追跡ベクトル (vtr) の最小量を特定することは、追跡ベクトル (vtr) を構成空間 100 におけるロボットベクトル (vro b) としてマップすることを可能にする。そしてまた、マッピングのスケールが未知であるとしても、画像座標系 8 0 にお

50

ける目標ポイントTGの位置は、構成空間100により表わされるように、ロボット座標系90において二つの角度（ラジアン単位）で内視鏡の先端効果器93の姿勢に変換される。このように、画像座標系80における追跡ベクトル（ v_{trk} ）の追跡方向は、ロボット座標系90におけるロボットベクトル（ v_{rob} ）のロボット方向を決定する。次に、逆運動学によって、ロボット座標系90において内視鏡の先端効果器93の姿勢を達成するためにロボット関節41を動かすように処理される。

【0038】

図9から図14では、上述のように、画像座標系80と構成空間100の間のマッピングスケールは未知である。このように、追跡ベクトル（ v_{trk} ）は正規化され（例えば、長さが1に設定される）、ロボットベクトル（ v_{rob} ）として構成空間100に変換される。ロボットベクトル（ v_{rob} ）に関するシータ角度 とファイ角度 の値は、与えられたロボットベクトル（ v_{rob} ）の方向におけるロボット変位の単位を定義する。実際問題として、ロボット40は、ロボット変位の単位がシータ角度 とファイ角度 の両方の方向において、ラジアン/秒 で定義されるロボット変位の単位によって、速度制御（ $velocity-control$ ）され得る。ロボットベクトル（ v_{rob} ）は正規化されているため、シータ角度 とファイ角度 の方向における速度は、1ラジアン/秒 以下となるべきである。しかしながら、他のパラメーター（例えば、デジタルビデオフレーム32での特徴の深さ、デジタルビデオフレーム32での追跡ポイントの相対スピード、など）によってはロボットベクトル（ v_{rob} ）の速度は、追跡ポイントTRが目標ポイントTGに到達するのに不十分であり得るし、もしくは追跡ポイントTRが目標ポイントTGをオーバーシュートしてしまうほど早くもあり得る。

【0039】

画像座標系80と構成空間100の間の未知のマッピングスケールを補償するために、図15のフローチャート110と図16のフローチャート120は、追跡ベクトルの追跡速度コンポーネントを最適化するための、ステージS73で実行され得る最適なビジュアルサーボ方法を表わしている。

【0040】

図15において、フローチャート110のステージS111は、速度ファクターの初期化と画像座標系での追跡ベクトル（ v_{trk} ）の特定を含んでいる。デジタルビデオフレーム32の二つの連続したサンプルフレームの間で、目標ポイントが追跡ポイントから動いたときはいつでもである。実際問題として、速度ファクターの初期値は、次元の無い経験上のあらゆる値であり得る（例えば、1以上でも1未満でも）。ステージS111は、さらに、追跡ベクトル（ v_{trk} ）と等しい参照ベクトル（ v_{ref} ）の初期化も含んでいる。

【0041】

フローチャート110のステージS112は、構成空間100における追跡ベクトル（ v_{trk} ）のマッピングを含んだ構成空間100におけるロボットベクトル（ v_{rob} ）の特定を含んでいる。ステージS112は、さらに、速度ファクター（ s ）とロボットベクトル（ v_{rob} ）の産物としての追跡ベクトルの設定を含んでおり、これにより速度ファクター（ s ）は、ロボットベクトル（ v_{rob} ）に関するシータ角度 とファイ角度 のラジアン/秒 の値を調整する。追跡速度（ $s * v_{rob}$ ）はロボット座標空間100にマップされ、それにより、追跡速度（ $s * v_{rob}$ ）を実行するために必要なロボット移動の指標としての3Dロボットデータを生成するために、対応するシータ角度 とファイ角度 を使用する。

【0042】

ロボット40は追跡ベクトルに従って移動するので、追跡ポイントと目標ポイントの間のあらゆる変位は、以下の事実の観点においてデジタルビデオフレーム32の連続したフレームから更新されなければならない。すなわち、（1）目標ポイントは、先端効果器42の移動に因って、連続したサンプルデジタル画像フレーム32の画像座標系80において、移動し得ること、および（2）目標ポイントは、環境の座標系において、移動し得る

こと、である。フローチャート 110 のステージ S 113 からステージ S 117 は、デジタルビデオフレーム 32 のサンプルレート (sampling rate) で、追跡速度を調整するために利用される (例えば、全てのデジタルビデオフレーム 32、もしくはデジタルビデオフレーム 32 の指定されたフレームレートにおいて、である)。

【 0043 】

特に、ステージ S 113 は、連続したサンプルデジタル画像フレーム 32 における、追跡ポイントと目標ポイントの間の追跡ベクトル (v t r k) の更新を含む。ステージ S 114 は、連続したサンプルデジタルビデオフレーム 32 の中にわずかなノイズが存在してもロボット 40 の安定した位置を維持できるように設定された精度閾値 (accuracy threshold) よりも、追跡ベクトル (v t r k) が小さいかどうかを決定する。もし、追跡ベクトル (v t r k) が精度閾値よりも小さければ、次の連続したサンプルデジタルビデオフレーム 32 において追跡ベクトル (v t r k) を更新するために、フローチャート 110 はステージ S 113 に戻る。そうでなければ、フローチャート 110 はステージ S 115 に進み、追跡ベクトル (v t r k) と参照ベクトル (v r e f) の間の角度が、角度閾値 X° (例えば、 90°) よりも小さいかを決定する。

【 0044 】

もし、追跡ベクトル (v t r k) と参照ベクトル (v r e f) の間の角度が、角度閾値 X° よりも小さければ、次にフローチャート 110 はステージ S 116 に進み、参照ベクトル (v r e f) を追跡ベクトル (v t r k) と等しくなるように更新して、速度ファクター (s) を一定量増加させる。その後で、ステージ S 112 に戻り、追加のサンプルデジタルビデオフレーム 32 のために、必要に応じてループを繰り返す。もし、追跡ベクトル (v t r k) と参照ベクトル (v r e f) の間の角度が、角度閾値 X° に等しいか、より大きければ、次にフローチャート 110 はステージ S 117 に進み、参照ベクトル (v r e f) を追跡ベクトル (v t r k) と等しくなるように更新して、速度ファクター (s) を一定量減少させる。その後で、ステージ S 112 に戻り、追加のサンプルデジタルビデオフレーム 32 のために、必要に応じてループを繰り返す。

【 0045 】

実際問題として、もし、システム 20 のユーザーがカメラ 30 を回転させれば、追跡ベクトル (v t r k) と参照ベクトル (v r e f) は方向が変わり得る (例えば、シャフトまわりの内視鏡の回転、または内視鏡の近位端にある CCD カメラの回転)。もし、このような種類の動作がシステムによって許されていないのであれば、ステージ S 117 は除外することができる。

【 0046 】

ステージ S 113 から S 117 の利点は、追跡速度 ($s * v r o b$) の最適化である。特に、もし、二つのサンプルデジタルビデオフレーム 32 の間で追跡ポイントが移動すれば、ステージ S 115 は、新たに更新された追跡ベクトル (S 113) と以前に更新された参照ベクトル (v r e f) の間の角度変位を評価して、以下のような決定をする。すなわち、新たに更新された追跡ベクトル (v t r k) が、以前に更新された参照ベクトル (v r e f) と同一の一般的方向にあるかどうか (例えば、角度 (v t r k , v r e f) $< 90^{\circ}$)、または、新たに更新された追跡ベクトル (v t r k) が以前に更新された参照ベクトル (v r e f) と異なる方向を示しているかどうかである (例えば、角度 (v t r k , v r e f) $> 90^{\circ}$)。実際問題として、方向の変化は、 0° より大きく 90° より小さいあらゆる角度で成される。

【 0047 】

同一の一般的方向にいるシナリオにおいては、ロボット 40 は、目標ポイントをオーバーシュートすることなく、デジタルビデオフレーム 32 における目標ポイントの方向に目標ポイントを移動するために、正しい方向で移動しているとみなされる。このケースでは、ステージ S 116 で、参照ベクトル (v r e f) が更新され、速度ファクター (s) が増加される。そして、ステージ S 112 から S 117 のもう一つのループにおいて、目標ポイントの追跡は続いている。例えば、図 9 に示すように、最初の追跡ベクトル (v t r

k) は、画像座標系の第一のフレーム 80 (1) において特定され、構成作業空間 100 (1) でのロボットベクトル (v r o b) をマップするのに利用される。追跡速度 ($s * v r o b$) は、それに応じてロボット 40 が移動するためのロボットベクトル (v r o b) のために設定され、図 10 に示すように画像座標系の第二のフレーム 80 (2) において、追跡ベクトル (v t r k) が更新される。図 10 の追跡ベクトル (v t r k) は、図 9 に示される追跡ベクトル (v t r k) と同一の一般的方向にある。このように、参照ベクトル (v r e f) は、画像座標系 80 (1) において示される追跡ベクトル (v t r k) として更新され、速度ファクター (s) が増加される。後続のステージ S 112 からステージ S 117 のループにおいて、画像座標系の第二のフレーム 80 (2) においてが更新された追跡ベクトル (v t r k) は、構成作業空間 100 (2) でのロボットベクトル (v r o b) をマップするのに利用される。次に、追跡速度 ($s * v r o b$) は、それに応じてロボット 40 が移動するためのロボットベクトル (v r o b) のために更新され、図 11 に示すように画像座標系の第三のフレーム 80 (3) において、新たな追跡ベクトル (v t r k) が特定される。追跡ベクトル (v t r k) (図 11 での図示なし) は、追跡ポイントを囲む円によってシンボル化されたステージ S 114 での精度閾値より小さい。そして、次の更新された追跡ベクトル (v t r k) が、精度閾値と等しいか、より大きくなるまでは、ロボット 40 は、固定された位置に置かれる。

【0048】

異なる方向にいるシナリオにおいては、ロボット 40 は、デジタルビデオフレーム 32 における目標ポイントの方向に目標ポイントを移動するために、正しい方向で移動しているとみなされるが、目標ポイントをオーバーシュートするか、もしくは、連続したサンプルデジタルビデオフレーム 32 において目標ポイントが変更されている。この両方のケースでは、ステージ S 116 で、参照ベクトル (v r e f) が更新され、速度ファクター (s) が減少される。そして、ステージ S 112 から S 117 のもう一つのループにおいて、目標ポイントの追跡は続いている。例えば、図 12 に示すように、最初の追跡ベクトル (v t r k) は、画像座標系の第四のフレーム 80 (4) において特定され、構成作業空間 100 (4) でのロボットベクトル (v r o b) をマップするのに利用される。追跡速度 ($s * v r o b$) は、それに応じてロボット 40 が移動するためのロボットベクトル (v r o b) のために設定され、図 13 に示すように画像座標系の第五のフレーム 80 (5) において、追跡ベクトル (v t r k) が更新される。図 13 の追跡ベクトル (v t r k) は、図 12 に示される追跡ベクトル (v t r k) と比較して異なった方向にある。このように、参照ベクトル (v r e f) は、画像座標系 80 (4) において示される追跡ベクトル (v t r k) として更新され、速度ファクター (s) が減少される。後続のステージ S 112 からステージ S 117 のループにおいて、画像座標系の第五のフレーム 80 (5) においてが更新された追跡ベクトル (v t r k) は、構成作業空間 100 (5) でのロボットベクトル (v r o b) をマップするのに利用される。次に、追跡速度 ($s * v r o b$) は、それに応じてロボット 40 が移動するためのロボットベクトル (v r o b) のために更新され、図 14 に示すように画像座標系の第六のフレーム 80 (6) において、新たな追跡ベクトル (v t r k) が特定される。追跡ベクトル (v t r k) (図 14 での図示なし) は、追跡ポイントを囲む円によってシンボル化されたステージ S 114 での精度閾値より小さい。そして、次の更新された追跡ベクトル (v t r k) が、精度閾値と等しいか、より大きくなるまでは、ロボット 40 は、固定された位置に置かれる。

【0049】

図 16 のフローチャート 120 は、画像座標系 80 における追跡ベクトルの長さファクター (1) を使用した比例制御 (p r o p o r t i o n a l c o n t r o l) を実行することを出いて、フローチャート 110 (図 14) と同義である。長さファクター (1) は、追跡ポイントが目標ポイントからどれだけ離れているかを示しており、ピクセルで表現され得る。このように、長さファクター (1) は、フローチャート 120 のステージ S 121 に従って初期化され、ロボットベクトルの追跡速度 (v r o b) は、フローチャート 120 のステージ S 122 において ($s * 1 * v r o b$) として表わされ得る。このケ

ースでは、速度ファクター（ s ）の次元は、 $\text{mm} / (s * \text{pixel})$ である。一つの実施例においては、ステージS 1 2 6とステージS 1 2 7での長さファクター（ l ）の比例制御は、長さファクター（ l ）の微分および積分要素を使って拡張され得る。従来技術として知られるPID（ $\text{proportional-integral-derivative}$ ）制御に類似のものである。

【0050】

図9から図14は、速度ファクター（ s ）の最適化について、二つの簡単な例を示している。実際問題として、ステージS 1 1 2からS 1 1 7（図15）とステージS 1 2 2からS 1 2 7（図16）の有利な点は、ビジュアルサーボ51がリアルタイムで最適な速度ファクター（ s ）を学習していることである。もし、目標ポイントが一定の速度で移動しているとすれば、速度ファクター（ s ）の初期のばらつきは、図17に示すように、時間 t_s が複数のフレームをカバーした後の速度ファクター（ s ）の安定化と共に安定していく。そうでなければ、もし、目標ポイントが様々な速度で移動しているとすれば、速度ファクター（ s ）の初期のばらつきは、いくらかのノイズを持った複数のデジタルビデオフレーム32の後で安定する。

10

【0051】

実際問題として、図15と図16において示される速度ファクター（ s ）の増加量および減少量は、一定であり得る。代替的には、図18は、本発明の速度調整方法を表わすフローチャート140を示している。特に、フローチャート140のステージS 1 4 1は、追跡ポイントの追跡待ち時間（ tracking latency ）の観点もしくはシステム20のアプリケーションの観点で、追跡速度のスピード（ $s * r o b$ ）または（ $s * l * r o b$ ）を評価することを包含する。追跡待ち時間の実施例においては、ロボット40のコントロールは、いかなる与えられた時間においても、できる限り最大のロボット40の速度で、追跡ポイントを追跡するように試みている。こうして、フローチャート140のステージS 1 4 2で、速度ファクター（ s ）を調整する目的のために、速度ファクター（ s ）の安定化と追跡待ち時間が評価される。いかなる与えられた時間においても、できる限り最大のロボット40の速度で、追跡ポイントを追跡するような試みにおいてである。例えば、速度ファクター（ s ）の増加の値と減少の値は、ステージS 1 4 2において減少される。低い追跡待ち時間の安定した速度ファクター（ s ）のために、もしくは不安定な速度ファクター（ s ）（例えば、目標ポイントが追跡ポイントをオーバーシュートする）のためである。反対に、速度ファクター（ s ）の増加値および減少値は、高い追跡待ち時間を持つ安定した速度ファクター（ s ）のために、フローチャート140のステージS 1 4 2で増加される。実際問題として、固有のロボット速度の他に、追跡待ち時間に影響するパラメーターとしては、これらに限定されるわけではないが、追跡ポイントと目標ポイントの間の距離、カメラ30の挿入深さ、カメラ30の先端部とRCM挿入ポイントとの間の距離、がある。にもかかわらず、速度ファクター（ s ）の調整は、あらゆるパラメーターの変更にもよらず、追跡速度のスピード（ $s * r o b$ ）または（ $s * l * r o b$ ）の最適化を維持している。

20

30

【0052】

アプリケーションの実施例においては、ロボット40のコントロールは、デジタルビデオフレーム32において、ロボット40の最大限の速度で、追跡ポイントを追跡しようと試みているのではなく、アプリケーションのための好適な速度においてである。こうして、追跡速度（ $s * r o b$ ）または（ $s * l * r o b$ ）のスピード範囲は、デジタルビデオフレーム32からビジュアルサーボ51により決定された追跡ポイント、もしくはシステム20の作業員によりビジュアルサーボ51に提供された追跡ポイントの予見された動作の観点から評価される。速度ファクター（ s ）は、ステージS 1 4 2に従って設定される。例えば、外科手術用ツールの静的な追跡は、小さな震えを無視できるだろうし、それゆえ速度ファクター（ s ）は小さな震えを無視するように設定されるだろう。またも例として、鼓動している心臓の動的な追跡は、心臓の動作における早い変化を含み、それゆえ速度ファクター（ s ）は心臓の動作の速い変化についていくように設定されるだろう。

40

50

【 0 0 5 3 】

またも実際問題として、追跡されている特定の特徴はロボット40に関して回転することもあり（例えば、上下動作と左右動作は二つの座標系において同一ではない、特に斜めの光学的視野のカメラがそうである）、ロボット40のコントロールは、目標ポイントにたどり着くことなく目標ポイントのまわりで発振することもある。図19は、目標ポイントまわりのロボット40の潜在的な発振を修正するための、本発明に係る方向評価を表わすフローチャート150を示している。フローチャート150のステージS151は、二つの与えられたデジタルビデオフレーム32の間での連続した方向変化の回数を数えることを含んだ、追跡速度（ $s * r o b$ ）または（ $s * l * r o b$ ）の追跡方向の評価を包含する。カウンタが、連続した方向変化の指定した回数に到達すると（望ましくは2回または3回の連続した方向変化）、フローチャート150はステージS152に進み、ロボット40の移動の前に、画像座標系80においてマップされた追跡ベクトル（ $v t r k$ ）に関して、構成作業空間100においてマップされたロボットベクトル（ $v r o b$ ）を回転する。収束に達する最も早い手法は、 90° 、 180° 、 270° 回転のために、構成作業空間を四つの象元に分けることである。フローチャート150はステージS112で実行されるが、正しい象元を検知することで、追跡方向がさらに評価されるにつれて、さらなる象元の分割が必要とされるであろう。

10

【 0 0 5 4 】

またも実際問題として、ロボット40は、斜めの光学的視野のカメラのために、一旦挿入ポイント（例えば、RCMポイント）が定義されれば、デジタルビデオフレーム32において特定の特徴を自動的に発見して追跡するように、コントロールされ得る。図20は、画像32における特定の特徴を自動的に発見し追跡するための目標プローブ方法（ $t a r g e t \quad p r o b e \quad m e t h o d$ ）を表わすフローチャート160を示している。フローチャート160のステージS161は、挿入ポイントに関する軸まわりのカメラ30の回転を含んだカメラスイープ（ $c a m e r a \quad s w e e p$ ）を包含している。一旦カメラ30が目標の特徴を発見すれば、上述のように、方向設定の目的のためのロボット座標系90として、フローチャート160のステージS162において、ロボットコントローラ50はスイープの構成を固定する。

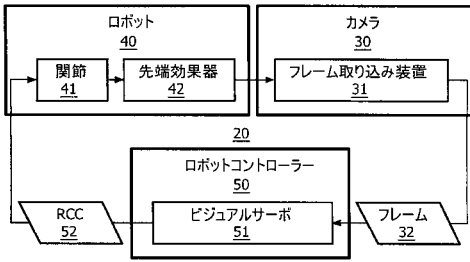
20

【 0 0 5 5 】

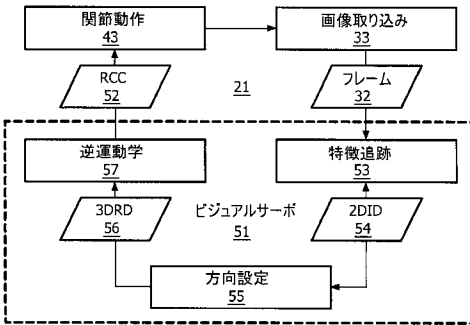
本発明は、典型的な見地、特徴および実行に関し述べられてきたが、開示されたシステムおよび方法は、そうした典型的な見地、特徴、及び/又は実行に限定されるものではない。むしろ、ここにおいて提供された記述から、当業者にとっては直ちに明らかなように、開示されたシステムと方法は、本発明の精神もしくは範囲から離れることのない範囲で、変更、代替、拡張することができる。従って、本発明は、明確に、そのような変更、代替、そして拡張を包含している。

30

【図 1】



【図 2】



【図 3】

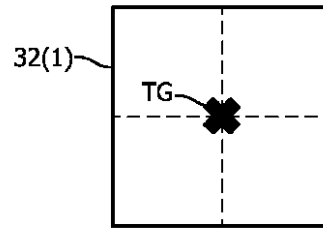


FIG. 3

【図 4】

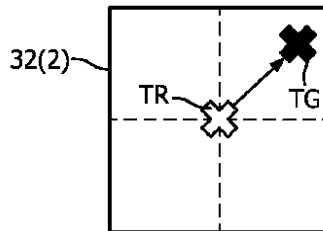


FIG. 4

【図 5】

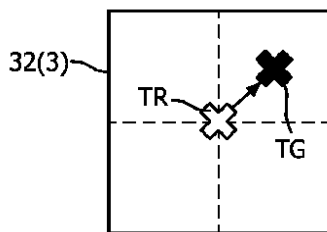


FIG. 5

【図 6】

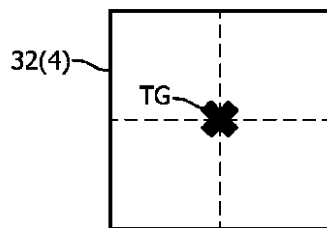
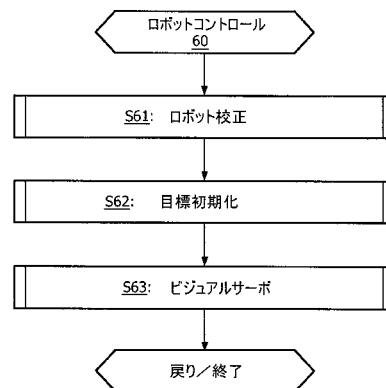
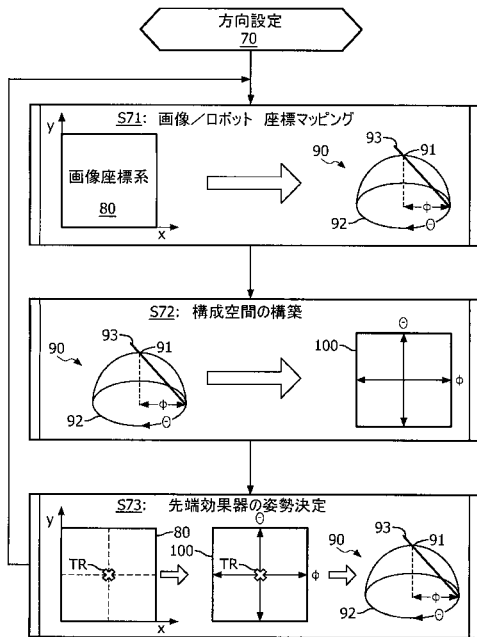


FIG. 6

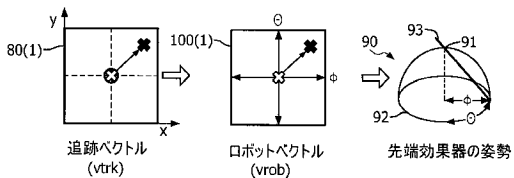
【図 7】



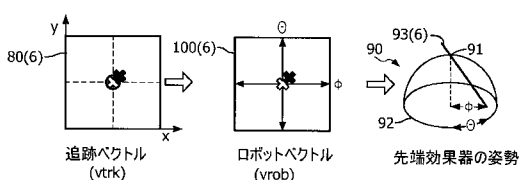
【図 8】



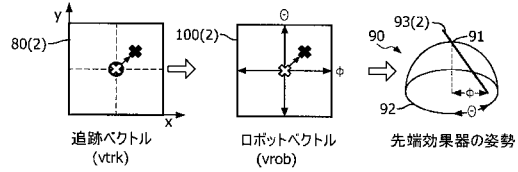
【図 9】



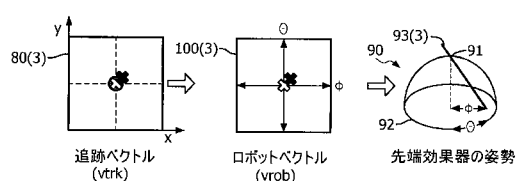
【図 1 4】



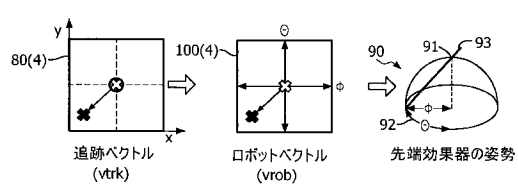
【図 1 0】



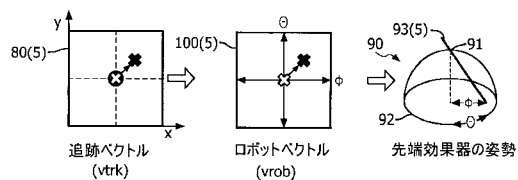
【図 1 1】



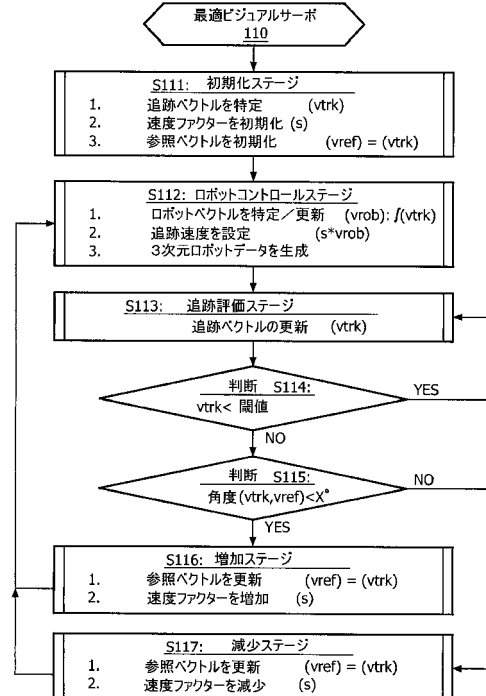
【図 1 2】



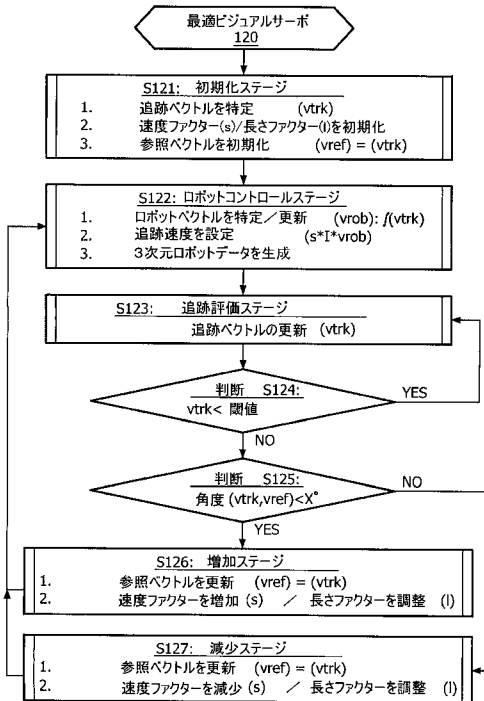
【図 1 3】



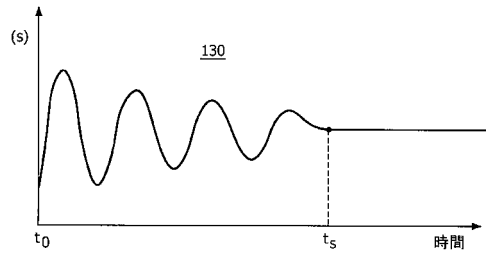
【図 1 5】



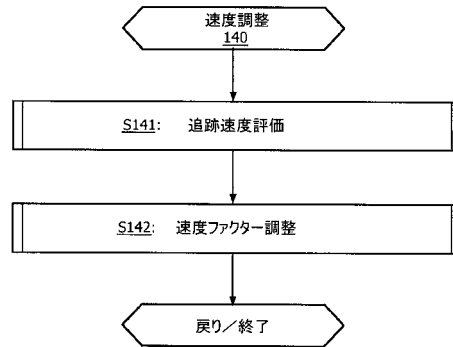
【図 16】



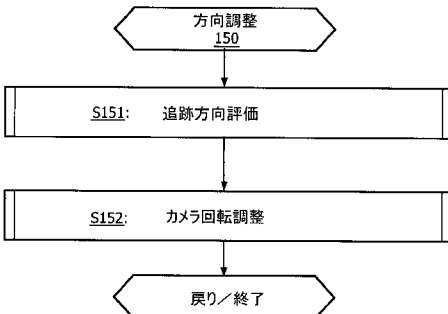
【図 17】



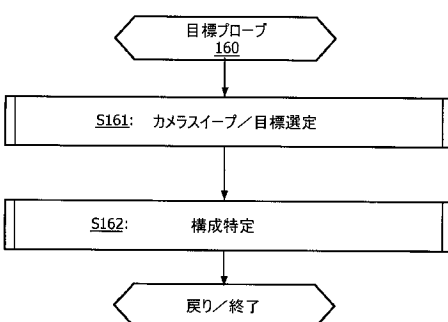
【図 18】



【図 19】



【図 20】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2010/055245

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. A61B19/00

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2009/045827 A2 (INTUITIVE SURGICAL INC [US]) 9 April 2009 (2009-04-09) paragraphs [0054] - [0055], [0132] - [0136]; claim 1 -----	1-20
A	EP 1 769 769 A1 (DEPUY ORTHOPAEDIE GMBH [DE]) 4 April 2007 (2007-04-04) paragraphs [0025] - [0045] -----	1-20
A	US 2007/142823 A1 (PRISCO GIUSEPPE M [US] ET AL PRISCO GIUSEPPE [US] ET AL) 21 June 2007 (2007-06-21) the whole document -----	1-20
A	US 2003/065310 A1 (WANG YULUN [US] ET AL) 3 April 2003 (2003-04-03) the whole document -----	1-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 February 2011

Date of mailing of the international search report

08/02/2011

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Chopinaud, Marjorie

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2010/055245

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2009045827	A2	09-04-2009	NONE

EP 1769769	A1	04-04-2007	AT 424777 T 15-03-2009
			EP 1948062 A2 30-07-2008
			WO 2007052160 A2 10-05-2007
			US 2009099445 A1 16-04-2009

US 2007142823	A1	21-06-2007	US 2011009880 A1 13-01-2011

US 2003065310	A1	03-04-2003	US 2005234433 A1 20-10-2005
			US 2003139753 A1 24-07-2003
			US 2003083650 A1 01-05-2003
			US 2003083651 A1 01-05-2003

フロントページの続き

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

(72)発明者 ポポビッチ, アレクサンドラ

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 10510-8001 ブライアクリフ・マナー スカーボロ
・ロード 345 ピー・オー・ボックス 3001

(72)発明者 シーンフラバ, ポール

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 10510-8001 ブライアクリフ・マナー スカーボロ
・ロード 345 ピー・オー・ボックス 3001

专利名称(译)	具有实时速度优化功能的无标定视觉伺服		
公开(公告)号	JP2013516264A5	公开(公告)日	2015-04-02
申请号	JP2012547558	申请日	2010-11-17
[标]申请(专利权)人(译)	皇家飞利浦电子股份有限公司		
申请(专利权)人(译)	皇家飞利浦电子股份有限公司的Vie		
[标]发明人	ポポビッチアレクサンドラ シーンフラパポール		
发明人	ポポビッチ,アレクサンドラ シーンフラパ,ポール		
IPC分类号	A61B19/00		
CPC分类号	B25J9/1697 A61B34/20 A61B34/30 A61B90/361 G06T7/246 G06T2207/10068 Y10S901/15 Y10S901/47		
FI分类号	A61B19/00.502 A61B19/00.506		
代理人(译)	伊藤忠彦		
优先权	61/293222 2010-01-08 US		
其他公开文献	JP2013516264A JP5814938B2		

摘要(译)

一种用于具有光学视场和末端执行器的相机的机器人控制方法以及用于操纵末端执行器的一个或多个铰接机器人。机器人控制方法获取由相机光学捕获的图像的数字视频帧，并执行视觉伺服以控制末端执行器相对于数字视频帧中的图像特征的姿态。视觉伺服识别从跟踪点延伸到数字视频帧的图像坐标系中的图像特征的目标点的跟踪矢量，并将跟踪矢量映射到从用于末端执行器的机器人坐标系构造的配置空间中。并且，根据配置空间中的跟踪矢量的映射，导出末端执行器在机器人坐标系中的姿态。