

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-213753

(P2015-213753A)

(43) 公開日 平成27年12月3日(2015.12.3)

(51) Int.Cl.
A61B 19/00 (2006.01)

F I
A61B 19/00 502

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2015-95766 (P2015-95766)
 (22) 出願日 平成27年5月8日(2015.5.8)
 (31) 優先権主張番号 10-2014-0054783
 (32) 優先日 平成26年5月8日(2014.5.8)
 (33) 優先権主張国 韓国 (KR)

(71) 出願人 390019839
 三星電子株式会社
 Samsung Electronics
 Co., Ltd.
 大韓民国京畿道水原市靈通区三星路129
 129, Samsung-ro, Yeon
 gtong-gu, Suwon-si, G
 yeonggi-do, Republic
 of Korea
 (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

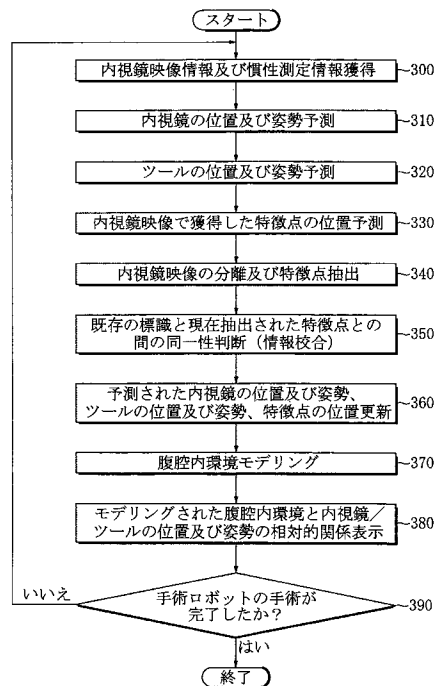
(54) 【発明の名称】 手術ロボット及びその制御方法

(57) 【要約】

【課題】 手術ロボット及びその制御方法を提供すること。

【解決手段】 手術ロボットが手術作業を行う間に、腹腔内環境に対する映像情報を獲得し、映像情報及び手術ロボットに装着された内視鏡及びツールをなす各リンクの機構学情報及び多様なセンサ情報（内視鏡映像情報、慣性測定情報など）に基づいて内視鏡及びツールの位置を認識することで、位置認識の性能（位置認識の正確性及び収斂性）を向上させることができる。

【選択図】 図10



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

内視鏡及びツールが装着された手術ロボットの制御方法であって、
前記手術ロボットが手術作業を行う間に腹腔内環境に対する映像情報を獲得するステップと、

前記映像情報及び前記内視鏡及びツールをなす各リンクの機構学情報に基づいて、前記内視鏡及びツールの位置を認識するステップと、を含む、
ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記内視鏡及びツールの位置の認識の結果に基づいて、前記腹腔内環境に対する地図を作成するステップと、をさらに含む、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記内視鏡及びツールの位置を認識するステップは、
現在獲得した映像情報及び前記機構学情報に基づいて、前記内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測するステップと、

既存の標識と前記現在獲得した映像情報から抽出された特徴点との間の同一性を判断するステップと、

前記既存の標識の位置と前記現在獲得した映像情報から抽出されて前記既存の標識とマッチングされた特徴点の位置情報を用いて、前記予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、標識に登録された特徴点の位置とを更新するステップと、を含む、

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測するステップの後、前記現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離するステップと、をさらに含む、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離するステップは、
前記予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢情報を用いて、前記内視鏡に対するツールの相対的位置及び姿勢情報を算出するステップと、

前記現在獲得した映像情報にツールモデルを投映するステップと、

前記現在獲得した映像情報をツール映像関心領域と腹腔内映像関心領域とに分離するステップと、を含む、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

内視鏡及びツールが装着された手術ロボットの制御方法であって、

前記手術ロボットが手術作業を行う間に腹腔内環境に対する映像情報及び前記手術ロボットの慣性測定情報を獲得するステップと、

前記映像情報及び前記獲得した慣性測定情報に基づいて、前記内視鏡及びツールの位置を認識するステップと、を含む、

ことを特徴とする方法。

【請求項 7】

前記内視鏡及びツールの位置認識の結果に基づいて、前記腹腔内環境に対する地図を作成するステップと、をさらに含む、

ことを特徴とする請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記内視鏡及びツールの位置を認識するステップは、

現在獲得した映像情報及び前記慣性測定情報に基づいて、前記内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測するステップと、

既存の標識と前記現在獲得した映像情報から抽出された特徴点との間の同一性を判断す

10

20

30

40

50

るステップと、

前記既存の標識の位置と前記現在獲得した映像情報から抽出されて前記既存の標識とマッチングされた特徴点の位置情報を用いて、前記予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、標識に登録された特徴点の位置とを更新するステップと、を含む、

ことを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測するステップの後、前記現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離するステップ、をさらに含む、

ことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離するステップは、

前記予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢情報を用いて、前記内視鏡に対するツールの相対的位置及び姿勢情報を算出するステップと、

前記現在獲得した映像情報にツールモデルを投映するステップと、

前記現在獲得した映像情報をツール映像関心領域と腹腔内映像関心領域とに分離するステップと、を含む、

ことを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

手術ロボットが手術作業を行う間に腹腔内環境に対する映像情報を獲得する映像情報獲得部と、

前記映像情報及び前記手術ロボットに装着された内視鏡及びツールをなす各リンクの機構学情報に基づいて、前記内視鏡及びツールの位置を認識する制御部と、を含む、

ことを特徴とする手術ロボット。

【請求項 12】

前記制御部は、前記内視鏡及びツールの位置認識の結果に基づいて、前記腹腔内環境に対する地図を作成する、

ことを特徴とする請求項 11 に記載の手術ロボット。

【請求項 13】

前記制御部は、現在獲得した映像情報及び前記機構学情報に基づいて、前記内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測し、

既存の標識と前記現在獲得した映像情報から抽出された特徴点との間の同一性を判断し、

前記既存の標識の位置と前記現在獲得した映像情報から抽出されて前記既存の標識とマッチングされた特徴点の位置情報を用いて、前記予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、標識に登録された特徴点の位置とを更新して前記内視鏡及びツールの位置を認識する、

ことを特徴とする請求項 11 または 12 に記載の手術ロボット。

【請求項 14】

前記制御部は、前記内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測した後、前記現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離する、

ことを特徴とする請求項 13 に記載の手術ロボット。

【請求項 15】

前記制御部は、前記予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢情報を用いて、前記内視鏡に対するツールの相対的位置及び姿勢情報を算出し、

前記現在獲得した映像情報にツールモデルを投映し、

前記現在獲得した映像情報をツール映像関心領域と腹腔内映像関心領域とに分離して前記現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離する、

ことを特徴とする請求項 14 に記載の手術ロボット。

【請求項 16】

手術ロボットが手術作業を行う間に腹腔内環境に対する映像情報を獲得する映像情報獲

10

20

30

40

50

得部と

前記手術ロボットの慣性測定情報を獲得する慣性測定部と、

前記映像情報及び前記慣性測定情報に基づいて、前記内視鏡及びツールの位置を認識する制御部と、を含む、

ことを特徴とする手術ロボット。

【請求項 17】

前記制御部は、前記内視鏡及びツールの位置認識の結果に基づいて、前記腹腔内環境に対する地図を作成する、

ことを特徴とする請求項 16 に記載の手術ロボット。

【請求項 18】

前記制御部は、現在獲得した映像情報及び前記慣性測定情報に基づいて、前記内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測し、

既存の標識と前記現在獲得した映像情報から抽出された特徴点との間の同一性を判断し、

前記既存の標識の位置と前記現在獲得した映像情報から抽出されて前記既存の標識とマッチングされた特徴点の位置情報を用いて、前記予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、標識に登録された特徴点の位置とを更新して前記内視鏡及びツールの位置を認識する、

ことを特徴とする請求項 16 に記載の手術ロボット。

【請求項 19】

前記制御部は、前記内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測した後、前記現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離する、

ことを特徴とする請求項 18 に記載の手術ロボット。

【請求項 20】

前記制御部は、前記予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢情報を用いて、前記内視鏡に対するツールの相対的位置及び姿勢情報を算出し、

前記現在獲得した映像情報にツールモデルを投映し、

前記現在獲得した映像情報をツール映像関心領域と腹腔内映像関心領域とに分離して前記現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離する、

ことを特徴とする請求項 19 に記載の手術ロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボット手術過程において内視鏡映像情報に基づいて内視鏡及びツールの位置をリアルタイムで推定する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

低侵襲手術 (Minimal Invasive Surgery) とは、患部の大きさを最小化する手術を総称するもので、腹腔鏡手術 (Laparoscopic Surgery) や、手術ロボット (surgical robot) を用いた手術が低侵襲手術の代表的な例である。低侵襲手術は、人体の一部 (例: 腹部) に大きな切開窓を開いて施行する開腹手術と異なって、腹部に 0.5 cm ~ 1.5 cm 大きさの小さな穴 (切開孔または侵襲口) を 1 つまたは複数形成し、切開孔を介してビデオカメラ (内視鏡) と各種器具を入れた後、映像を見ながら施行する手術方法である。

【0003】

このような低侵襲手術は開腹手術と違って手術後に痛みが少なく、腸運動の早期回復及び食べ物の早期摂取が可能で入院期間が短く、正常状態への復帰が早く、切開範囲が狭くて美容効果が優れるという特徴を有する。このような特徴により低侵襲手術は胆嚢切除術、前立腺癌手術、脱腸矯正術などに使用されていて、その分野は一層広がる趨勢である。

【0004】

10

20

30

40

50

手術ロボットは、操作者（主に医師）の操作によって必要な信号を生成して伝送するマスタ装置とマスタ装置から信号を受けて直接患者に対して手術に必要な操作を行うスレーブロボットからなるが、通常、スレーブロボットは手術室に、マスタ装置は操作室にそれぞれ設置され、マスタ装置とスレーブロボットとを有線又は無線で連結して遠隔で手術を行う。

【0005】

このような手術ロボットを用いて腹腔内においてロボット手術を行う場合、操作者は内視鏡を介して腹腔内環境に対する情報をモニタリングすることができる。しかしながら、狭い視野の範囲を有する内視鏡では、手術を行っている間に操作者に対して腹腔内での内視鏡及びツールがどの位置あるかについての判断ができなくなる。これは、内視鏡とツールの間の干渉または衝突を起こしたり、内視鏡及びツールの不必要な動きによる臓器/組織損傷を起こす主な原因のうちの1つとなる。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

内視鏡の位置及び姿勢だけでなく、ツールの位置及び姿勢まで位置認識フィルタの状態変数として利用して内視鏡の位置認識とツールの位置認識を同時に行うことで、位置認識の性能（位置認識の正確性及び収斂性）を向上させることができる手術ロボット及びその制御方法を提案する。

20

【0007】

また、内視鏡及びツールの位置認識過程において機構学情報及び多様なセンサ情報（内視鏡映像情報、慣性測定情報など）を融合することで、位置認識の性能（位置認識の正確性及び収斂性）を向上させることができる手術ロボット及びその制御方法を提案する。

【0008】

また、位置認識フィルタの結果物である内視鏡の位置/姿勢情報及び腹腔内特徴点の位置情報に基づいて腹腔内環境をモデリングすることで、モデリングされた腹腔内環境と内視鏡/ツールの位置及び姿勢との相対的な関係をリアルタイムに把握することができる手術ロボット及びその制御方法を提案する。

【課題を解決するための手段】

【0009】

手術ロボットの制御方法は、内視鏡及びツールが装着された手術ロボットの制御方法において、手術ロボットが手術作業を行う間に腹腔内環境に対する映像情報を獲得し、映像情報及び内視鏡及びツールをなす各リンクの機構学情報に基づいて内視鏡及びツールの位置を認識する。

30

【0010】

また、内視鏡及びツールの位置認識の結果に基づいて腹腔内環境に対する地図を作成することをさらに含む。

【0011】

また、内視鏡及びツールの位置を認識することは、現在獲得した映像情報及び機構学情報に基づいて内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測し、既存の標識と現在獲得した映像情報から抽出された特徴点との間の同一性を判断し、既存の標識の位置と現在獲得した映像情報から抽出されて既存の標識とマッチングした特徴点との位置情報を用いて予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、標識に登録された特徴点の位置を更新することを含む。

40

【0012】

また、内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置を予測した後、現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離することをさらに含む。

【0013】

また、現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離することは、予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢情報を用いて内視鏡に対するツールの相対的位置及び姿勢情報を

50

算出し、現在獲得した映像情報にツールモデルを投映し、現在獲得した映像情報をツール映像関心領域と腹腔内映像関心領域とに分離することを含む。

【0014】

手術ロボットの制御方法は、内視鏡及びツールが装着された手術ロボットの制御方法において、手術ロボットが手術作業を行う間に腹腔内環境に対する映像情報及び手術ロボットの慣性測定情報を獲得し、映像情報及び獲得した慣性測定情報に基づいて内視鏡及びツールの位置を認識する。

【0015】

また、内視鏡及びツールの位置認識の結果に基づいて腹腔内環境に対する地図を作成することをさらに含む。

10

【0016】

また、内視鏡及びツールの位置を認識することは、現在獲得した映像情報及び慣性測定情報に基づいて内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測し、既存の標識と現在獲得した映像情報から抽出された特徴点との間の同一性を判断し、既存の標識の位置と現在獲得した映像情報から抽出されて既存の標識とマッチングされた特徴点との位置情報を用いて予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、標識に登録された特徴点との位置を更新することを含む。

【0017】

また、内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測した後、現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離することをさらに含む。

20

【0018】

また、現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離することは、予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢情報を用いて内視鏡に対するツールの相対的位置及び姿勢情報を算出し、現在獲得した映像情報にツールモデルを投映し、現在獲得した映像情報をツール映像関心領域と腹腔内映像関心領域とに分離することを含む。

【0019】

手術ロボットは、手術ロボットが手術作業を行う間に腹腔内環境に対する映像情報を獲得する映像情報獲得部と、映像情報及び手術ロボットに装着された内視鏡及びツールをなす各リンクの機構学情報に基づいて内視鏡及びツールの位置を認識する制御部とを含む。

【0020】

また、制御部は、内視鏡及びツールの位置認識の結果に基づいて腹腔内環境に対する地図を作成する。

30

【0021】

また、制御部は、現在獲得した映像情報及び機構学情報に基づいて内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測し、既存の標識と現在獲得した映像情報から抽出された特徴点との間の同一性を判断し、既存の標識の位置と現在獲得した映像情報から抽出されて既存の標識とマッチングされた特徴点の位置情報を用いて予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、標識に登録された特徴点の位置とを更新して内視鏡及びツールの位置を認識する。

【0022】

また、制御部は、内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置を予測した後、現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離する。

40

【0023】

また、制御部は、予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢情報を用いて内視鏡に対するツールの相対的位置及び姿勢情報を算出し、現在獲得した映像情報にツールモデルを投映し、現在獲得した映像情報をツール映像関心領域と腹腔内映像関心領域とに分離して現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離する。

【0024】

手術ロボットは、手術ロボットが手術作業を行う間に腹腔内環境に対する映像情報を獲得する映像情報獲得部と、手術ロボットの慣性測定情報を獲得する慣性測定部と、映像情

50

報及び慣性測定情報に基づいて内視鏡及びツールの位置を認識する制御部とを含む。

【0025】

また、制御部は、内視鏡及びツールの位置認識の結果に基づいて腹腔内環境に対する地図を作成する。

【0026】

また、制御部は、現在獲得した映像情報及び慣性測定情報に基づいて内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測し、既存の標識と現在獲得した映像情報から抽出された特徴点との間の同一性を判断し、既存の標識の位置と現在獲得した映像情報から抽出されて既存の標識とマッチングされた特徴点の位置情報を用いて予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、標識に登録された特徴点の位置とを更新して内視鏡及びツールの位置を認識する。

10

【0027】

また、制御部は、内視鏡及びツールの位置及び姿勢と、特徴点の位置とを予測した後、現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離する。

【0028】

また、制御部は、予測された内視鏡及びツールの位置及び姿勢情報を用いて内視鏡に対するツールの相対的位置及び姿勢情報を算出し、現在獲得した映像情報にツールモデルを投映し、現在獲得した映像情報をツール映像関心領域と腹腔内映像関心領域とに分離して現在獲得した映像情報を複数の関心領域に分離する。

【発明の効果】

20

【0029】

本発明の手術ロボット及びその制御方法によれば、内視鏡の位置及び姿勢だけでなく、ツールの位置及び姿勢まで位置認識フィルタの状態変数として利用して内視鏡の位置認識とツールの位置認識を同時に行うことで、位置認識の性能（位置認識の正確性及び収斂性）を向上させることができる。

【0030】

また、本発明の手術ロボット及びその制御方法によれば、内視鏡及びツールの位置認識過程で機構学情報及び多様なセンサ情報（内視鏡映像情報、慣性測定情報など）を融合することで、位置認識の性能（位置認識の正確性及び収斂性）を向上させることができる。

【0031】

また、本発明の手術ロボット及びその制御方法によれば、位置認識フィルタの結果物である内視鏡の位置／姿勢情報及び腹腔内の特徴点の位置情報に基づいて腹腔内環境をモデリングすることで、モデリングされた腹腔内環境と内視鏡／ツールの位置及び姿勢の相対的関係をリアルタイムに把握することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】手術ロボットの全体構造の一例を示す斜視図である。

【図2】図1に示す「A」部分の内部状態を示す図である。

【図3】手術ロボット制御の一例を示すブロック図である。

【図4】手術ロボット制御の他の例を示すブロック図である。

40

【図5】位置認識フィルタの概念を説明するための図である。

【図6】カメラ（内視鏡）座標系に対するツールの相対的位置情報を算出する概念を説明するための図である。

【図7A】内視鏡映像にツールモデルを投映して獲得した結果の映像図である。

【図7B】ツール映像と腹腔内映像とを分離した結果の映像図である。

【図8A】内視鏡及びツールの同時位置認識結果及び腹腔内環境情報と相対的距離を表示した結果の映像を例示した図である。

【図8B】内視鏡及びツールの同時位置認識結果及び腹腔内環境情報と相対的距離を表示した結果の映像を例示した図である。

【図9】腹腔モデリング情報（内視鏡映像）と事前モデル情報（診断映像）とを整合して

50

獲得した結果の映像図である。

【図10】手術ロボットの制御方法の一例を示すフローチャートである。

【図11】図10に示す内視鏡映像の分離及び特徴点の抽出過程を詳細に示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0033】

以下に、添付図面を参照しながら実施形態を詳細に説明する。

【0034】

図1は、手術ロボットの全体構造の一例を示す斜視図であり、図2は、図1に示す「A」部分の内部状態を示す図である。特に、図1は、末端部に手術器具(surgical tool)が付着された複数の手術機構(surgical instrument)を1つの切開孔(single-port)を介して患者の体内に進入させて、人体内の多様な場所で手術を可能にさせたシングルポート手術ロボット(Single-Port Surgical Robot)を示す。シングルポート手術ロボットを利用する手術では、以下に説明する多様な要件が必要である。1番目に、複数の手術器具が1つの切開孔を介して体内に進入した後に手術作業のために任意の位置に移動可能でなければならないので、手術器具の作業領域(work space)が広くなければならない。2番目に、手術器具が高い自由度を有して多様な作業が可能でありながら、腹腔壁などの人体組織との衝突を最小化すべきである。3番目に、広い作業領域と高自由度を有するスレーブロボットを利用して手術することにおいて、視覚的案内(Visual Guidance)機能を介して操作者に有用な情報を提供して安全かつ精密な手術が行われるように支援しなければならない。

10

20

30

【0035】

図1に示すように、手術ロボットは、手術台に横たわった患者に手術を行うスレーブロボット200と、操作者(主に医師)がスレーブロボット200を遠隔操作のために用いるマスタ装置100とを含んでなる。マスタ装置100は操作者(主に医師)の操作による制御信号を生成してスレーブロボット200に伝送する。一方、スレーブロボット200は、マスタ装置100から制御信号を受信し、受信された制御信号によって動いて手術に必要な操作を患者に加える。ここで、マスタ装置100とスレーブロボット200とは必ず物理的に独立した別途の装置として分離しなければならないのではなく、1つに統合されて一体型として構成されてもよい。

【0036】

図1及び図2に示すように、スレーブロボット200は、マウンティングアーム202及び円筒状のケーシング204を含むことができる。

【0037】

スレーブロボット200のマウンティングアーム202は、多自由度を有して駆動されるように実現することができる。マウンティングアーム202は複数のリンク及び複数の関節からなり、その上部には円筒状のケーシング204が連結される。ケーシング204には、内部に複数のツール212a、212b及び内視鏡214を含むガイドチューブ210と、複数のツール212a、212b及び内視鏡214とガイドチューブ210の駆動のための駆動部(図3の260A及び図4の260B参照)が内蔵される。ガイドチューブ210はマウンティングアーム202に連結設置される。スレーブロボット200が手術を行わないときには、ガイドチューブ210がケーシング204内に内蔵されていて、スレーブロボット200が手術を行うときには図1及び図2に示すようにケーシング204内に内蔵していたガイドチューブ210を外に出し患者の体内に挿入される。

40

【0038】

ガイドチューブ210が患者の体内に挿入されて手術作業を行う状態(図1に示す「A」部分の内部状態)をより詳細に参照すると、図2に示す通りである。ガイドチューブ210が患者の肌形成された切開孔Iを介して体内に進入した後、手術しようとする部位(手術部位)に接近するとガイドチューブ210から複数のツール212a、212bと

50

内視鏡 2 1 4 が分岐されて手術作業を行う。ここで、ガイドチューブ 2 1 0、複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b、及び内視鏡 2 1 4 もマウンティングアーム 2 0 2 と同様に、複数のリンク及び複数の関節からなって多自由度を有し、駆動されるように実現することができる。複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b のそれぞれの末端部 (distal end) には、腹腔内で臓器と接触し、切断したり縫い込むなど直接的な手術作業を行う鉗子 (forceps)、ジョー (jaw)、グラスパー (grasper)、シザーズ (scissors)、ステープラー (stapler)、焼灼器 (cautery)、ニードル (needle) などの手術器具 (surgical tool) であるエンドエフェクタ 2 1 6 a、2 1 6 b が装着される。また、内視鏡 2 1 4 の末端部には、腹腔内観察対象 (例：臓器、組織、病変) などに対する映像情報を獲得する内視鏡カメラ 2 1 8 が装着される。内視鏡 2 1 4 では、ロボット手術に、主に使われる腹腔鏡 (laparoscope) 以外に、胸腔鏡 (thoracoscopy)、関節鏡 (arthroscope)、及び鼻鏡 (rhinoscope) など多様な手術用内視鏡が使用される。

10

【0039】

一方、マスタ装置 1 0 0 は、マスタ操作器 1 1 2 L、1 1 2 R、ペダルセンサ 1 1 4 L、1 1 4 R 及び表示部 1 1 6 を含むことができる。

【0040】

マスタ装置 1 0 0 は、操作者が両手にそれぞれ把持して操作するマスタ操作器 1 1 2 L、1 1 2 R を備える。操作者は、マスタ操作器 1 1 2 L、1 1 2 R を介してスレーブロボット 2 0 0 のマウンティングアーム 2 0 2、ガイドチューブ 2 1 0、複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b、及び内視鏡 2 1 4 の位置及び機能を操作する。マスタ操作器 1 1 2 L、1 1 2 R は、3 次元空間上でマウンティングアーム 2 0 2 などの x 軸、y 軸、z 軸の併進運動 (translational motion) 及びロール (roll) 方向、ピッチ (pitch) 方向、ヨー (yaw) 方向の回転運動 (rotational motion) を制御するために 6 自由度を有するように実現される。マスタ操作器 1 1 2 L、1 1 2 R は、図 1 に例示したように、2 つのハンドルに実現され、操作者のハンドル操作による制御信号がスレーブロボット 2 0 0 に伝送されてマウンティングアーム 2 0 2 などを含むスレーブロボット 2 0 0 の動作が制御される。操作者のハンドル操作によりマウンティングアーム 2 0 2、ガイドチューブ 2 1 0、複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b、及び内視鏡 2 1 4 の併進運動及び回転運動、このような動きを利用して実質的な手術作業 (例：縫合、配管挿入など) が行われる。

20

30

【0041】

マスタ装置 1 0 0 は、マスタ操作器 1 1 2 L、1 1 2 R の操作機能を拡張するために、操作者が両足でそれぞれ踏んだり押ししたりして操作できるように、2 つのペダルセンサ 1 1 4 L、1 1 4 R を含む。図 1 に示す 2 つのハンドルから構成されるマスタ操作器 1 1 2 L、1 1 2 R と 2 つのペダルセンサ 1 1 4 L、1 1 4 R を利用してマウンティングアーム 2 0 2 などの動作を制御する方式を詳細な例として説明すると、まず、左側ハンドル 1 1 2 L を利用してマウンティングアーム 2 0 2 の位置及び動作を制御し、右側ハンドル 1 1 2 R を利用してガイドチューブ 2 1 0 の位置及び動作を制御することができる。また、マスタ装置 1 0 0 に用意されているモードスイッチ (図示せず) またはボタン (図示せず) が操作された状態では、左側ハンドル 1 1 2 L を利用して第 1 ツール (左側ツール、2 1 2 a) の位置及び動作を制御し、右側ハンドル 1 1 2 R を利用して第 2 ツール (右側ツール、2 1 2 b) の位置及び動作を制御することができる。これに加えて (モードスイッチまたはボタンが操作された後)、左側ペダルセンサ 1 1 4 L が操作された状態では、左側ハンドル 1 1 2 L を利用して内視鏡 2 1 4 の位置及び動作を制御することができる。また、モードスイッチまたはボタンが操作された後、右側ペダルセンサ 1 1 4 R が操作された状態で右側ハンドル 1 1 2 R を利用して内視鏡 2 1 4 の位置及び動作を制御できるように実現することも可能である。

40

【0042】

図 1 では、マスタ装置 1 0 0 に 2 つのマスタ操作器ハンドルが装着された場合を例とし

50

て説明したが、ハンドルをさらに追加して同時に複数の手術装備（例：ガイドチューブ、複数のツール）をリアルタイムで操作できるように実現することも可能である。ハンドル 112L、112Rは、その操作方式によって多様な機構的構成を有することができ、例えば、ジョイスティック（joystick）など3次元的な動きを有することができながらスレーブロボット200のマウンティングアーム202、ガイドチューブ210及び複数のツール212a、212bなどを作動させるための多様な入力手段が利用される。マスタ操作器112L、112Rには、複数のリンク及び複数の関節（リンクとリンクとの連結部位）が連結される。マスタ操作器112L、112Rに連結される複数の関節のそれぞれには、マスタ操作器112L、112Rに連結される各関節の回転角度を検出する回転角センサ（例：エンコーダ）が装着される。

10

【0043】

マスタ装置100の表示部116には、内視鏡214により入力された映像が画像イメージとして表示される。表示部116は、1つ以上のモニタで構成されることができ、各モニタに手術時に必要な情報が個別的に表示されるようにすることができる。図1には、表示部116が3つのモニタを含む場合が例示されたが、モニタの数は表示を要する情報の種類や種類などによって多様に決定される。

【0044】

マスタ装置100とスレーブロボット200は、有線通信網または無線通信網を介して相互結合されて制御信号、内視鏡214を介して入力された内視鏡映像及び各種センサ（例：慣性センサ）を介して入力された検出情報などが相手（スレーブロボットまたはマスタ装置）に伝送される。万一、マスタ装置100に用意された2つのマスタ操作器ハンドルによる2つの制御信号が伝送される必要がある場合に、2つの制御信号は相互独立的に伝送することができる。例えば、ガイドチューブ210から分岐した第1ツール212aの位置調整のための制御信号とガイドチューブ210から分岐した第2ツール212bの位置調整のための制御信号とが同時にまたは近接する時点で伝送される必要がある場合、各制御信号は相互独立的にスレーブロボット200に伝送される。

20

【0045】

独立的に伝送される制御信号は、互いに干渉せず、いずれか1つの制御信号が他の1つの制御信号に影響を与えない。このように、複数の制御信号が互いに独立的に伝送されるためには、各制御信号の生成段階において各制御信号に対するヘッダ情報を付加して伝送するか、各制御信号がその生成手順によって伝送されるようにするか、または各制御信号の伝送手順に関して予め優先順位を決めておいて、それにより伝送されるようにするなど多様な方式が利用される。この場合、各制御信号が伝送される伝送経路が独立的に備えられることで各制御信号との間に干渉が根本的に防止できるようにすることができる。

30

【0046】

図3は、手術ロボット制御の一例を示すブロック図である。

【0047】

図3に示すように、手術ロボットは、マスタ装置100A及びスレーブロボット200Aを含んでなる。

【0048】

マスタ装置100Aは、入力部120A、保存部130A、マスタ制御部140A、通信部150A、及び表示部116Aを含むことができる。

40

【0049】

入力部120Aは、使用者がスレーブロボット200Aの動作命令（例：手術開始命令、手術作業命令など）を入力するためのものであって、上述のマスタ操作器112L、112R及びペダルセンサ114L、114R、または使用者インターフェースUIなどで実現することができる。

【0050】

保存部130Aは、マスタ制御部140Aが内視鏡214及び複数のツール212a、212bに対する位置認識を行うために必要とする事前情報及びアルゴリズムと、位置認

50

識の実行結果を保存するためのメモリであって、保存部130Aには、複数のツール212a、212bのそれぞれに対する3次元モデル情報(CADモデル情報)、内視鏡214及び複数のツール212a、212bのそれぞれをなす各リンク(関節と関節との間を連結する器具構造)の機構学的情報(長さ情報)、スレーブロボット200Aの手術作業進行過程で視覚センサ基盤SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)アルゴリズムを用いて算出される内視鏡214及び複数のツール212a、212bに対する位置認識結果(内視鏡の位置/姿勢情報、複数のツールの位置/姿勢情報及び標識の位置情報)及び位置認識結果に基づいて作成される腹腔内環境に対する3次元地図などが保存される。保存部130Aは、さらに手術以前に撮影したエックス-レイ(X-ray)映像、超音波映像、コンピュータ断層撮映(CT)映像及び磁気共鳴映像(MRI)などの多様な診断映像などを保存することができる。

10

【0051】

マスタ制御部140Aは、手術ロボットの全般的な動作を制御するためのプロセッサであって、マスタ制御部140Aは、さらに位置推定部142A、地図作成部144A、及び映像処理部146Aを含む。

【0052】

位置推定部142Aは、スレーブロボット200A側の映像情報獲得部220Aを介して獲得された映像情報及び上述の内視鏡214及び複数のツール212a、212bのそれぞれをなす各リンクの機構学的情報にSLAMアルゴリズムを適用するか、または映像情報獲得部220Aを介して獲得された映像情報及び慣性測定部225Aを介して獲得された慣性測定情報(加速度情報または角速度情報)にSLAMアルゴリズムを適用して内視鏡214に対する位置/姿勢及び複数のツール212a、212bに対する位置/姿勢を推定する。SLAMアルゴリズムは、映像内の特徴点(feature)の位置と内視鏡214及び複数のツール212a、212bの位置/姿勢情報を1つの状態変数(state variable)として設定して確率的なフィルタ技法を介して状態変数をなす要素を同時に推定することになり、その過程は予測(Prediction)段階、データ統合(Data Association)段階、及び更新(Update)段階からなって繰り返し行われる。このとき、確率フィルタでは、拡張カルマンフィルタ(Extended Kalman Filter)、パーティクルフィルタ(Particle Filter)などが使用される。さらに位置推定部142Aは視覚センサ基盤オドメトリ技法を利用して内視鏡214に対する位置/姿勢を推定することができる。

20

30

【0053】

地図作成部144Aは、位置推定部142Aを介して行われた位置認識結果である内視鏡214の位置情報及び姿勢情報と腹腔内映像の特徴点の位置情報から腹腔内環境に対する3次元地図を作成する。

【0054】

映像処理部146Aは、スレーブロボット200Aの映像情報獲得部220A、例えば内視鏡214の末端部に装着された内視鏡カメラ218から入力された映像を画像イメージに出力するために入力された映像に対する処理を行う。ここで、映像処理の例では、撮影された映像の拡大、縮小、回転、移動、編集及びフィルタリングなどがあげられる。

40

【0055】

通信部150Aは、有線通信網または無線通信網を介してマスタ制御部140A及びスレーブロボット200Aの通信部250Aに連結されてデータを送受信する通信回路であって、マスタ制御部140Aを介して生成されたトルク制御信号(各関節の目標回転角度を追従するための関節トルクに相応するトルク制御信号)をスレーブロボット200Aに伝送するか、または映像情報獲得部220Aを介して獲得された映像情報(内視鏡映像情報)及び慣性測定部225Aを介して獲得された慣性測定情報などをスレーブロボット200Aから受信することができる。

【0056】

表示部116Aは、位置推定部142Aを介して行われた位置認識の結果及び地図作成

50

部 1 4 4 A を介して作成された腹腔内環境に対する地図に基づいてモデリングされた腹腔内環境と内視鏡 2 1 4 及びツール 2 1 2 a、2 1 2 b の位置 / 姿勢の相対的関係を表示する。

【 0 0 5 7 】

また、表示部 1 1 6 A は、スレーブロボット 2 0 0 A の映像情報獲得部 2 2 0 A、例えば内視鏡カメラ 2 1 8 から伝達された内視鏡映像に相応する画像イメージ及び / または保存部 1 3 0 A に保存されている手術以前に撮影されたエックス - レイ (X - r a y) 映像、超音波映像、コンピュータ断層撮映 (C T) 映像及び磁気共鳴映像 (M R I) などの多様な診断映像などを視覚的情報に出力する。

【 0 0 5 8 】

スレーブロボット 2 0 0 A は、マスタ装置 1 0 0 A から受信された制御信号によりマウンティングアーム 2 0 2、ガイドチューブ 2 1 0、複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b、及び内視鏡 2 1 4 を動作させて直接患者に対して手術に必要な操作を加える。このようなスレーブロボット 2 0 0 A は、図 3 に示すように、映像情報獲得部 2 2 0 A、慣性測定部 2 2 5 A、保存部 2 3 0 A、スレーブ制御部 2 4 0 A、通信部 2 5 0 A、及び駆動部 2 6 0 A を含むことができる。

【 0 0 5 9 】

映像情報獲得部 2 2 0 A は、患者体内に挿入されて移動しながら内臓臓器や体腔内部を撮影して手術部位の映像情報を獲得する。映像情報獲得部 2 2 0 A は内視鏡 2 1 4 で実現することができる。映像情報獲得部 2 2 0 A を介して獲得された映像情報はスレーブ制御部 2 4 0 A 内の映像処理部 2 4 6 A に伝達されて映像処理過程を経るか、映像処理過程なしに通信部 2 5 0 A を介してマスタ装置 1 0 0 A に伝送され得る。

【 0 0 6 0 】

慣性測定部 2 2 5 A は、スレーブロボット 2 0 0 A の加速度、速度、方向 (角度) など多様な航法関連情報を測定するためのものであって、スレーブロボット 2 0 0 A の複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b 及び / または内視鏡 2 1 4 に設けられて姿勢情報 (角度情報) を検出する。慣性測定部 2 2 5 A は、重力方向と慣性系に対してマウンティングアーム 2 0 2 の相対的角度を検出してロール方向、ピッチ方向、ヨー方向の姿勢情報 (角度情報) を発生させる。慣性測定部 2 2 5 A は、角度を測定する勾配センサと、角速度を測定する角速度センサを含んで構成される。勾配センサとしては加速度計 (a c c e l e r o m e t e r) が用いられ、角速度センサとしてはレートジャイロスコープ (r a t e - g y r o s c o p e) が用いられる。

【 0 0 6 1 】

保存部 2 3 0 A はスレーブロボット 2 0 0 A の動作を制御するのに必要な情報及びアルゴリズム、スレーブロボット 2 0 0 A 側で獲得された情報などを保存する。例えば、保存部 2 3 0 A 内には映像情報獲得部 2 2 0 A を介して獲得された手術部位に対する映像情報及び慣性測定部 2 2 5 A を介して獲得された慣性測定情報 (加速度情報または角速度情報) が保存される。また、保存部 2 3 0 A は、手術以前に撮影したエックス - レイ (X - r a y) 映像、超音波映像、コンピュータ断層撮映 (C T) 映像及び磁気共鳴映像 (M R I) などの多様な診断映像などを保存することができる。

【 0 0 6 2 】

スレーブ制御部 2 4 0 A は、スレーブロボット 2 0 0 A をなす各種構成要素を連結してスレーブロボット 2 0 0 A の動作を制御するためのプロセッサであって、映像情報獲得部 2 2 0 A で獲得された手術部位の映像情報を、通信部 2 5 0 A を介してマスタ装置 1 0 0 A に伝送するか、またはマスタ制御部 1 4 0 A で生成したトルク制御信号を、通信部 2 5 0 A を介して受信して駆動部 2 6 0 A に伝達する役割をする。

【 0 0 6 3 】

またスレーブ制御部 2 4 0 A は、映像情報獲得部 2 2 0 A を介して獲得された手術部位の映像に対する処理を行う映像処理部 2 4 6 A を含むことができる。ここで、映像処理の例では、撮影された映像の拡大、縮小、回転、移動、編集及びフィルタリングなどがあげ

10

20

30

40

50

られる。スレーブ制御部 240 A 内で行われる映像処理過程は場合によって省略することができる。

【0064】

通信部 250 A は、有線通信網または無線通信網を介してスレーブ制御部 240 A 及びマスタ装置 100 A の通信部 150 A に連結されてデータを送受信する通信回路であって、マスタ装置 100 A からトルク制御信号を受信するか、または映像情報獲得部 220 A を介して獲得された映像情報（内視鏡映像情報）及び慣性測定部 225 A を介して獲得された慣性測定情報（加速度情報または角速度情報）などをマスタ装置 100 A に伝送することができる。

【0065】

駆動部 260 A は、マウンティングアーム 202、ガイドチューブ 210、それぞれのツール 212 a、212 b、及び内視鏡 214 をなす複数の関節それぞれに電気または油圧による動力を伝達するためのモータなどのアクチュエータであって、マスタ制御部 140 A から伝達されたトルク制御信号によりマウンティングアーム 202、ガイドチューブ 210、それぞれのツール 212 a、212 b、及び内視鏡 214 をなす各関節を回転駆動する。

【0066】

図 4 は、手術ロボット制御の他の例を示すブロック図である。

【0067】

以上では、図 3 を参照して一実施形態に係る手術ロボットのマスタ装置 100 A 及びスレーブロボット 200 A の制御構成を説明した。図 3 は、マスタ装置 100 A のマスタ制御部 140 A が内視鏡 214 の位置及び姿勢と、複数のツール 212 a、212 b の位置及び姿勢を推定する位置推定部 142 A 及び位置推定部 142 A の位置認識結果に基づいて腹腔内環境をモデリングする地図作成部 144 A を含む場合を示す。これとは異なって、図 4 に示す実施形態では、位置推定部 242 B 及び地図作成部 244 B がスレーブロボット 200 B のスレーブ制御部 240 B 内に含まれる。

【0068】

図 4 に示す実施形態の場合、スレーブ制御部 240 B が内視鏡 214 及び複数のツール 212 a、212 b に対する位置推定過程を行うので、スレーブロボット 200 B 側の保存部 230 B 内に内視鏡 214 及び複数のツール 212 a、212 b の位置/姿勢を推定するのに必要な情報が保存される。例えば、複数のツールのそれぞれに対する 3次元モデル情報、内視鏡 214 及び複数のツール 212 a、212 b のそれぞれをなす各リンクの機構学的情報が保存部 230 B に保存される。また保存部 230 B には、位置推定部 242 B で行われた内視鏡 214 及び複数のツール 212 a、212 b に対する位置認識結果（内視鏡の位置/姿勢情報、複数のツールの位置/姿勢情報及び標識の位置情報）及び位置認識結果に基づいて作成される腹腔内環境に対する 3次元地図が保存される。このとき、スレーブ制御部 240 B 内の位置推定部 242 B で行われた位置認識結果及び位置認識結果に基づいて作成された腹腔内環境に対する地図は、通信部 250 B、150 B を介してマスタ制御部 140 B に伝達され、マスタ制御部 140 B は受信された位置認識結果及び腹腔内環境に対する地図に基づいてモデリングされた腹腔内環境と内視鏡及びツールの位置/姿勢との相対的関係を表示部 116 B に表示する。

【0069】

図 4 に示す手術ロボットの制御構成は、図 3 に示す手術ロボットの制御構成と比較した場合、位置推定部 242 B 及び地図作成部 244 B がマスタ制御部 140 B でないスレーブ制御部 240 B 内に設けられるという点だけに差があって、その以外の他の構成要素は図 3 に示す手術ロボットの構成要素と等しいので、ここでは詳しい説明を省略する。

【0070】

以下では、図 5 ないし図 10 を参照して手術ロボットに装着された内視鏡及びツールの位置/姿勢を推定認識する方法と認識結果に基づいて腹腔内環境に対する地図を作成する方法について詳細に説明する。

10

20

30

40

50

【0071】

図5は、位置認識フィルタの概念を説明するための図である。

【0072】

図5に示すように、位置認識フィルタは、ロボット手術過程において内視鏡214の位置及び姿勢 r_{EN} 、 q_{EN} 、複数のツール212a、212bの位置及び姿勢 r_{LT} 、 q_{LT} 、 r_{RT} 、 q_{RT} 、腹腔内映像の特徴点 y_l 、ツール映像の特徴点 $y_{LT,i}$ 、 $y_{RT,j}$ を全域座標系(World Coordinate)Wに対して同時にリアルタイムで推定することができる。参照までに、図5において、符号Oは臓器(器官、organ)を示し、符号Lは病変(lesion)を示す。

【0073】

位置認識フィルタは、基本的に全域座標系Wに対する内視鏡214及びツール212a、212bの3次元位置(position) r と3次元姿勢(orientation) q 、内視鏡映像に表示される特徴点(feature)の3次元位置 y を1つの状態変数(state variable) $x(k|k)$ で構成し、確率基盤フィルタアルゴリズム(例えば、Kalman Filter、Particle Filterなど)を介して位置推定を行う。ここで、内視鏡214及びツール212a、212bの3次元姿勢は、四元数(quaternion)で表示される。

【0074】

図5に示すように、スレーブロボット200に1つの内視鏡214と2つのツール212a、212bが装着されている場合、位置認識フィルタは内視鏡214の位置及び姿勢 r_{EN} 、 q_{EN} 、2つのツール212a、212bの位置及び姿勢 r_{LT} 、 q_{LT} 、 r_{RT} 、 q_{RT} 、腹腔内映像から抽出した複数個の特徴点の位置 y 、ツール映像から抽出した複数個の特徴点の位置 $y_{LT,i}$ 、 $y_{RT,j}$ を状態変数として有することができる。状態変数 $x(k|k)$ は、下記数式(1)のように示される。

【0075】

【数1】

$$x(k|k) = \begin{bmatrix} r_{EN}(k|k) \\ q_{EN}(k|k) \\ r_{LT}(k|k) \\ q_{LT}(k|k) \\ r_{RT}(k|k) \\ q_{RT}(k|k) \\ y_l(k|k) \\ y_{LT,i}(k|k) \\ y_{RT,j}(k|k) \end{bmatrix} \quad (1)$$

【0076】

内視鏡214及びツール212a、212bの位置/姿勢、腹腔内映像から抽出した複数個の特徴点の位置及びツール映像から抽出した複数個の特徴点の位置をリアルタイムで推定するための位置認識フィルタは大きく、予測(Prediction)段階と更新(Update)段階からなっていて、各段階を繰り返し行う。

【0077】

以下では、まず状態変数をなす構成要素のうちの内視鏡 2 1 4 とツール 2 1 2 a、2 1 2 b の位置及び姿勢 r_{EN} 、 q_{EN} 、 r_{LT} 、 q_{LT} 、 r_{RT} 、 q_{RT} を予測する過程について説明する。

【0078】

位置認識フィルタで内視鏡 2 1 4 とツール 2 1 2 a、2 1 2 b の位置及び姿勢 r_{EN} 、 q_{EN} 、 r_{LT} 、 q_{LT} 、 r_{RT} 、 q_{RT} を予測するという事は、内視鏡 2 1 4 とツール 2 1 2 a、2 1 2 b の位置及び姿勢 r_{EN} 、 q_{EN} 、 r_{LT} 、 q_{LT} 、 r_{RT} 、 q_{RT} を更新段階においてセンサ情報と融合 (fusion) する前に、現在段階の状態変数を動きモデルを介して推定することを意味する。このとき、内視鏡 2 1 4 とツール 2 1 2 a、2 1 2 b は、共通的に内視鏡 2 1 4 及び複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b のそれぞれをなす各リンクの機構学情報 (長さ情報) を利用するか、慣性測定部 2 2 5 A、2 2 5 B を介して測定された加速度情報または角速度情報などを利用し、内視鏡 2 1 4 とツール 2 1 2 a、2 1 2 b が以前段階 $k - 1$ で現在段階 k に移動した程度を相対的位置及び姿勢変化情報 r 、 q 形態の測定値として算出することができる。

10

【0079】

一方、映像情報を利用することができる内視鏡 2 1 4 の場合には、視覚センサ基盤オドメトリ技法を活用して、現在段階 k の映像と以前段階 $k - 1$ の映像の入力を受けて各映像から視覚特徴点 (feature) を抽出して各映像から抽出された特徴点をマッチングして得られた相関関係から内視鏡 2 1 4 の相対的位置及び姿勢変化情報 r 、 q を測定値として算出することができる。

20

【0080】

相対的位置及び姿勢変化情報から予測状態変数を求める過程は、動き予測モデル $f(\cdot)$ を利用して構成される。この過程は、下記数式 (2) のように表現することができる。

【0081】

【数 2】

$$x(k|k-1) = f(x(k-1|k-1), \delta x(k)) \quad (2)$$

30

【0082】

上記の数式 (2) は、位置認識フィルタをなす予測段階で相対的位置及び姿勢変化情報を用いて予測状態変数を算出するための包括的な数式である。ここで、 $x(k|k-1)$ は予測状態変数を示し、 $f(\cdot)$ は動き予測モデルを示し、 $x(k-1|k-1)$ は以前段階 $k - 1$ で更新された状態変数を示し、 $\delta x(k)$ は相対的位置及び姿勢変化情報を示す。

【0083】

数式 (2) は、以前段階で更新された状態変数 $x(k-1|k-1)$ と以前段階 $k - 1$ で現在段階 k に移動した程度を示す相対的位置及び姿勢変化情報 $\delta x(k)$ に対して動き予測モデル $f(\cdot)$ を適用して現在段階 k での予測状態変数 $x(k|k-1)$ を算出する過程を意味するものとする。数式 (2) に記載された状態変数 x は、内視鏡 2 1 4 及び複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b の位置情報及び姿勢情報をすべて含む。言い換えれば、 $x(k)$ は相対的位置変化情報である r 及び相対的姿勢変化情報である q をすべて含む概念である。

40

【0084】

内視鏡 2 1 4 及び複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b の予測位置情報 $r(k|k-1)$ は下記数式 (3) を介して算出することができ、内視鏡 2 1 4 及び複数のツール 2 1 2 a、2 1 2 b の予測姿勢情報 $q(k|k-1)$ を算出することができる。

50

【 0 0 8 5 】

【 数 3 】

$$r(k|k-1) = r(k-1|k-1) + R[q(k-1|k-1)]\delta r(k) \quad (3)$$

【 0 0 8 6 】

ここで、Rは、回転変換行列 (Rotation Matrix) を示す。

【 0 0 8 7 】

【 数 4 】

$$q(k|k-1) = q(k-1|k-1) \times \delta q(k) \quad (4)$$

【 0 0 8 8 】

また、予測される状態変数の誤差の程度を推定する不確実性 (uncertainty) は、確率基盤フィルタアルゴリズムによって上記の数式 (2) のモデルに基づいて共分散行列 (covariance matrix) またはパーティクル (particle) の分布などに予測される。

【 0 0 8 9 】

確率基盤フィルタとして、カルマンフィルタ (Kalman filter) を利用する場合、下記数式 (5) に示すように、動き予測モデル $f(\cdot)$ のヤコビ行列 (Jacobian matrix) F と相対的位置及び姿勢変化情報 r 、 q の雑音 (noise) $Q(k)$ から共分散行列を算出することができる。

【 0 0 9 0 】

【 数 5 】

$$P(k|k-1) = FP(k-1|k-1)F^T + Q(k) \quad (5)$$

【 0 0 9 1 】

ここで、 $P(k|k-1)$ は予測共分散行列であり、 $P(k-1|k-1)$ は以前段階 $k-1$ で更新された共分散行列であり、 F^T はヤコビ行列の転置行列 (transposed matrix) を示す。一方、確率基盤フィルタとしてパーティクルフィルタ (Particle filter) を利用する場合には、予測モデル $f(\cdot)$ に基づいてパーティクルをサンプリング (sampling) する方式で、新しいパーティクルの分布を構成することができる。

【 0 0 9 2 】

状態変数をなす構成要素のうち内視鏡 2 1 4 とツール 2 1 2 a、2 1 2 b の位置及び姿勢 r_{EN} 、 q_{EN} 、 r_{LT} 、 q_{LT} 、 r_{RT} 、 q_{RT} を除去した残りの状態変数腹腔内映像の特徴点及びツール映像の特徴点の位置を予測する方法は次のようになる。

【 0 0 9 3 】

腹腔内映像から抽出した特徴点の位置 y_1 は、静的な環境の場合 (例：腹腔内臓器の動きがない場合) コンスタントポジションモデル (constant position model) のように相対的位置変化がないように予測する。これは下記数式 (6) のように示すことができる。

【 0 0 9 4 】

10

20

30

40

50

【数 6】

$$\Delta y_1 = [0, 0, 0]^T \quad (6)$$

【0095】

腹腔内映像から抽出した特徴点の位置 y_1 は、動的な環境の場合（例：腹腔内臓器の動きがある場合）有限要素法（Finite Element Method；FEM）のような腹腔物性モデルを用いて予測するか、または任意のブラウンモーションノイズ（Brownian motion noise）を反映して予測することができ、その形態は、下記数式（7）のように示すことができる。

10

【0096】

【数 7】

$$\Delta y_1 = [dx, dy, dz]^T \quad (7)$$

20

【0097】

上で算出した腹腔内映像から抽出した特徴点の位置変化情報 y_1 から予測位置情報 $y_1(k|k-1)$ を算出する過程は、下記数式（8）の過程を介して適用することができる。

【0098】

【数 8】

$$y_1(k|k-1) = y_1(k-1|k-1) + \Delta y_1 \quad (8)$$

30

【0099】

一方、ツール映像から抽出した特徴点の位置 $y_{LT, i}$ 、 $y_{RT, j}$ は、図 6 に示すように、ツールモデル情報（モデル内での特徴点の位置）と予測された内視鏡 214 の位置及び姿勢 r_{EN} 、 q_{EN} とツール 212 a、212 b の位置及び姿勢 r_{LT} 、 r_{RT} 、 q_{LT} 、 q_{RT} から 3 次元座標変換を介して予測することができる。まず、図 6 に示すように、予測段階で予測した情報を用いてカメラ座標系 C に対するツール 212 a、212 b の相対的位置情報（ ${}^{EN}r_{LT}$ 、 ${}^{EN}r_{RT}$ 、図 6 から点線矢印で図示）を求める。次に、カメラモデル（Intrinsic parameter（ c_u 、 c_v 、 f_u 、 f_v ）、distortion parameter（ k_1 、 k_2 ））を利用して下記数式（9）及び数式（10）を介してツール 212 a、212 b の相対的位置情報 ${}^{EN}r_{LT}$ 、 ${}^{EN}r_{RT}$ をカメラ座標系 C に投射してツール映像から抽出した特徴点の位置 $y_{LT, i}$ 、 $y_{RT, j}$ を予測する。

40

【0100】

【数 9】

$$u_u = c_u + [f_u \cdot (x/z)]$$

(9)

$$v_u = c_v + [f_v \cdot (y/z)]$$

10

$$u_d = (u_u - c_u)(1 + k_1 r_u^2 + k_2 r_u^4) + c_u$$

(10)

$$v_d = (v_u - c_v)(1 + k_1 r_u^2 + k_2 r_u^4) + c_v$$

ここで、

【0 1 0 1】

【数 1 0】

20

$$r_u = \sqrt{(u_u - c_u)^2 + (v_u - c_v)^2}$$

である。

【0 1 0 2】

状態変数をなす構成要素である内視鏡 2 1 4 及びツール 2 1 2 a、2 1 2 b の位置 / 姿勢、腹腔内映像から抽出した複数個の特徴点の位置及びツール映像から抽出した複数個の特徴点の位置に対する予測段階を行った以後には、内視鏡映像分離及び特徴点抽出段階を行う。内視鏡映像分離及び特徴点抽出段階では、追後に進行する更新段階で必要とする繰り返し特徴点を抽出し、観測値と予測観測値を正しくマッチングする過程を行う。内視鏡映像分離及び特徴点抽出段階は、位置認識フィルタでの予測段階と更新段階との間の過程に該当する。

30

【0 1 0 3】

上述のツール映像から抽出した特徴点の位置 $y_{L T, i}$ 、 $y_{R T, j}$ を予測する方法と同様に、内視鏡 2 1 4 に対するツール 2 1 2 a、2 1 2 b の相対的位置情報 ${}^{E N} r_{L T}$ 、 ${}^{E N} r_{R T}$ を算出して上述の数式 (9) 及び数式 (10) を介して、図 7 A に示すように、現在の内視鏡映像にツール 2 1 2 a、2 1 2 b のモデル (図 7 A で、白色の太い実線で表示した領域) を投映することができる。

40

【0 1 0 4】

図 7 B に示すように、投影されたツールモデルが位置する領域はツール映像関心領域 A として決めることができ、残り領域は腹腔内映像関心領域 B として指定することができる。それぞれの関心領域 R O I から抽出された特徴点の映像座標は、以後進行される更新段階で観測値 (measurement) として順次に利用され、位置認識誤差を減らすのに用いられる。

【0 1 0 5】

内視鏡映像でツール 2 1 2 a、2 1 2 b が占める領域であるツール映像と腹腔内映像 (内視鏡映像でツール映像を除いた部分) に分離することによって、ツール 2 1 2 a、2 1

50

2 bの動きから発生しうる誤った特徴点マッチングを防止することができて位置認識フィルタの強靭性を向上させることができる。

【0106】

位置認識フィルタを構成する更新段階は、内視鏡映像のセンサ処理を介して得られた観測値 (measurement) $z(k)$ と観測ノイズ $R(k)$ 、そして予測段階で得られた状態変数 $x(k|k-1)$ を利用して得られた予測観測値 (predicted measurement) $h(k)$ と、を利用して行われる。このとき、予測観測値は、上記の数式(9)及び数式(10)と同一方法で特徴点の3次元位置を内視鏡(カメラ)座標系を基準に変換して求める。

【0107】

ツール映像から抽出される特徴点は、道具に付着されたマーカー (marker) のような人工標識 (artificial landmark) またはツール 212a、212b に含まれた角 (edge) やボルト穴などのような自然標識 (natural landmark) が利用される。一方、腹腔内映像から抽出される特徴点は、コーナー (corner) やプロブ (blob) のような映像特徴点や血管、神経、臓器のような人体モデル情報が利用される。

【0108】

位置認識フィルタの更新段階は、確率基盤フィルタアルゴリズム (Kalman Filter、Particle Filter など) によって異なるように適用される。

【0109】

確率基盤フィルタとしてカルマンフィルタ (Kalman filter) を利用する場合には、下記数式(11)のように、予測観測値 $h(k)$ のヤコビ行列 $H(k)$ 、観測ノイズ $R(k)$ から Kalman Gain K を算出し、下記の数式(12)及び数式(13)を利用して新しい推定値と共分散行列を算出する。

【0110】

【数11】

$$K = P(k|k-1)H(k)[H(k)P(k|k-1)H(k)^T + R(k)]^{-1} \quad (11)$$

$$x(k|k) = x(k|k-1) + K(z(k) - h(k)) \quad (12)$$

$$P(k|k) = (I - KH(k))P(k|k-1) \quad (13)$$

【0111】

一方、確率基盤フィルタとしてパーティクルフィルタ (Particle filter) を利用する場合には、予測観測値と実際観測値から計算された加重値 (weight) を利用して予測段階で得られたパーティクルをリサンプリング (re-sampling) して更新されたパーティクル分布を求めることができる。

【0112】

図8A及び図8Bは、内視鏡及びツールの同時位置認識結果及び腹腔内環境情報と相対的距離を表示した結果映像を例示した図である。

【0113】

上述の予測段階、内視鏡映像分離及び特徴点抽出、及び更新段階を経て位置認識過程を行った後には、位置認識フィルタの結果物である内視鏡の位置/姿勢情報と腹腔内特徴点の位置情報から腹腔内環境をモデリングすることができる。

【0114】

10

20

30

40

50

位置認識フィルタは、腹腔内特徴点の位置 y_1 をリアルタイムで推定することができるので、3次元空間上に腹腔内特徴点の位置 y_1 を表示することが可能である。図8Aに示すように、3次元空間上の点を利用して三角形メッシュ (Triangular Mesh) を構成すると3次元情報の腹腔モデリングが可能である。

【0115】

追加的に、ステレオ内視鏡や3次元距離情報を算出することができる内視鏡を使用する場合、ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを利用して3次元点群 (Point Cloud) データを整合するか、または確率に基づいた格子地図 (Grid Map) を構成して図8Bに示すように、腹腔内環境をモデリングすることができる。

10

【0116】

また、図8A及び図8Bに示すように、内視鏡映像だけを利用して腹腔内環境をモデリングすることもできるが、図9に示すように、腹腔モデリング情報内視鏡映像と事前モデル情報 (診断映像) を整合して新しい結果の映像を生成することも可能である。言い換えれば、図9に示すように、手術または検査対象領域に対する3次元内視鏡映像 a、超音波映像 b、MR映像 c、及びCT映像 d を整合して新しい結果の映像 e を生成することで、腹腔内環境に対するより詳細かつ正確なモデリングが可能となる。

【0117】

3次元点群データとの間の整合のために利用するICPアルゴリズムは p 、 q で定義したステレオ内視鏡または3次元距離情報を算出することができる内視鏡を介して獲得された2つの3次元点群データとの間で最も近い点を一対一 (1:1) に対応させてこれらの間の距離の合計が最小となる変換を捜し、変換させた状態で、さらに対応関係を捜す過程を繰り返し行う方式の最適化技法を使用する。このとき、下記数式 (14) を用いて、3次元点群データ q とに計算された3次元点群データ p との間の距離の合計 $G(R, t)$ を最適化過程の基準 (尺度) とする。最終的に、下記数式 (15) を用いて、数式 (14) を最小とする剛体変換の関係式である R' 、 t' が整合に用いられる。

20

【0118】

【数12】

$$G(R, t) = \sum_i \|Rp_i + t - q_i\| \quad (14)$$

$$(R', t') = \arg \min_{R \in R_{3 \times 3}, t \in T_{3 \times 1}} G(R, t) \quad (15)$$

30

【0119】

ここで、 R は、ICPアルゴリズムの実行の結果、算出された回転変換行列であって、 t は、ICPアルゴリズムの実行の結果、算出された並進変換行列である。

40

【0120】

図10は、手術ロボットの制御方法の一例を示すフローチャートであり、図11は、図10に示す内視鏡映像の分離及び特徴点抽出過程を詳細に示すフローチャートである。

【0121】

動作説明のための初期条件として、保存部130Aには、内視鏡214及び複数のツール212a、212bに対する位置認識を行うために必要とする事前情報であって、複数のツール212a、212bのそれぞれに対する3次元モデル情報 (CADモデル情報)、内視鏡214及び複数のツール212a、212bのそれぞれをなす各リンク (関節と関節の間を連結する器具構造) の機構学的情報 (長さ情報) が予め保存されていることを

50

前提とする。

【0122】

また説明の便宜上、図3に示すマスタ装置100A及びスレーブロボット200Aに基づいて、手術ロボットの制御方法の一例を説明する。

【0123】

まず、入力部120Aを介して操作者から手術ロボットに対する手術作業命令が入力されると手術ロボットの手術が開始される。

【0124】

手術ロボットの手術が開始されると、マスタ制御部140Aはスレーブロボット側の映像情報獲得部220Aから腹腔内環境に対する映像情報を、慣性測定部225Aから慣性測定情報(加速度情報及び角速度情報)の入力を周期的に受けながら手術動作を行う(300)。

10

【0125】

手術ロボットの手術動作が進行される間に、マスタ制御部140A内の位置推定部142Aはビジョンセンサ基盤SLAMアルゴリズムに基づき、これに追加的に保存部130Aに既に保存されている内視鏡214をなす各リンクの機構学的情報または慣性測定部225Aを介して獲得した慣性測定情報(加速度情報及び角速度情報)を用いて内視鏡214の位置及び姿勢を予測する(310)。また、位置推定部142Aは、ビジョンセンサ基盤オドメトリ技法を利用して内視鏡214の位置及び姿勢を予測することができる。

【0126】

次に、位置推定部142Aは、ビジョンセンサ基盤SLAMアルゴリズムに基づき、これに追加的に保存部130Aに既に保存されている複数のツール212a、212bのそれぞれをなす各リンクの機構学的情報または慣性測定部225Aを介して獲得した慣性測定情報(加速度情報及び角速度情報)を用いて複数のツール212a、212bの位置及び姿勢を予測する(320)。

20

【0127】

その後、位置推定部142Aは、内視鏡映像で獲得した特徴点の位置を予測する(330)。動作320及び330は、SLAMアルゴリズムの予測(Prediction)段階に該当する。

【0128】

次に、位置推定部142Aは、映像情報獲得部220Aを介して獲得した内視鏡映像をツール映像と腹腔内映像とに分離し、ツール映像及び腹腔内映像からそれぞれの特徴点を抽出する(340)。

30

【0129】

動作340に記載した内視鏡映像の分離及び特徴点抽出過程をより詳細に参照すると、図11に示すように、位置推定部142Aは内視鏡214に対するツール212a、212bの相対的位置及び姿勢情報を算出する(342)。

【0130】

その後、位置推定部142Aは、図7Aに示すように、現在内視鏡映像にツールモデルを投映する(344)。ここで、内視鏡映像にツールモデルを投映するときには、複数のツール212a、212bのそれぞれに対する3次元モデル情報(CADモデル情報)及び内視鏡214の固有パラメータ(intrinsic parameter)及び歪曲パラメータ(distortion parameter)を利用する。

40

【0131】

次に、位置推定部142Aは、図7Bに示すように、ツール映像と腹腔内映像とを分離する(346)。

【0132】

その後、位置推定部142Aは、ツール映像及び腹腔内映像からそれぞれ特徴点を抽出する(348)。

【0133】

50

また、図10に対する説明に戻って、位置推定部142Aは、保存部130Aに既に保存されている既存の標識と現在抽出された特徴点との間の同一性を判断する(350)。言い換えれば、位置推定部142Aは、特徴点の追跡(tracking)及びマッチング(matching)過程を介して現在獲得した映像情報から抽出された特徴点が、既に標識として使用されていたものか、それとも新しい標識として登録すべきかの可否を判断する。この過程は、SLAMアルゴリズムのデータ統合(Data Association)段階に該当する。

【0134】

次に、位置推定部142Aは、既に標識として登録された特徴点の位置情報と現在獲得された映像情報から抽出されて既存の標識とマッチングされた特徴点の位置情報を用いて予測段階で予測した内視鏡214の位置及び姿勢、ツール212a、212bの位置及び姿勢、そして標識に登録された特徴点(feature)の位置を更新する(360)。

10

【0135】

その後、マスタ制御部140A内の地図作成部144Aは、位置推定部142Aを介して行われた位置認識結果である内視鏡214の位置情報及び姿勢情報、腹腔内映像の特徴点の位置情報から腹腔内環境に対する地図を作成する(370)。

【0136】

次に、マスタ制御部140Aは、表示部116Aに制御信号を送って地図作成部144Aを介してモデリングされた腹腔内環境と内視鏡/ツールの位置及び姿勢との相対的関係を表示する(380)。

20

【0137】

その後、マスタ制御部140Aは、手術ロボットの手術が完了したか否かを判断する(390)。マスタ制御部140Aは、入力部120Aを介して操作者から手術ロボットの手術停止命令が入力されるか、またはマスタ操作器112L、112Rに装着された回転角センサからこれ以上の回転角度情報が入力されなければ手術ロボットの手術が完了されたものと判断する。

【0138】

手術ロボットの手術が完了されないと(390での「いいえ」)マスタ制御部140Aは動作300にリターンして映像情報及び慣性測定情報を入力受けて、更新段階で更新された情報を用いて内視鏡及びツールの位置及び姿勢を予測する(310、320)。一方、手術ロボットの手術が完了したら(390での「はい」)マスタ制御部140Aは腹腔内環境に対して最終的に作成された地図を保存部130Aに保存し、手術ロボットに装着された内視鏡及びツールの位置認識過程を終了する。

30

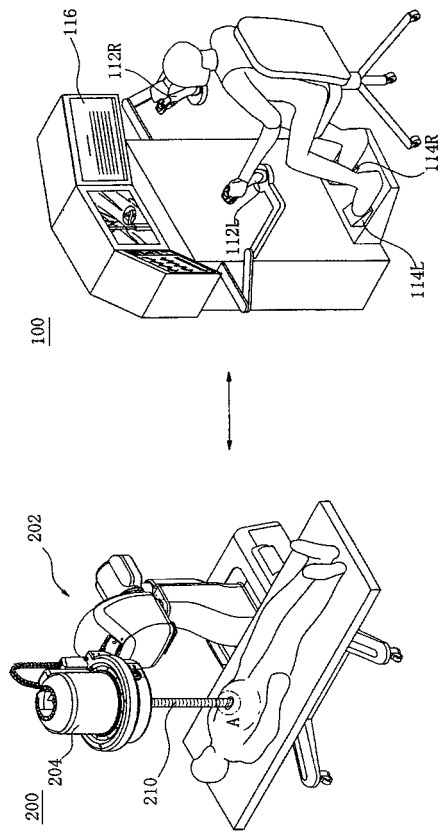
【符号の説明】

【0139】

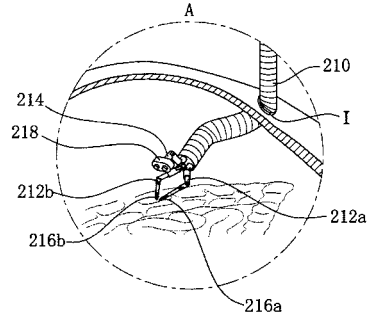
- 100 マスタ装置
- 112 マスタ操作部
- 114 ペダルセンサ
- 116 表示部
- 200 スレーブロボット
- 202 マウンティングアーム
- 204 ケーシング
- 210 ガイドチューブ
- 212 ツール
- 214 内視鏡
- 216 エンドエフェクタ
- 218 内視鏡カメラ

40

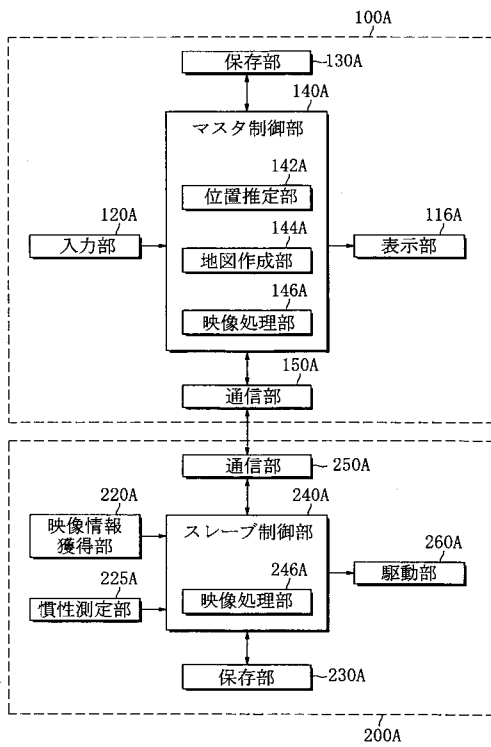
【図1】



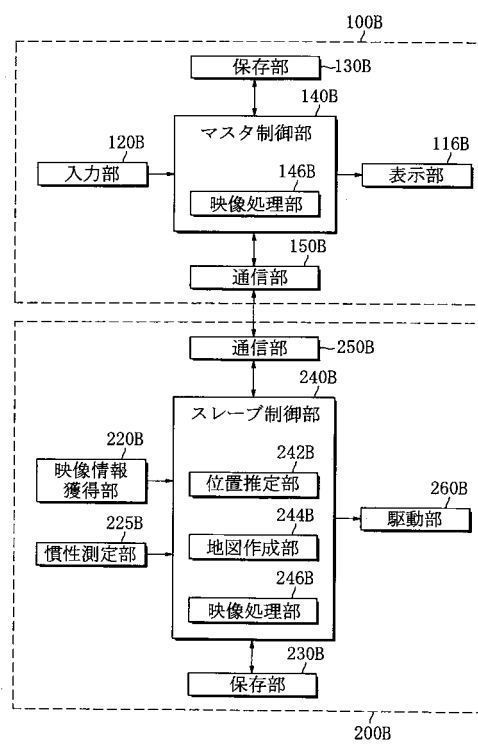
【図2】



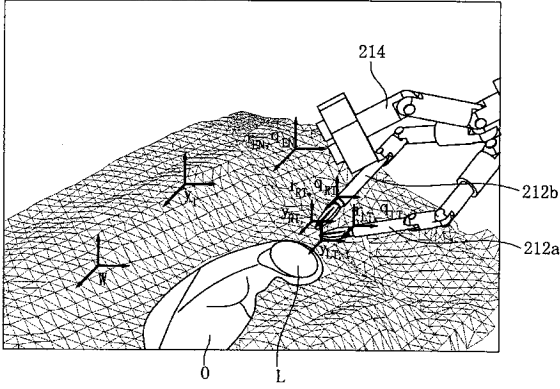
【図3】



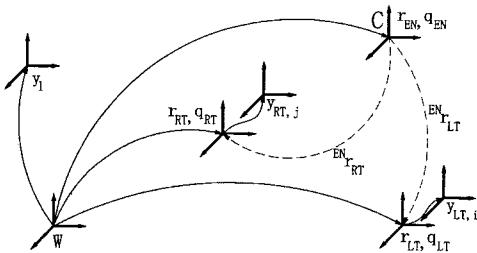
【図4】



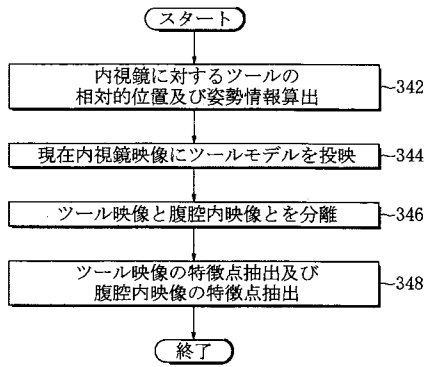
【図5】



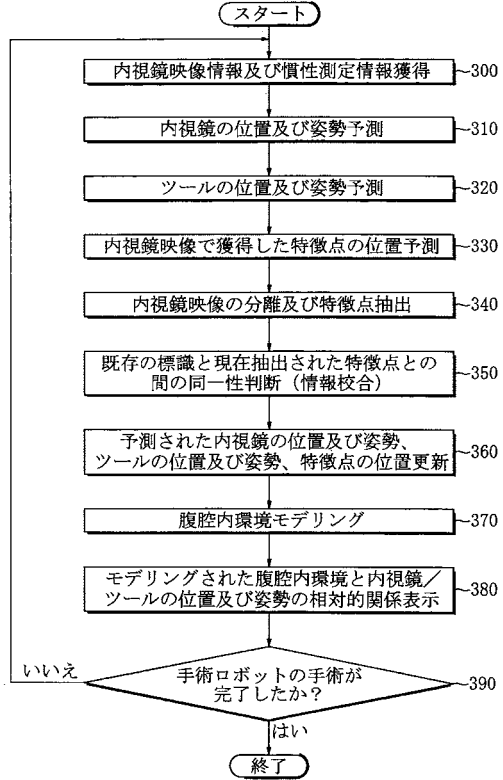
【図6】



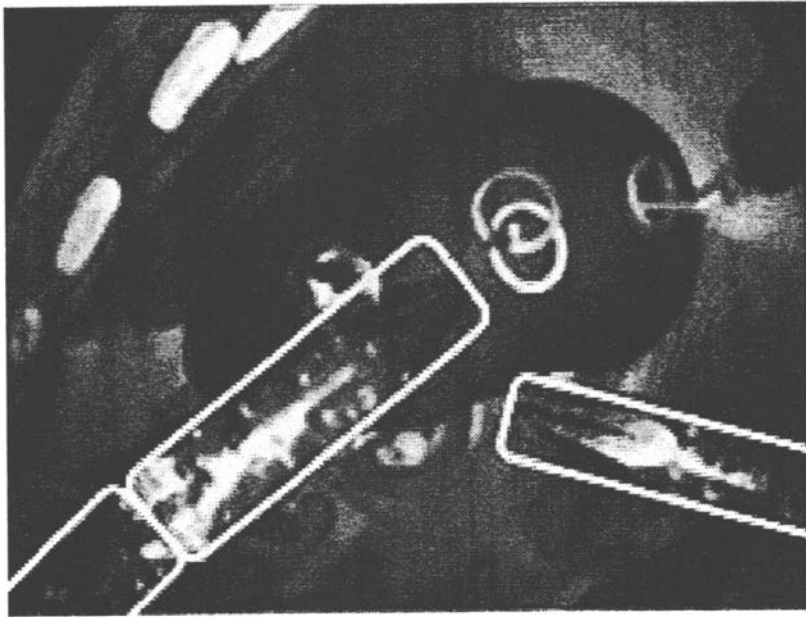
【図11】



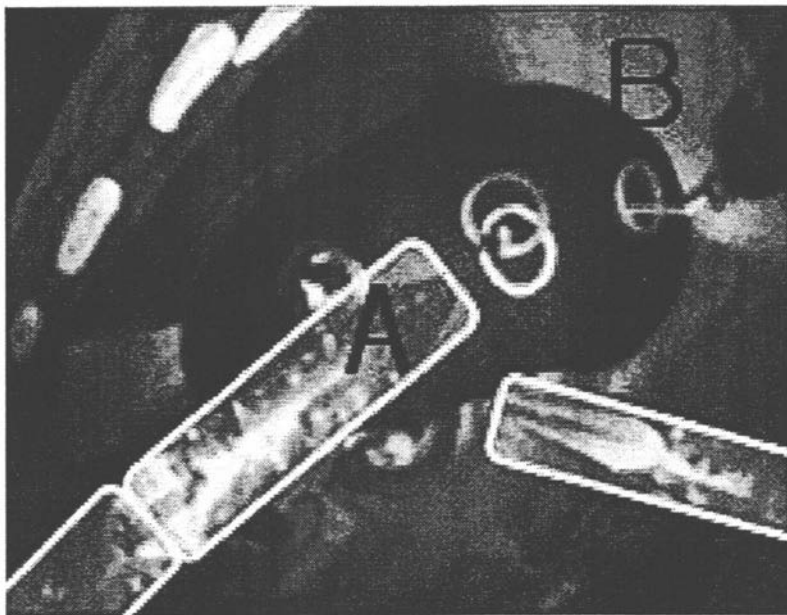
【図10】



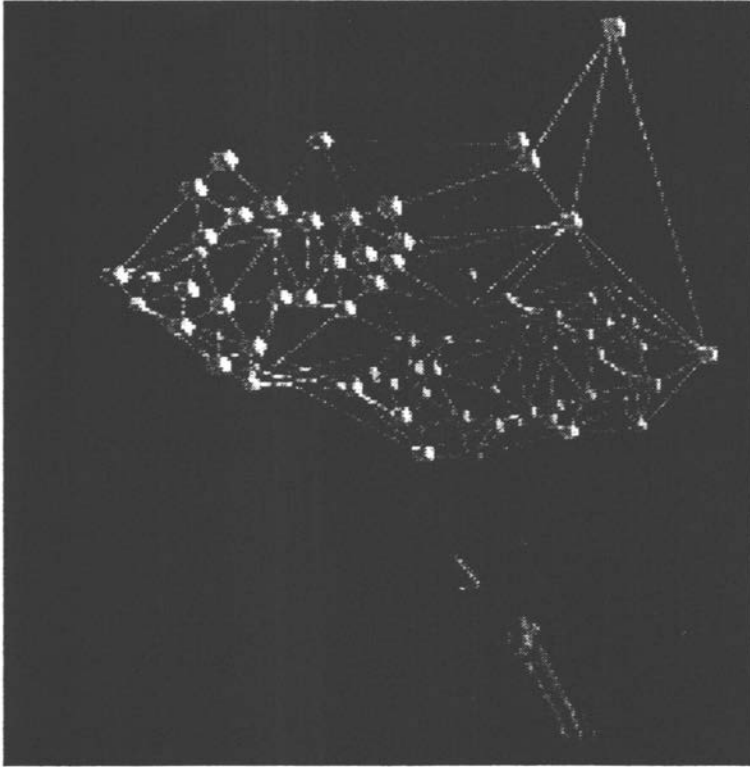
【図 7 A】



【図 7 B】



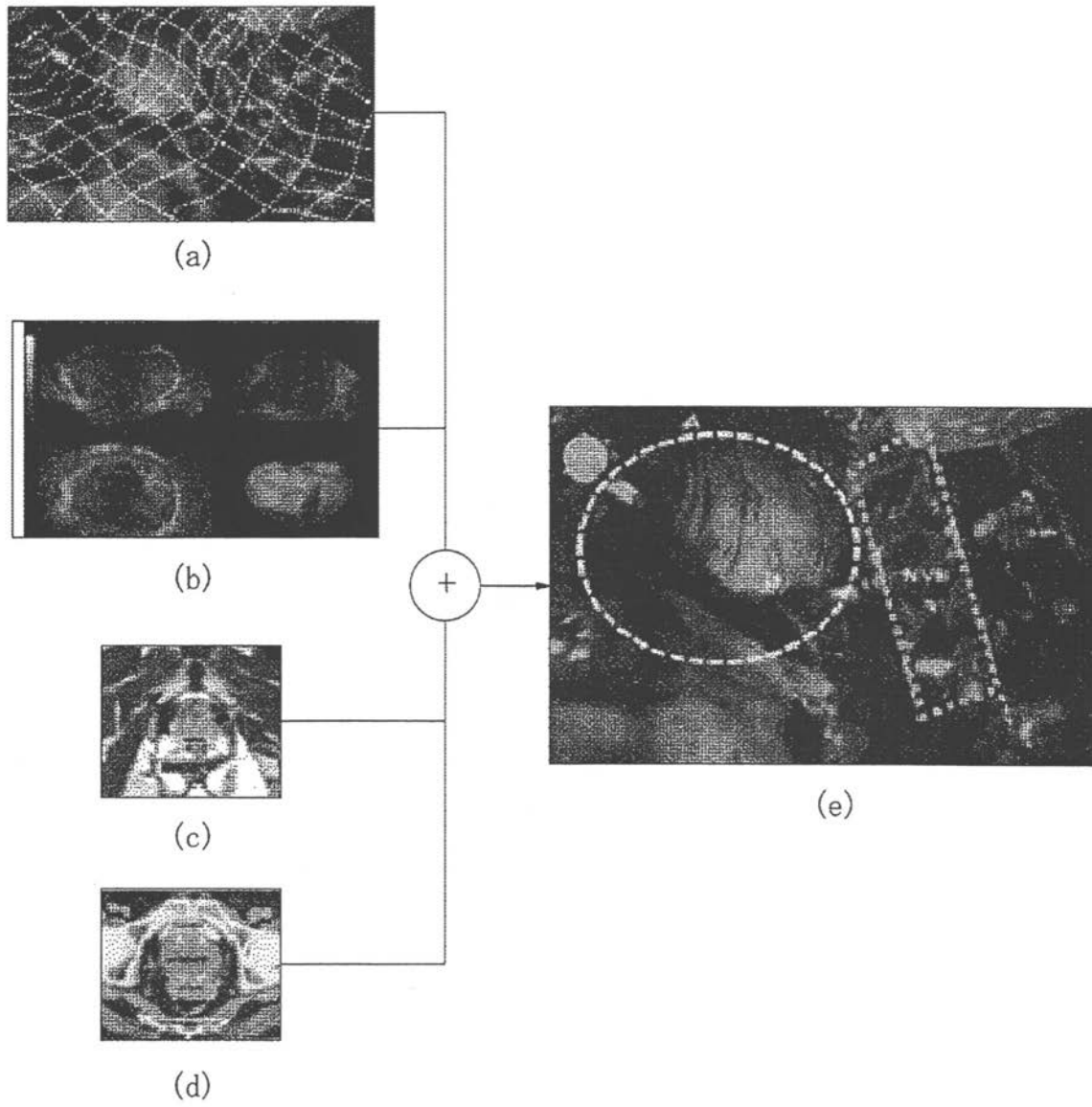
【 図 8 A 】



【 図 8 B 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 安 成 桓

大韓民国ソウル特別市中区茶山路32 ナムサントウンアパート 1-1001号

(72)発明者 盧 慶 植

大韓民国京畿道城南市盆唐区中央公園路53 示範團地ハンシンアパート 114-901号

(72)発明者 尹 碩 浚

大韓民国ソウル特別市蘆原区中溪路233 チュング3チャアパート 107-205号

(72)発明者 黄 孝 錫

大韓民国ソウル特別市松坡区オリンピック路435 チャムシルパークリオアパート 228-1
204号

专利名称(译)	手术机器人及其控制方法		
公开(公告)号	JP2015213753A	公开(公告)日	2015-12-03
申请号	JP2015095766	申请日	2015-05-08
[标]申请(专利权)人(译)	三星电子株式会社		
申请(专利权)人(译)	三星电子株式会社		
[标]发明人	安成桓 盧慶植 尹碩浚 黄孝錫		
发明人	安成桓 盧慶植 尹碩浚 黄孝錫		
IPC分类号	A61B19/00		
CPC分类号	A61B34/20 A61B34/30 A61B34/35 A61B90/37 A61B2034/102 A61B2034/2048 A61B2034/2055 A61B2034/2059 A61B2034/2065 A61B2034/301 A61B2090/363 A61B2090/364		
FI分类号	A61B19/00.502 A61B34/20 A61B34/35		
代理人(译)	伊藤忠彦		
优先权	1020140054783 2014-05-08 KR		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

要解决的问题：提供一种手术机器人及其控制方法。 解决方案：外科手术机器人在执行外科手术时，会获取有关腹腔环境的图像信息，以及构成内窥镜和连接至外科手术机器人和各种传感器的工具的每个链接的图像信息和力学信息。通过基于该信息（内窥镜图像信息，惯性测量信息等）识别内窥镜和工具的位置，可以提高位置识别性能（位置识别精度和收敛性）。[选择图]图10

(21) 出願番号	特願2015-95766 (P2015-95766)	(71) 出願人	390019839 三星電子株式会社 Samsung Electronics Co., Ltd. 大韓民國京畿道水原市靈通區三星路129 129, Samsung-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
(22) 出願日	平成27年5月8日 (2015.5.8)	(74) 代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(31) 優先権主張番号	10-2014-0054783	(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(32) 優先日	平成26年5月8日 (2014.5.8)	(74) 代理人	100091214 弁理士 大貫 進介
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		