

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5814938号
(P5814938)

(45) 発行日 平成27年11月17日(2015.11.17)

(24) 登録日 平成27年10月2日(2015.10.2)

(51) Int.Cl.	F I
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

請求項の数 20 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2012-547558 (P2012-547558)	(73) 特許権者	590000248
(86) (22) 出願日	平成22年11月17日(2010.11.17)		コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ
(65) 公表番号	特表2013-516264 (P2013-516264A)		KONINKLIJKE PHILIPS N. V.
(43) 公表日	平成25年5月13日(2013.5.13)		オランダ国 5656 アーエー アイン ドーフエン ハイテック キャンパス 5
(86) 国際出願番号	PCT/IB2010/055245		High Tech Campus 5, NL-5656 AE Eindhoven
(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)	(74) 代理人	100107766
審査請求日	平成25年11月15日(2013.11.15)		弁理士 伊東 忠重
(31) 優先権主張番号	61/293, 222	(74) 代理人	100070150
(32) 優先日	平成22年1月8日(2010.1.8)		弁理士 伊東 忠彦
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

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) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロボットシステムであって：

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；

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であり、前記ロボットに取り付けられたカメラと；

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、各デジタルビデオフレームにおける画像特徴に対する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むロボットコントローラーと；

を有し、

各デジタルビデオフレームについて、前記ビジュアルサーボは、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、前記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特定し、

前記先端効果器に関するシータ角度とファイ角度で表され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プし、

画像ヤコビアンに拠らず、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導出するように動作可能である、

ことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 2】

10

20

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導出された姿勢を実現する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、

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ける前記追跡ベクトルの追跡方向と追跡速さを含む追跡速度を設定する、

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される、

請求項 5 に記載のロボットシステム。

【請求項 7】

前記構成空間においてマップされた前記追跡ベクトルの追跡速さは、前記デジタルビデオフレームの連続したサンプルフレームの前記画像特徴の動きの程度に応じて、速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 8】

前記速さファクターは、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さのうち、少なくとも一つの関数である、

請求項 7 に記載のロボットシステム。

【請求項 9】

前記構成空間においてマップされた前記追跡ベクトルの追跡速さは、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】

前記ロボット座標系は、リモート回転中心に対する軸まわりの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】

前記ロボット座標系は、前記カメラがリモート回転中心に対する前記軸まわりに回転されると、前記画像特徴のプロープ及び特定により確立される、

請求項 11 に記載のロボットシステム。

【請求項 13】

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、光学的視野を有するカメラであり、前記ロボットに取り付けられたカメラ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；

10

20

30

40

50

デジタルビデオフレームにおける画像特徴の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シータ角度とファイ角度で表され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、
画像ヤコビアンに拠らず、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導出する、
前記特徴追跡工程のためのモジュールに応答する方向設定工程のためのモジュール；
を有することを特徴とするビジュアルサーボ。

10

【請求項 14】

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導出された姿勢を実現する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、
前記方向設定工程のためのモジュールに応答する逆運動学工程のためのモジュール、
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。

20

【請求項 16】

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、光学的視野を有するカメラであり、前記ロボットに取り付けられたカメラと
、を含むロボットシステムをコントロールする方法であって、
前記ロボットシステムが；
前記カメラによって光学的に視られた画像を示す一連のデジタルビデオフレームを獲得
すること；および

各デジタルビデオフレームにおける画像特徴に対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、
を含む、

30

各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：
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シータ角度とファイ角度で表され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
画像ヤコビアンに拠らず、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導出すること、
を含む、
ことを特徴とするロボットシステムをコントロールする方法。

【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動きを追跡すること、
を含む、
請求項 16 に記載のロボットシステムをコントロールする方法。

40

【請求項 18】

前記ロボットコントロール方法は、さらに、
前記先端効果器の少なくとも一つの導出された姿勢を実現する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こと、
を含む、
請求項 16 に記載のロボットシステムをコントロールする方法。

50

【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ける前記追跡ベクトルの追跡方向と追跡速さを含む追跡速度を設定する、

を含む、

請求項 16 に記載のロボットシステムをコントロールする方法。

【請求項 20】

前記ロボット構成空間は、リモート回転中心に対する軸まわりの前記カメラの回転を表わす、

請求項 16 に記載のロボットシステムをコントロールする方法。

10

【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、関心領域の映像を提供する。

20

【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ーを設定する、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

30

【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 co-ordination) 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 (画像ヤコビアン: 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、カメラと検討中の臓器 / 対象物との間の深さを、画像から、もしくは特別なセンサーを使用して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、両方向の焦点距離およびピクセルサイズといった、固有のカメラパラメーターを確立するプロセスである。通常これは、術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ーの算出を含んでいる。もし、いくつかのパラメーターが、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。

40

【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

50

、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。

【 0 0 0 7 】

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】

【 0 0 0 8 】

10

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。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

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、画像を示すデジタル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*）から画像特徴に関する目標ポイント（*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、先端効果器に関するロボット座標系から組み立てられた構成空間（*configuration space*）において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導出する。

20

30

【 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画像を示す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おける画像特徴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関する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、先端効果器に関するロボット座標系から組み立てられた構成空間において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導出すること、を含んでいる。

40

【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

50

ームの典型的なシーケンスを示している。

【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。

10

【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。

20

【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、速さ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、速さ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。

30

【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 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）、および経管腔の内視鏡手術（natural orifice transluminal endoscopic surgery）を含む医療工程のために利用されている。

40

【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 31 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、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、各デジタルビデオフレーム 32 をロボッ

50

トコントローラー 50 へ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利用する画像装置（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。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。

【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

10

【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 30 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）。

【0016】

20

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 の長手方向の軸まわりに、カメラ 30 を術中に手動で回転させる）。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 の長手方向の軸まわりにカメラ 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: RCC）52 をロボット 40 に与えるように構成された、あらゆるコントローラ

30

【0018】

例えば、カメラ 30 が先端効果器 42 に取り付けられた内視鏡である場合、ロボットコントロール命令 52 は、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、もしくは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、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させるために必要のように、一つまたはそれ以上のロボット関節 41 を動作させることができる。

40

【0019】

デジタルビデオフレーム 32 における画像の特徴をロボット追跡（robotic tracking）するために、ロボットコントローラー 50 は、それぞれのデジタルビデオフレーム 32 における画像の特徴に対する先端効果器 42 の姿勢をコントロールするためのビジュアルサーボ 51 を有する。特に、ビジュアルサーボ 51 は、デジタルビデオフレーム 32 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）の静的な（static）、もしくは動的な（dynamic）ロボット追跡を、デジタルビデオフレーム 32 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（adaptive）アルゴリズムを実行することによって、実施する。

50

【 0 0 2 0 】

このために、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 2 1 において、フレーム取り込み装置 3 1 によって実施される画像取り込み工程 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、実施する。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、ASIC 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。

【 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 3 2 における特定の画像特徴の目標ポイントを特定するために、各デジタルビデオフレーム 3 2 を個別に処理することを含む。例えば、図 3 から図 6 は、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 の 4 つのデジタルビデオフレーム 3 2 を示している。この図 3 から図 6 の例においては、特定の特征とは、外科手術用ツールの機器先端部であって、カメラ 3 0 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り得るか、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ビデオフレーム 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ビデオフレーム 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、追跡方向と追跡速さ）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、追跡速さを設定する。追跡速さも固定され得るか、代替的には目標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対するロボット 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、デジタルビデオフレーム 3 2 における画像特徴に対する先端効果器 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 のために必要な一つまたはそれ以上のロボットコントロール命令 5 2 を生成するために、従来技術として知られているように 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 T G 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対するロボット 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、追跡ベクトルの追跡方向と追跡速さを利用する。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対する先端効果器 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命令 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対する先端効果器 4 2 の望ましい姿勢を決定するために、追跡ベクトルの追跡方向と追跡速さを利用する。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対するロボット 4 0 の先端効果器 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命令 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、後続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、もしくは追跡ポイント T R と目標ポイント T G の間の最小量の追跡ベクトルを示すときまで、ロボット関節 4 1 を固定状態に維持する。

【 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方法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、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ロボット校正ステージ S 6 1 と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、ステージ 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 において画像の特定の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、ロボット 4 0 のための 2 次元的な球形キャップ (s p h e r i c a l c a p) を定義するためのシータ角度 とファイ角度 を含む、先端効果器 4 2 の 2 次の自由度で実行され得る。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 (r e m o t e - c e n t e r - o f - r o t a t i o n : R C M) を確立することを含み得る。仮想 R C M は、ロボット 4 0 のための球状円錐 (s p h e r i c a l c o n i c) な作業空間を定義する特定のピボットポイントまわりのロボット 4 0 の

10

20

30

40

50

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するポイントである）。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 に基づく 2 次元の球形キャップに変換される。

【0030】

カメラ 30 が内視鏡であるロボットコントローラー 50 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）コンピューター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 40 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 40 を位置決めすることによるもの、である。

【0031】

実際問題として、RCM に基づくロボット 40 の動きは、フローチャート 60 のステージ S63 のビジュアルサーボのためにロボットコントローラー 50 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 50 は、カメラ 40 のための球状円錐な作業空間を定義するステージ S63 のビジュアルサーボのために、カメラ 40 の初期位置決めを実施し得る。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 S63 は、図 2 に関連して前述したように、特徴追跡工程 53 と逆運動学工程 57 を含んだビジュアルサーボを包含し、図 8 から図 16 に示すように、方向設定工程 55 の典型的な実施例を含む。

【0032】

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 70 を示している。フローチャート 70 の理解を促進するために、先端効果器 42 は内視鏡の先端効果器 93 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 93 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 40 に接続された近位端（proximal end）を有する内視鏡である。

【0033】

図 8 において、フローチャート 70 のステージ S71 は、それぞれのデジタルビデオフレーム 32 の 2 次元の画像座標系 80 を、3 次元であり、2 次の自由度を持つロボット 40 のロボット座標系 90 にマップすること（mapping）を包含している。ステージ S71 に示すように一つの実施例においては、画像座標系 80 は、x 軸と y 軸を有しており、ロボット座標系 90 は、ピボットポイント 91（例えば、仮想 RCM）から、内視鏡の先端効果器 93 がピボットポイント 91 まわりに一回転することで輪郭付けされる 2 次元平面 92 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 91 と内視鏡の先端効果器 93 の遠位端との距離がわかる場合、シータ角度 は、平面 92 の表面に沿った原点に対する球面キャップの軸まわりの内視鏡の先端効果器 93 の遠位端の回転の程度を明確に数量化し、ファイ角度 は、内視鏡の先端効果器 93 の遠位端の、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 91 と内視鏡の先端効果器 93 の遠位端との距離がわかる場合、シータ角度 は、平面 92 の表面に沿った原点に対する球面キャップの軸まわりの内視鏡の先端効果器 93 の遠位端の回転の程度を非明示的に示し、ファイ角度 は、内視鏡の先端効果器 93 の遠位端の、球面キャップの軸からの分離の程度を非明示的に示す。

【0034】

フローチャート 70 のステージ S72 は、ロボット座標系 90 によって定義されるようにシータ角度 とファイ角度 のとり得る範囲に関して、ロボット座標系 90 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

ロボット座標系 9 0 の平面 9 2 を、構成空間 1 0 0 となる 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 1 0 0 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。

【 0 0 3 5 】

フローチャート 7 0 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 1 0 0 においてロボットベクトルをマッピングすることを含む、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 1 0 0 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（非明示的にミリメートル単位）は、構成空間 1 0 0 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。

【 0 0 3 6 】

例えば、図 9 から図 1 1 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最小量の追跡ベクトル（ v_{trk} ）を特定することは、追跡ベクトル（ v_{trk} ）を構成空間 1 0 0 におけるロボットベクトル（ v_{rob} ）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 T G の位置は、構成空間 1 0 0 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。このために、画像座標系 8 0 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 9 0 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 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 4 1 を動かすように処理される。

【 0 0 3 7 】

さらなる例として、図 1 2 から図 1 4 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、最小量の追跡ベクトル（ v_{trk} ）を特定することは、追跡ベクトル（ v_{trk} ）を構成空間 1 0 0 におけるロボットベクトル（ v_{rob} ）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 における目標ポイント T G の位置は、構成空間 1 0 0 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。このために、画像座標系 8 0 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 9 0 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 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 4 0 の関節 4 1 を動かすように処理される。

【 0 0 3 8 】

図 9 から図 1 4 では、上述のように、画像座標系 8 0 と構成空間 1 0 0 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（すなわち、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 1 0 0 に変換される。従ってロボットベクトル（ 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の単位変位を定義する。実際問題として、ロボット 4 0 は速度制御され、それによってロボットの単位変位はシータ角度 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（例えば、デジタルビデオフレーム 3 2 での特徴の深さ、デジタルビデオフレーム 3 2 での追跡ポイントの相対速さ、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 T R が目標ポイント T G 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 T R が目標ポイント T G をオーバーシュートしてしまうほど速くもあり得る。

【 0 0 3 9 】

画像座標系 8 0 と構成空間 1 0 0 の間の未知のマッピングスケールを補償するために、図 1 5 のフローチャート 1 1 0 と図 1 6 のフローチャート 1 2 0 は、追跡ベクトルの追跡速さ成分を最適化するための、ステージ S 7 3 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。

【 0 0 4 0 】

図 1 5 において、フローチャート 1 1 0 のステージ S 1 1 1 は、デジタルビデオフレーム 3 2 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かされているたびに、速さファクターの初期化と画像座標系 8 0 での追跡ベクトル (v t r k) の特定を含む。実際問題として、速さファクターの初期値は、任意の無次元経験値であり得る (例えば、1)。ステージ S 1 1 1 はさらに、追跡ベクトル (v t r k) と等しい参照ベクトル (v r e f) の初期化も含んでいる。

10

【 0 0 4 1 】

フローチャート 1 1 0 のステージ S 1 1 2 は、構成作業空間 1 0 0 における追跡ベクトル (v t r k) のマッピングを含んだ構成作業空間 1 0 0 におけるロボットベクトル (v r o b) の特定を含んでいる。ステージ S 1 1 2 は、さらに、速さファクター (s) とロボットベクトル (v r o b) の積としての追跡ベクトルの設定を含んでおり、これにより速さファクター (s) は、ロボットベクトル (v r o b) 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 r o b) はロボット座標空間 1 0 0 にマップされ、それにより、追跡速度 (s * v r o b) を実行するために必要なロ

20

【 0 0 4 2 】

ロボット 4 0 は追跡ベクトルに従って動かされるので、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 3 2 の後続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 4 2 の動きに因って、連続したサンプルデジタル画像フレーム 3 2 の画像座標系 8 0 において動いている可能性があること、および (2) 目標ポイントは、環境の座標系において動いている可能性があること、である。従ってフローチャート 1 1 0 のステージ S 1 1 3 からステージ S 1 1 7 は、デジタルビデオフレーム 3 2 のサンプルレート (s a m p l i n g r a t e) で (例えば、デジタルビデオフレーム 3 2 のフレーム毎、もしくはデジタルビデオフレーム 3 2 の指定されたフレームレートにおいて)、追跡速度を調整するために利用される。

30

【 0 0 4 3 】

特に、ステージ S 1 1 3 は、デジタルビデオフレーム 3 2 の連続したサンプルフレームにおける、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 1 1 4 は、デジタルビデオフレーム 3 2 の連続したサンプルフレームの中になぜかなノイズが存在してもロボット 4 0 の安定した位置決めを維持できるように設定された精度閾値 (a c c u r a c y t h r e s h o l d) 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、デジタルビデオフレーム 3 2 の次の連続したサンプルフレーム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 1 1 0 はステージ S 1 1 3 に戻る。そうでなければ、フローチャート 1 1 0 はステージ S 1 1 5 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、9 0 °) よりも小さいかを決定する。

40

【 0 0 4 4 】

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 1 1 0 はステージ S 1 1 6 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、速さファクター (s) を増加させる。その後で、ステージ S 1 1 2 に戻り、デジタルビデオフレーム

50

3 2 の追加のサンプルフレームのために、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 1 1 0 はステージ S 1 1 7 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、速さファクター (s) を減少させる。その後で、ステージ S 1 1 2 に戻り、デジタルビデオフレーム 3 2 の追加のサンプルフレームのために、必要に応じてループを繰り返す。

【 0 0 4 5 】

実際問題として、もし、システム 2 0 のユーザーがカメラ 3 0 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

10

【 0 0 4 6 】

ステージ S 1 1 3 から S 1 1 7 の利点は、追跡速度 ($s * v r o b$) の最適化である。特に、もし、デジタルビデオフレーム 3 2 の二つのサンプルフレームの間で追跡ポイントが移動している場合、ステージ S 1 1 5 は、新たに更新された追跡ベクトル (S 1 1 3) 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、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 (例えば、角度 (v t r k , v r e f) $> 90^{\circ}$) を決定する。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。

20

【 0 0 4 7 】

同一の一般的方向にいるシナリオにおいては、ロボット 4 0 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 3 2 における目標ポイントの方向に追跡ポイントを移動させるために、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 1 1 6 で、参照ベクトル (v r e f) が更新され、速さファクター (s) が増加される。そして、ステージ S 1 1 2 から S 1 1 7 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 8 0 (1) において特定され、構成作業空間 1 0 0 (1) においてロボットベクトル (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、必要に応じてロボット 4 0 が動かされるロボットベクトル (v r o b) のために設定され、図 1 0 に示すように画像座標系の第二のフレーム 8 0 (2) において、追跡ベクトル (v t r k) が更新される。図 1 0 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 8 0 (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、速さファクター (s) が増加される。ステージ S 1 1 2 からステージ S 1 1 7 の後続のループにおいて、画像座標系の第二のフレーム 8 0 (2) において更新された追跡ベクトル (v t r k) は、構成作業空間 1 0 0 (2) においてロボットベクトル (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、必要に応じてロボット 4 0 が動かされるロボットベクトル (v r o b) のために更新され、図 1 1 に示すように画像座標系の第三のフレーム 8 0 (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 1 1 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 1 1 4 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 4 0 は、固定された位置に設定される。

30

40

【 0 0 4 8 】

異なる方向にいるシナリオにおいては、ロボット 4 0 は、デジタルビデオフレーム 3 2 における目標ポイントの方向に追跡ポイントを移動させるために、正しい方向で移動して

50

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、デジタルビデオフレーム 3 2 の連続したサンプルフレーム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 1 1 6 で、参照ベクトル (v_{ref}) が更新され、速さファクター (s) が減少される。そして、ステージ S 1 1 2 から S 1 1 7 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 1 2 に示すように、最初の追跡ベクトル (v_{trk}) は、画像座標系の第四のフレーム 8 0 (4) において特定され、構成作業空間 1 0 0 (4) においてロボットベクトル (v_{rob}) をマップするのに利用される。追跡速度 ($s * v_{rob}$) は、それに応じてロボット 4 0 が動かされるロボットベクトル (v_{rob}) のために設定され、図 1 3 に示すように画像座標系の第五のフレーム 8 0 (5) において 新たな追跡ベクトル (v_{trk}) が特定される。図 1 3 の追跡ベクトル (v_{trk}) は、図 1 2 に示される追跡ベクトル (v_{trk}) の方向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_{ref}) は、画像座標系 8 0 (4) の追跡ベクトル (v_{trk}) として更新され、速さファクター (s) が減少される。ステージ S 1 1 2 からステージ S 1 1 7 の後続のループにおいて、画像座標系の第五のフレーム 8 0 (5) において更新された追跡ベクトル (v_{trk}) は、構成作業空間 1 0 0 (5) においてロボットベクトル (v_{rob}) をマップするのに利用される。次に、追跡速度 ($s * v_{rob}$) は、それに応じてロボット 4 0 が動かされるロボットベクトル (v_{rob}) のために更新され、図 1 4 に示すように画像座標系の第六のフレーム 8 0 (6) において、新たな追跡ベクトル (v_{trk}) が特定される。追跡ベクトル (v_{trk}) (図 1 4 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 1 1 4 での精度閾値より小さい。そして、次の追跡ベクトル (v_{trk}) が、精度閾値と等しいか、より大きくなるまでは、ロボット 4 0 は、固定された位置に設定される。

【 0 0 4 9 】

図 1 6 のフローチャート 1 2 0 は、画像座標系 8 0 における追跡ベクトルの長さファクター (l) を使用した比例制御 ($proportional\ control$) を実行することを除いて、フローチャート 1 1 0 (図 1 4) と同義である。長さファクター (l) 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 (l) は、フローチャート 1 2 0 のステージ S 1 2 1 でしかるべく初期化され、ロボットベクトル (v_{rob}) の追跡速度は、フローチャート 1 2 0 のステージ S 1 2 2 において ($s * l * v_{rob}$) として表わされ得る。このケースでは、速さファクター (s) の次元は、 $mm / (s * pixel)$ 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、従来技術として知られる PID ($proportional - integral - derivative$) 制御と同様に、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。

【 0 0 5 0 】

図 9 から図 1 4 は、速さファクター (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 1 5) とステージ S 1 2 2 から S 1 2 7 (図 1 6) の有利な点は、ビジュアルサーボ 5 1 がリアルタイムで最適な速さファクター (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、速さファクター (s) の初期のばらつきは、フレームをカバーする時間 t 、後の速さファクター (s) の安定化を示す図 1 7 に示すように、デジタルビデオフレーム 3 2 の複数のフレーム後に安定していく。そうでなければ、もし、追跡ポイントが変動する速度で移動しているとすれば、速さファクター (s) の初期のばらつきは、いくらかのノイズを伴ってデジタルビデオフレーム 3 2 の複数のフレームの後で安定する。

【 0 0 5 1 】

実際問題として、図 1 5 と図 1 6 において示される速さファクター (s) の増加値および減少値は、一定であり得る。代替的には、図 1 8 は、本発明の速さ調整方法を表わすフローチャート 1 4 0 を示している。特に、フローチャート 1 4 0 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 ($s * r o b$) または ($s * l * r o b$) の速さ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の速さで、追跡ポイントを追跡するように試みている。このために、任意の時間において可能な限り最大の速さで追跡ポイントを追跡しようとして、フローチャート140のステージS142で、速さファクター (s) を調整する目的のために、速さファクター (s) の安定化と追跡待ち時間が評価される。例えば、速さファクター (s) の増加値と減少値は、低い追跡待ち時間を持つ安定した速さファクター (s) のために、もしくは不安定な速さファクター (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) のために、ステージS142において減少される。反対に、速さファクター (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さファクター (s) のために、フローチャート140のステージS142で増加される。実際問題として、固有のロボット速さの他に、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、速さファクター (s) の調整は、パラメーターのいかなる変化にもかかわらず、追跡速度 ($s * r o b$) または ($s * l * r o b$) の最適化を維持している。

10

【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の最大限の速さではなく、アプリケーションに適した速さで追跡ポイントを追跡しようとして試みている。このために、追跡速度 ($s * r o b$) または ($s * l * r o b$) の速さ範囲は、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の作業者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。速さファクター (s) は、ステージS142でしかるべく設定される。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、それゆえ速さファクター (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速い変化を含み、それゆえ速さファクター (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。

20

【0053】

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、デジタルビデオフレーム32の二つの所定フレーム間での連続した方向変化の回数を数えることを含む、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。カウンターが、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、構成作業空間を90°、180°、もしくは270°回転に対する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、正しい象元を検出すると、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。

30

40

【0054】

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30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2

50

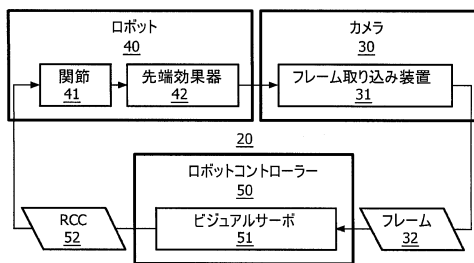
0は、画像における特定の特徴を自動的に発見し追跡するための目標プローブ方法 (t a r g e t p r o b e m e t h o d) を表わすフローチャート160を示している。フローチャート160のステージS161は、挿入ポイントに関する軸まわりのカメラ30の回転を含んだカメラスイープ (c a m e r a s w e e p) を包含している。一旦カメラ30が目標の特徴を発見すれば、上述のように、方向設定の目的のためのロボット座標系90として、フローチャート160のステージS162において、ロボットコントローラ50はスイープの構成を固定する。

【0055】

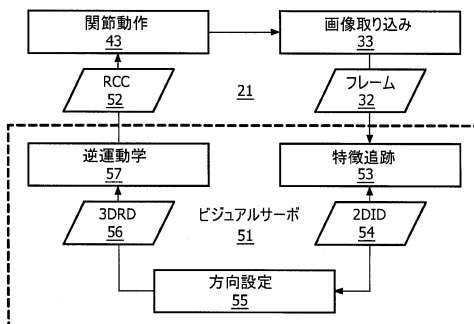
本発明は、典型的な見地、特徴および実行に関し述べられてきたが、開示されたシステムおよび方法は、そうした典型的な見地、特徴、及び／又は実行に限定されるものではない。むしろ、ここにおいて提供された記述から、当業者にとっては直ちに明らかなように、開示されたシステムと方法は、本発明の精神もしくは範囲から離れることのない範囲で、変更、代替、拡張することができる。従って、本発明は、明確に、そのような変更、代替、そして拡張を包含している。

10

【図1】



【図2】



【図3】

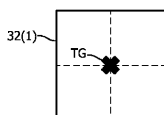


FIG. 3

【図4】

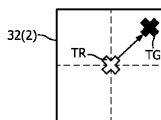


FIG. 4

【図5】

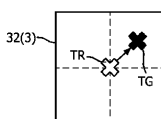


FIG. 5

【図6】

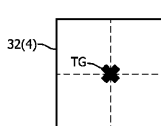
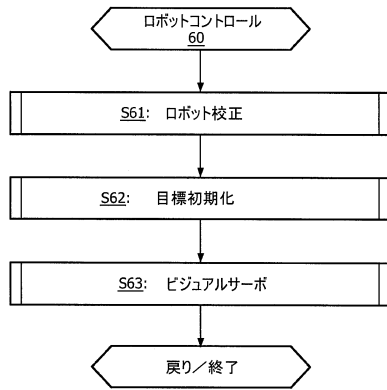
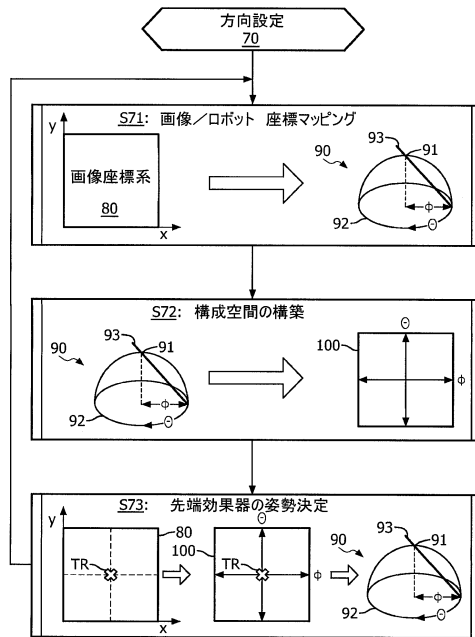


FIG. 6

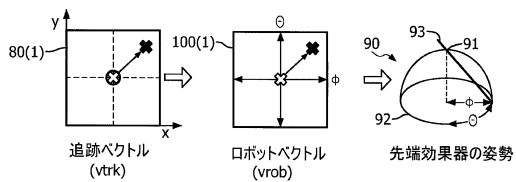
【図 7】



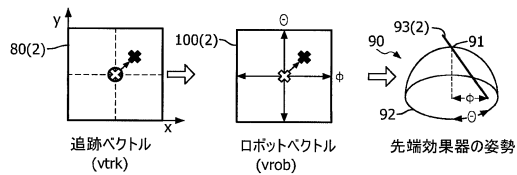
【図 8】



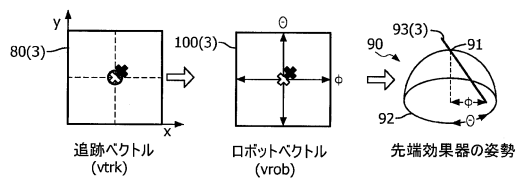
【図 9】



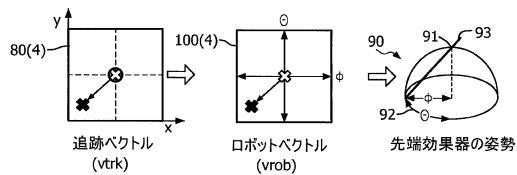
【図 10】



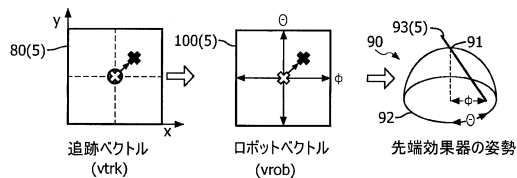
【図 11】



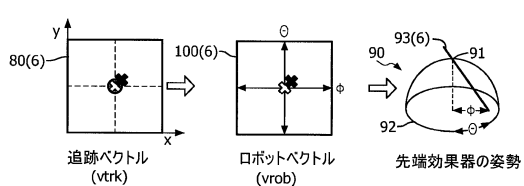
【図 12】



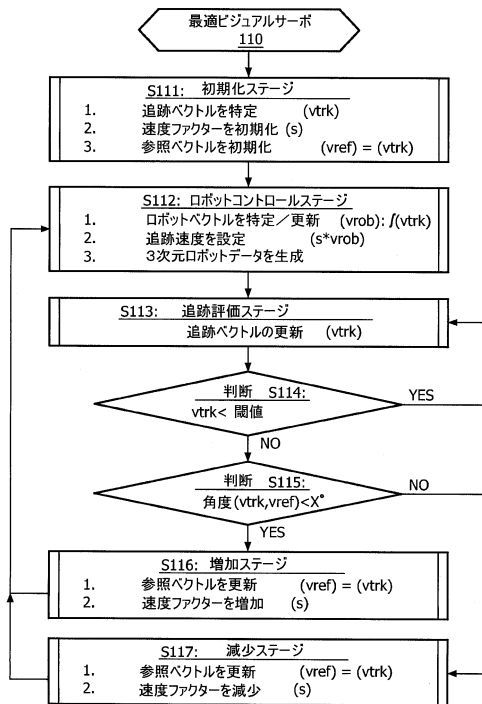
【図 13】



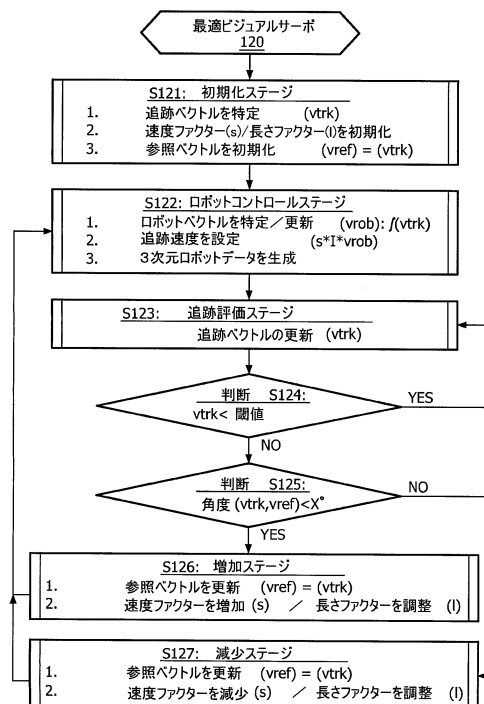
【図 14】



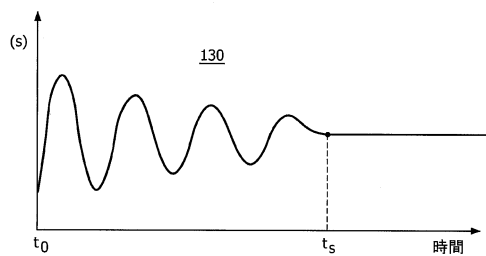
【図 15】



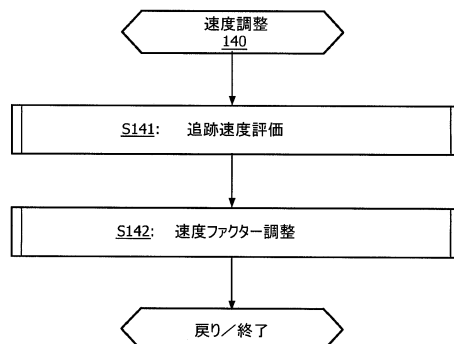
【図 16】



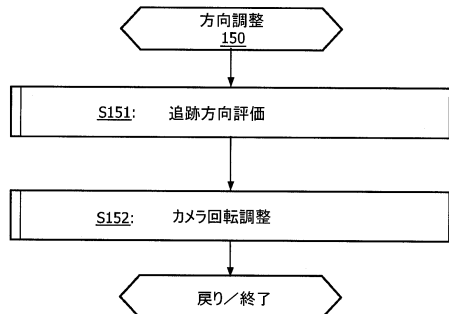
【図 17】



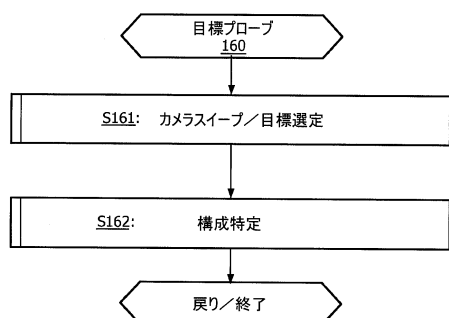
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

(74)代理人 100091214

弁理士 大貫 進介

(72)発明者 ポボビッチ, 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

審査官 沼田 規好

(56)参考文献 国際公開第2009/045827(WO, A2)

特開平05-337118(JP, A)

国際公開第2008/113957(WO, A1)

ビジュアルサーボを用いたタッチ式内視鏡手術器具インタフェース, 生体医工学, 日本, vol.46
, 595-605

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 19/00

专利名称(译)	视觉伺服不需要使用实时速度优化进行校准		
公开(公告)号	JP5814938B2	公开(公告)日	2015-11-17
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		
当前申请(专利权)人(译)	皇家飞利浦NV哥德堡		
[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		
审查员(译)	沼田TadashiYoshimi		
优先权	61/293222 2010-01-08 US		
其他公开文献	JP2013516264A5 JP2013516264A		
外部链接	Espacenet		

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。视觉伺服识别在数字视频帧的图像坐标系中从跟踪点延伸到目标点的跟踪向量，并将跟踪向量映射到由用于末端执行器的机器人坐标系构造的配置空间中。并且从配置空间中的跟踪向量的映射导出机器人坐标系中的末端执行器的姿势。

(21) 出願番号	特願2012-547558 (P2012-547558)	(73) 特許権者	580000248
(86) (22) 出願日	平成22年11月17日 (2010.11.17)		コーニンクレッカ フィリップス エヌ
(65) 公表番号	特表2013-516264 (P2013-516264A)		ヴェ
(43) 公表日	平成25年5月13日 (2013.5.13)		KONINKLIJKE PHILIPS
(86) 国際出願番号	PCT/IB2010/053245		N. V.
(87) 国際公開番号	W02011/083374		オランダ国 5656 アーエー アイ
(87) 国際公開日	平成23年7月14日 (2011.7.14)		ドーフエン ハイテック キャンパス 5
審査請求日	平成25年11月15日 (2013.11.15)		High Tech Campus 5,
(31) 優先権主張番号	61/293, 222		NL-5656 AE Eindhove
(32) 優先日	平成22年1月8日 (2010.1.8)		n
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100107766
			弁理士 伊東 忠重
		(74) 代理人	100070150
			弁理士 伊東 忠彦