

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4897122号
(P4897122)

(45) 発行日 平成24年3月14日(2012.3.14)

(24) 登録日 平成24年1月6日(2012.1.6)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 1/00 (2006.01)
G 0 2 B 23/24 (2006.01)A 6 1 B 1/00 3 2 0 Z
G 0 2 B 23/24 A

請求項の数 16 (全 37 頁)

(21) 出願番号 特願2011-535741 (P2011-535741)
(86) (22) 出願日 平成23年4月19日 (2011.4.19)
(86) 国際出願番号 PCT/JP2011/059636
(87) 国際公開番号 W02011/152140
(87) 国際公開日 平成23年12月8日 (2011.12.8)
審査請求日 平成23年8月18日 (2011.8.18)
(31) 優先権主張番号 特願2010-125153 (P2010-125153)
(32) 優先日 平成22年5月31日 (2010.5.31)
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 304050923
オリンパスメディカルシステムズ株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
(74) 代理人 100108855
弁理士 蔵田 昌俊
(74) 代理人 100159651
弁理士 高倉 成男
(74) 代理人 100091351
弁理士 河野 哲
(74) 代理人 100088683
弁理士 中村 誠
(74) 代理人 100109830
弁理士 福原 淑弘
(74) 代理人 100075672
弁理士 峰 隆司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内視鏡形状検出装置及び内視鏡の挿入部の形状検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

長手方向に互いに所定のセンサ間寸法だけ離れて複数のセンサユニットが配置される挿入部を備える内視鏡と、

前記センサユニットでの計測データに基づいて、それぞれの前記センサユニットの姿勢を検出する姿勢検出部と、

前記姿勢検出部で検出されたそれぞれの前記センサユニットの姿勢に基づいて、それぞれの前記センサユニットの間の形状を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状のリンクと仮定して、前記内視鏡の前記挿入部の検出線形状を検出する線形状検出部と、

パーティクルフィルタを用いてそれぞれの前記センサユニットの少なくとも位置を補正し、前記線形状検出部により検出された前記検出線形状を修正した修正形状を検出する形状修正部と、

を具備する内視鏡形状検出装置。

【請求項 2】

前記形状修正部は、

最も基端側又は最も先端側の前記センサユニットの中心を原点とするグローバル座標系において、それぞれの前記リンクごとに前記グローバル座標系の前記原点から近い側の前記リンクから順に形状修正を行い、前記修正形状のそれぞれの前記センサユニットの間の形状である修正センサ間要素を形成する形状修正順次実施部と、

すべての前記リンクについて前記形状修正を行う状態に前記形状修正順次実施部を制御

10

20

する形状修正制御部と、

を備える請求項 1 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 3】

前記形状修正部は、前記形状修正順次実施部により 1 つの前記リンクの前記形状修正が行われるたびに、前記形状修正が行われていない前記リンクである未修正リンクから構成される修正未完了部を前記形状修正により形成される前記修正センサ間要素から構成される修正完了部と境界が連続する状態に平行移動し、前記修正未完了部の位置を補正する未修正リンク位置補正部を備える請求項 2 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 4】

前記形状修正順次実施部は、

前記形状修正順次実施部により前記形状修正を行う対象の前記リンクである修正対象リンクにおいて、前記グローバル座標系の前記原点から遠い側の前記センサユニットである状態補正対象センサの少なくとも位置の推定を、前記パーティクルフィルタを用いて、前記形状修正順次実施部により前記修正対象リンクの形状修正が行われる前の前記状態補正対象センサの初期状態又は前回の推定の推定結果に基づいて行うセンサ状態推定部と、

前記状態補正対象センサの前記推定を所定の回数だけ行う状態に前記センサ状態推定部を制御する状態推定制御部と、

を備える請求項 2 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 5】

前記形状修正順次実施部は、

前記センサ状態推定部での推定結果に基づいて、前記状態補正対象センサの少なくとも位置を補正するセンサ状態補正部と、

前記センサ状態補正部により補正された前記状態補正対象センサの位置に基づいて前記修正センサ間要素を形成する修正センサ間要素形成部と、

を備える請求項 4 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 6】

前記センサ状態推定部は、

前記状態補正対象センサの前記初期状態又は前回の前記推定の推定結果に基づいて、所定の数のパーティクルを撒くパーティクル撒布部と、

前記内視鏡の前記挿入部の状態及びそれぞれの前記センサユニットでの計測データから移動モデルを検出し、前記移動モデルに基づいて、撒かれたそれぞれの前記パーティクルを移動前パーティクル位置から移動後パーティクル位置へ移動させるパーティクル移動部と、

前記状態補正対象センサがそれぞれの前記パーティクルの前記移動後パーティクル位置に位置する尤もらしさを示す尤度を算出し、前記尤度からそれぞれの前記パーティクルの重みを算出する重み算出部と、

前記重み算出部で算出されたそれぞれの前記パーティクルの前記重みに基づいて、前記状態補正対象センサの少なくとも位置を観測するセンサ状態観測部と、

を備える請求項 4 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 7】

前記パーティクル移動部は、前記内視鏡の前記挿入部の曲がり状態から前記移動モデルを検出し、前記移動モデルに基づいて、前記修正対象リンクの前記グローバル座標系の前記原点から近い側の前記センサユニットとそれぞれの前記パーティクルとの間の曲線補間を行い、それぞれの前記パーティクルを移動させる曲線補間部である請求項 6 の内視鏡形状検出装置。

【請求項 8】

前記パーティクル移動部は、前記内視鏡の前記挿入部が平行移動している動状態で検出されたそれぞれの前記センサユニットの前記グローバル座標系での加速度ベクトル、速度ベクトル、変位から前記移動モデルを検出し、前記移動モデルに基づいてそれぞれの前記パーティクルを移動する動状態移動モデル実施部である請求項 6 の内視鏡形状検出装置。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

内視鏡の挿入部に長手方向に互いに所定のセンサ間寸法だけ離れて配置される複数のセンサユニットが計測を行うことと、

前記センサユニットでの計測データに基づいて、それぞれの前記センサユニットの姿勢を姿勢検出部が検出することと、

前記姿勢検出部が検出したそれぞれの前記センサユニットの姿勢に基づいて、それぞれの前記センサユニットの間の形状を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状のリンクと仮定して、前記内視鏡の前記挿入部の検出線形形状を線形形状検出部が検出することと、

形状修正部が、パーティクルフィルタを用いてそれぞれの前記センサユニットの少なくとも位置を補正し、前記線形形状検出部が検出した前記検出線形形状を修正した修正形状を検出することと、

を具備する内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 10】

前記形状修正部が、それぞれの前記センサユニットの少なくとも位置を補正し、前記修正形状を検出することは、

最も基端側又は最も先端側の前記センサユニットの中心を原点とするグローバル座標系において、前記形状修正部の形状修正順次実施部が、それぞれの前記リンクごとに前記グローバル座標系の前記原点から近い側の前記リンクから順に形状修正を行い、前記修正形状のそれぞれの前記センサユニットの間の形状である修正センサ間要素を形成することと、

前記形状修正順次実施部がすべての前記リンクについて前記形状修正を行う状態に、前記形状修正部の形状修正制御部が制御することと、

を備える請求項 9 の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 11】

前記形状修正部が、それぞれの前記センサユニットの少なくとも位置を補正し、前記修正形状を検出することは、前記形状修正順次実施部が 1 つの前記リンクの前記形状修正が行うたびに、前記形状修正部の未修正リンク位置補正部が、前記形状修正が行われていない前記リンクである未修正リンクから構成される修正未完了部を前記形状修正により形成される前記修正センサ間要素から構成される修正完了部と境界が連続する状態に平行移動し、前記修正未完了部の位置を補正することを備える請求項 10 の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 12】

前記形状修正順次実施部が前記修正センサ間要素を形成することは、

前記形状修正順次実施部が前記形状修正を行う対象の前記リンクである修正対象リンクにおいて、前記グローバル座標系の前記原点から遠い側の前記センサユニットである状態補正対象センサの少なくとも位置の推定を、前記パーティクルフィルタを用いて、前記修正対象リンクの前記形状修正が行われる前の前記状態補正対象センサの初期状態又は前回の推定の推定結果に基づいて前記形状修正順次実施部のセンサ状態推定部が行うことと、

前記センサ状態推定部が前記推定を所定の回数だけ行う状態に、前記形状修正順次実施部の状態推定制御部が制御することと、

を備える請求項 10 の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 13】

前記形状修正順次実施部が前記修正センサ間要素を形成することは、

前記センサ状態推定部での前記状態補正対象センサの推定結果に基づいて、前記状態補正対象センサの少なくとも位置を前記形状修正順次実施部のセンサ状態補正部が補正することと、

前記センサ状態補正部が補正した前記状態補正対象センサの位置に基づいて前記修正センサ間要素を前記形状修正順次実施部の修正センサ間要素形成部が形成することと、

を備える請求項 12 の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 14】

10

20

30

40

50

前記センサ状態推定部が前記状態補正対象センサの少なくとも位置の推定を行うことは

、
前記状態補正対象センサの前記初期状態又は前回の前記推定の推定結果に基づいて、所定の数のパーティクルを前記センサ状態推定部のパーティクル撒布部が撒くことと、

前記内視鏡の前記挿入部の状態及びそれぞれの前記センサユニットでの計測データから移動モデルを検出し、前記移動モデルに基づいて、前記パーティクル撒布部が撒いたそれぞれの前記パーティクルを移動前パーティクル位置から移動後パーティクル位置へ前記センサ状態推定部のパーティクル移動部が移動させることと、

前記センサ状態推定部の重み算出部が、前記状態補正対象センサがそれぞれの前記パーティクルの前記移動後パーティクル位置に位置する尤もらしさを示す尤度を算出し、前記尤度からそれぞれの前記パーティクルの重みを算出することと、

前記重み算出部が算出したそれぞれの前記パーティクルの前記重みに基づいて、前記状態補正対象センサの少なくとも位置を前記センサ状態推定部のセンサ状態観測部が観測することと、

を備える請求項 1 2 の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 1 5】

前記パーティクル移動部がそれぞれの前記パーティクルを移動させることは、前記パーティクル移動部となる曲線補間部が、前記内視鏡の前記挿入部の曲がり状態から前記移動モデルを検出し、前記移動モデルに基づいて、前記修正対象リンクの前記グローバル座標系の前記原点から近い側の前記センサユニットとそれぞれの前記パーティクルとの間の曲線補間を行い、それぞれの前記パーティクルを移動させることである請求項 1 4 の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【請求項 1 6】

前記パーティクル移動部がそれぞれの前記パーティクルを移動させることは、前記パーティクル移動部となる動状態移動モデル実施部が、前記内視鏡の前記挿入部が平行移動している動状態で検出されたそれぞれの前記センサユニットの前記グローバル座標系での加速度ベクトル、速度ベクトル、変位から前記移動モデルを検出し、前記移動モデルに基づいてそれぞれの前記パーティクルを移動することである請求項 1 4 の内視鏡の挿入部の形状検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、体腔内に挿入される内視鏡を備える内視鏡形状検出装置及びその内視鏡形状検出装置の内視鏡の挿入部の形状検出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、内視鏡の挿入部の形状を検出可能な内視鏡形状検出装置が実用化されている。特許文献 1 には、体腔内に挿入される内視鏡の挿入部に複数のソースコイルを取付けた内視鏡挿入形状検出装置が開示されている。この内視鏡挿入形状検出装置では、体外に設けられるセンスコイルにより、それぞれのソースコイルの位置が検出される。そして、検出されたソースコイルの位置に基づいて、内視鏡の挿入部の形状が検出される。

【0003】

また、特許文献 2 には、内視鏡の挿入部に 2 つのセンサが取付けられた内視鏡装置が開示されている。この内視鏡装置では、基端側のセンサを基準として、先端側のセンサの位置、姿勢が検出される。基端側のセンサは湾曲部の基端の近傍に、先端側のセンサは先端硬性部に配置されている。基端側のセンサに対する先端側のセンサの位置、姿勢を検出することにより、湾曲部の湾曲角度、湾曲方向が算出される。

【0004】

また、特許文献 3 には、内視鏡の挿入部に複数のジャイロが取付けられた内視鏡形状検出装置が開示されている。この内視鏡形状検出装置では、ジャイロにより内視鏡の挿入部

10

20

30

40

50

の所定の部位（ジャイロが取り付けられた部位）の姿勢が検出される。そして、検出された所定の部位での姿勢に基づいて、挿入部の形状が検出される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2000-175862号公報

【特許文献2】特開2007-319622号公報

【特許文献3】特開平11-19027号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0006】

上記特許文献1の内視鏡形状検出装置では、体腔内のソースコイルの位置を体外のセンサコイルで検出するため、検出装置が大型化するとともに、装置の構成が複雑化する。

【0007】

上記特許文献2では、体腔内のセンサのみを用いて湾曲部の湾曲角度、湾曲方向が検出される。しかし、実際の内視鏡の挿入部は可撓性を有し、体腔内に挿入された際の挿入部の形状は、曲線状である。すなわち、この内視鏡装置では、湾曲部の湾曲角度、湾曲方向が検出されるのみで、体腔内への挿入時の挿入部の形状までは高い精度で検出されない。

【0008】

上記特許文献3では、複数のジャイロを用いて内視鏡の挿入部の形状が検出される。しかし、ジャイロは挿入部が移動する際に発生する慣性力又はコリオリ力に基づいて挿入部の所定の部位での姿勢を検出する。このため、挿入部が移動していない静状態では、形状を検出できず、低速度で挿入部が移動する際の検出精度は低下してしまう。

20

【0009】

本発明は上記課題に着目してなされたものであり、その目的とするところは、装置の構成を大型化、複雑化することなく、高い精度で挿入部の形状を検出可能な内視鏡形状検出装置及び内視鏡の挿入部の形状検出方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するため、本発明のある態様では、長手方向に互いに所定のセンサ間寸法だけ離れて複数のセンサユニットが配置される挿入部を備える内視鏡と、前記センサユニットでの計測データに基づいて、それぞれの前記センサユニットの姿勢を検出する姿勢検出部と、前記姿勢検出部で検出されたそれぞれの前記センサユニットの姿勢に基づいて、それぞれの前記センサユニットの間の形状を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状のリンクと仮定して、前記内視鏡の前記挿入部の検出線形形状を検出する線形形状検出部と、パーティクルフィルタを用いてそれぞれの前記センサユニットの少なくとも位置を補正し、前記線形形状検出部により検出された前記検出線形形状を修正した修正形状を検出する形状修正部と、を備える内視鏡装置を提供する。

30

【0011】

また、本発明の別のある態様では、内視鏡の挿入部に長手方向に互いに所定のセンサ間寸法だけ離れて配置される複数のセンサユニットが計測を行うことと、前記センサユニットでの計測データに基づいて、それぞれの前記センサユニットの姿勢を姿勢検出部が検出することと、前記姿勢検出部が検出したそれぞれの前記センサユニットの姿勢に基づいて、それぞれの前記センサユニットの間の形状を寸法が前記センサ間寸法に等しい直線状のリンクと仮定して、前記内視鏡の前記挿入部の検出線形形状を線形形状検出部が検出することと、形状修正部が、パーティクルフィルタを用いてそれぞれの前記センサユニットの少なくとも位置を補正し、前記線形形状検出部が検出した前記検出線形形状を修正した修正形状を検出することと、を備える内視鏡の挿入部の形状検出方法を提供する。

40

【発明の効果】

【0012】

50

本発明によれば、装置の構成を大型化、複雑化することなく、高い精度で挿入部の形状を検出可能な内視鏡形状検出装置及び内視鏡の挿入部の形状検出方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の構成を示すブロック図。

【図2】第1の実施形態に係る内視鏡の挿入部の構成を示す概略図。

【図3】第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置のパソコンの構成を示すブロック図。

【図4】第1の実施形態に係る内視鏡の挿入部の静状態での形状を検出する方法を示すフローチャート。

10

【図5】第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置のグローバル座標系と補正座標系とを比較して示す概略図。

【図6】第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の線形形状検出部で検出される検出線形形状を示す概略図。

【図7】第1の実施形態に係る線形形状検出部のリンク位置補正部での処理を説明する概略図。

【図8】第1の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の形状修正部で形状修正された修正形状を示す概略図。

【図9】第1の実施形態に係る形状修正部により検出線形形状の形状を修正する方法を示すフローチャート。

20

【図10】第1の実施形態に係る形状修正部のセンサ位置観測部での1回目の観測の際に、パーティクル撒布部で撒かれるそれぞれのパーティクルの撒布状態を示す概略図。

【図11】第1の実施形態に係る形状修正部のセンサ位置観測部の重み算出部での処理を説明する概略図。

【図12】第1の実施形態に係る形状修正部のセンサ位置観測部のセンサ位置推定部での処理を説明する概略図。

【図13A】第1の実施形態に係る形状修正部のセンサ位置観測部での2回目以降の観測において、現在の観測の1回だけ前の観測の際に撒かれたパーティクルの撒布状態を示す概略図。

【図13B】第1の実施形態に係る形状修正部のセンサ位置観測部での2回目以降の観測において、現在の観測の際に撒かれたパーティクルの撒布状態を示す概略図。

30

【図14】第1の実施形態に係る形状修正部のセンサ位置補正部及び修正リンク形成部での処理を説明する概略図。

【図15】第1の実施形態に係る形状修正部の未修正リンク位置補正部での処理を説明する概略図。

【図16】本発明の第2の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の形状修正部の構成を示すブロック図。

【図17】第2の実施形態に係る内視鏡形状検出装置の形状修正部で形状修正された修正形状を示す概略図。

【図18】第2の実施形態に係る形状修正部により検出線形形状の形状を修正する方法を示すフローチャート。

40

【図19】第2の実施形態に係る形状修正部のセンサ位置観測部のパーティクル撒布部及び曲線補間部での処理を説明する概略図。

【図20】第2の実施形態に係る形状修正部のセンサ位置観測部の重み算出部での処理を説明する概略図。

【図21】第2の実施形態に係る形状修正部のセンサ位置観測部のセンサ位置推定部での処理を説明する概略図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

(第1の実施形態)

50

本発明の第 1 の実施形態について図 1 乃至図 15 を参照して説明する。

【0015】

図 1 は、本実施形態の内視鏡形状検出装置 1 を示す図である。図 1 に示すように、内視鏡形状検出装置 1 の内視鏡 10 は、体腔内に挿入される挿入部 11 と、挿入部 11 の基端側に設けられる操作部 12 とを備える。挿入部 11 は、最先端に設けられる先端硬性部 14 と、先端硬性部 14 の基端側に設けられる湾曲部 16 と、湾曲部 16 の基端側に設けられる細長い可撓管部 18 とを備える。

【0016】

先端硬性部 14 の内部には、被写体の撮像を行う CCD 等の撮像素子 20 が設けられている。撮像素子 20 には、撮像用信号線 21 の一端が接続されている。撮像用信号線 21 は、挿入部 11 の内部を通して操作部 12 から内視鏡 10 の外部に延出され、他端が画像処理ユニットであるビデオプロセッサ 3 に接続されている。また、挿入部 11 の内部には、先端硬性部 14 の照明窓（図示しない）に被写体を照射する照明光を導光するライトガイド 23 が、長手方向に延設されている。ライトガイド 23 は、操作部 12 から内視鏡 10 の外部に延出され、光源ユニット 4 に接続されている。

【0017】

また、挿入部 11 の湾曲部 16 の先端部には、湾曲操作伝達部材である 4 本の湾曲操作ワイヤ（図示しない）の一端が接続されている。湾曲操作ワイヤは、可撓管部 18 の内部を通して、操作部 12 に設けられる湾曲操作部である湾曲操作ノブ（図示しない）に他端が接続されている。湾曲操作ノブでの操作により、湾曲操作ワイヤが長手方向に移動する。湾曲操作ワイヤの移動により、湾曲部 16 が内視鏡 10 の上下方向及び左右方向に湾曲動作を行う。

【0018】

挿入部 2 には、複数（本実施形態では $N + 1$ 個）のセンサユニット $S_0 \sim S_N$ が設けられている。それぞれのセンサユニット S_i ($i = 0, 1, 2, \dots, N$) は、互いに長手方向に一定の間隔 l ($= 50 \text{ mm}$) だけ離れて配置されている。すなわち、それぞれのセンサユニット S_i は、互いに長手方向に所定のセンサ間寸法 l だけ離れて配置されている。ここで、例えば最も基端側のセンサユニット S_0 が可撓管部 18 の基端部に配置され、最も先端側のセンサユニット S_N が湾曲部 16 の先端部に配置されている。それぞれのセンサユニット S_i は、加速度を計測する加速度センサ A_i と、地磁気を計測する地磁気センサ B_i とを備える。

【0019】

図 2 は、内視鏡 10 の挿入部 11 を示す図である。図 2 に示すように、それぞれのセンサユニット S_i は、センサユニット S_i の中心を原点とし、 X_i 軸、 Y_i 軸、 Z_i 軸を有するローカル座標系 C_i （図 2 で点線で示す）を有する。ここで、 X_i 軸方向は、センサユニット S_i の中心での内視鏡 10 の左右方向と一致し、基端側から見た際の内視鏡 10 の右方向を正とする。 Y_i 軸方向は、センサユニット S_i の中心での長手方向と一致し、先端側方向を正とする。 Z_i 軸方向は、センサユニット S_i の中心での内視鏡 10 の上下方向と一致し、内視鏡 10 の上方向を正とする。加速度センサ A_i は、ローカル座標系 C_i の原点での加速度の X_i 軸方向成分、 Y_i 軸方向成分、 Z_i 軸方向成分を計測する。地磁気センサ B_i は、ローカル座標系 C_i の原点での地磁気の X_i 軸方向成分、 Y_i 軸方向成分、 Z_i 軸方向成分を計測する。

【0020】

また、内視鏡形状検出装置 1 では、最も基端側のセンサユニット S_0 の中心を原点とし、 X 軸、 Y 軸、 Z 軸を有するグローバル座標系 C （図 2 で実線で示す）が定義されている。ここで、グローバル座標系 C は、最も基端側のセンサユニット S_0 の中心を原点とする右手系の直交デカルト座標系である。 X 軸方向は、重力が作用する鉛直方向に垂直な所定の方向（本実施形態では、図 2 の矢印 D_1 、 D_2 に平行な方向）と一致し、図 2 の矢印 D_1 の方向を正とする。 Y 軸方向は、鉛直方向に垂直で、かつ、 X 軸方向に垂直な方向（本実施形態では、図 2 の矢印 E_1 、 E_2 に平行な方向）と一致し、図 2 の矢印 E_1 の方向を

10

20

30

40

50

正とする。Z軸方向は、鉛直方向と一致し、鉛直方向の上方向（紙面の裏から表へ方向）を正とする。なお、ここでは説明の都合上、グローバル座標系のX軸方向を磁北方向とする。

【0021】

それぞれのローカル座標系 C_i は、グローバル座標系 C をX軸回りに α_i 、Y軸回りに β_i 、Z軸回りに γ_i それぞれ回転し、最も基端側のセンサユニット S_0 の中心からセンサユニット S_i の中心まで原点を平行移動した座標系である。ここで、 α_i をピッチ角、 β_i をロール角、 γ_i をヨー角と称し、ピッチ角 α_i 、ロール角 β_i 、ヨー角 γ_i の3つをまとめて姿勢角と称する。姿勢角 α_i 、 β_i 、 γ_i は、それぞれX軸、Y軸、Z軸の負の方向から見て時計回りを正とする。姿勢角 α_i 、 β_i 、 γ_i の値を算出することにより、センサユニット S_i の姿勢が検出される。

10

【0022】

図1に示すように、それぞれのセンサユニット S_i の加速度センサ A_i 及び地磁気センサ B_i には、I2C等のシリアルバス5が接続されている。シリアルバス5は、挿入部11の内部を通して操作部12から内視鏡10の外部に延出され、基端がシリアルコンバータ6に接続されている。シリアルコンバータ6は、それぞれのセンサユニット S_i からシリアルバス5を介して入力される計測データのシリアル信号を、USB信号に変換する。シリアルコンバータ6には、USBケーブル7の一端が接続されている。USBケーブル7の他端は、パソコン8に接続されている。パソコン8には、それぞれのセンサユニット S_i での計測データのUSB信号がシリアルコンバータ6から入力される。

20

【0023】

図3は、パソコン8の構成を示す図である。図3に示すように、パソコン8は、USBケーブル7を介してシリアルコンバータ6に接続される通信部26を備える。通信部26は、それぞれのセンサユニット S_i での計測データを受信する。通信部26には、物理量換算部28が接続されている。物理量換算部28は、通信部26で受信したそれぞれのセンサユニット S_i での計測データを、オフセット、ゲイン等を用いて物理量に換算する。

【0024】

物理量換算部28には、姿勢検出部30が接続されている。姿勢検出部30は、センサユニット S_i での計測データに基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の姿勢を検出する。姿勢検出部30は、それぞれのセンサユニット S_i の加速度センサ A_i 及び地磁気センサ B_i での計測データに基づいて、それぞれのセンサユニット S_i のローカル座標系 C_i のグローバル座標系 C からのX軸回り、Y軸回り、Z軸回りの回転角である3つの姿勢角 α_i 、 β_i 、 γ_i を算出する姿勢角算出部32を備える。姿勢角算出部32は、それぞれのセンサユニット S_i の加速度センサ A_i での加速度データに基づいて、それぞれのセンサユニット S_i のローカル座標系 C_i のグローバル座標系 C からのX軸回りの回転角であるピッチ角 α_i 、及び、それぞれのセンサユニット S_i のローカル座標系 C_i のグローバル座標系 C からのY軸回りの回転角であるロール角 β_i を算出する第1の角度算出部34を備える。また、姿勢角算出部32は、それぞれのセンサユニット S_i の地磁気センサ B_i での地磁気データに基づいて、それぞれのセンサユニット S_i のローカル座標系 C_i のグローバル座標系 C からのZ軸回りの回転角であるヨー角 γ_i を算出する第2の角度算出部36を備える。

30

40

【0025】

ここで、姿勢検出部30でそれぞれのセンサユニット S_i の姿勢を検出する方法について説明する。図4は、内視鏡10の挿入部11が停止している静状態での挿入部11の形状検出方法を示すフローチャートである。図4に示すように、挿入部11の形状検出の際には、まず、それぞれのセンサユニット S_i での計測を行い（ステップS101）、姿勢検出部30がそれぞれのセンサユニット S_i での計測データを取得する。そして、姿勢角算出部32が、それぞれのセンサユニット S_i のローカル座標系 C_i の3つの姿勢角 α_i 、 β_i 、 γ_i を算出する。

【0026】

50

姿勢角 α_i , β_i , γ_i を算出する際には、まず、第 1 の角度算出部 34 が、それぞれのセンサユニット S_i の加速度センサ A_i での計測データに基づいて、それぞれのセンサユニット S_i のローカル座標系 C_i のピッチ角 α_i 及びロール角 β_i を算出する（ステップ S102）。ここで、姿勢角 α_i , β_i , γ_i はヨー角 γ_i 、ピッチ角 α_i 、ロール角 β_i の順で回転する（Z, X, Y）型とする。したがって、グローバル座標系 C からローカル座標系 C_i への回転行列は、

【数 1】

$$C_{Bi}^G = R_{Zi} R_{Xi} R_{Yi} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i & 0 \\ \sin\gamma_i & \cos\gamma_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & \sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \cos\gamma_i \\ \cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \sin\gamma_i & \cos\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & -\cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \sin\gamma_i \\ -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix}$$

【0027】

となる。

【0028】

挿入部 11 が停止している静状態では、重力加速度のみが鉛直方向の下方向に作用している。すなわち、グローバル座標系 C においても、ローカル座標系 C_i においても、鉛直方向の下方向に重力加速度のみが作用している。したがって、この際、加速度ベクトルのグローバル座標系 C の X 軸方向成分、Y 軸方向成分、Z 軸方向成分は、

【数 2】

$$\dot{a}_{th} = [0 \quad 0 \quad -g]^T \quad (2)$$

【0029】

となる。また、加速度センサ A_i で計測される加速度ベクトルのローカル座標系 C_i の X_i 軸方向成分、 Y_i 軸方向成分、 Z_i 軸方向成分を、

【数 3】

$$\dot{a}_{obsi} = [a_{Bi_X} \quad a_{Bi_Y} \quad a_{Bi_Z}]^T \quad (3)$$

【0030】

とする。

【0031】

ここで、ローカル座標系 C_i はグローバル座標系 C をヨー角 γ_i 、ピッチ角 α_i 、ロール角 β_i の順で回転した座標系である。したがって、式 (1) ~ 式 (3) より、ローカル座標系 C_i で観測される加速度成分は、

【数 4】

$$\dot{a}_{obsi} = \left(C_{Bi}^G \right)^T \dot{a}_{th} = -g \begin{bmatrix} -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i \\ \sin\alpha_i \\ \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$\quad \quad \quad (4.2)$$

$$\quad \quad \quad (4.3)$$

【0032】

となる。ここで、式 (4.1) の 2 乗と式 (4.3) の 2 乗を加算すると、

【数 5】

$$a_{Bi_X}^2 + a_{Bi_Z}^2 = g^2 \cos^2 \alpha_i (\sin^2 \beta_i + \cos^2 \beta_i) \quad (5)$$

【 0 0 3 3 】

となり、

【 数 6 】

$$g \cos \alpha_i = \sqrt{a_{Bi_X}^2 + a_{Bi_Z}^2} \quad (6)$$

【 0 0 3 4 】

となる。そして、式 (4 . 2) を式 (6) で割ることにより、

【 数 7 】

$$\alpha_i = \tan^{-1} \left(\frac{-a_{Bi_Y}}{\sqrt{a_{Bi_X}^2 + a_{Bi_Z}^2}} \right) \quad (7)$$

10

【 0 0 3 5 】

となり、ローカル座標系 C_i のピッチ角 α_i が求まる。また、式 (4 . 1) を式 (4 . 3) で割ることにより、

【 数 8 】

$$\beta_i = \tan^{-1} \left(\frac{-a_{Bi_X}}{a_{Bi_Z}} \right) \quad (8)$$

20

【 0 0 3 6 】

となり、ローカル座標系 C_i のロール角 β_i が求まる。以上のようにして、それぞれの加速度センサ A_i での計測データに基づいて、それぞれのローカル座標系 C_i のピッチ角 α_i 及びロール角 β_i が算出される。

【 0 0 3 7 】

そして、第2の角度算出部36が、それぞれのセンサユニット S_i の地磁気センサ B_i での計測データに基づいて、それぞれのセンサユニット S_i のローカル座標系 C_i のヨー角 γ_i を算出する (ステップ S 1 0 3)。ここで、ステップ S 1 0 2 で算出したピッチ角 α_i 及びロール角 β_i を用いて、それぞれのローカル座標系 C_i のグローバル座標系 C からの X 軸回りの回転及び Y 軸回りの回転を補正した補正座標系 C'_i を定義する。図5は、グローバル座標系 C (図5において実線で示す) 及び補正座標系 C'_i (図5で点線で示す) を示す図である。なお、実際はグローバル座標系 C と補正座標系 C'_i とでは原点の位置が異なるが、図5では両者の比較のため原点が同一の位置にある状態で示す。図5に示すように、X 軸回りの回転及び Y 軸回りの回転を補正した補正座標系 C'_i はグローバル座標系 C を Z 軸回りにヨー角 γ_i だけ回転した座標系であり、 X'_i 軸、 Y'_i 軸、 Z'_i 軸を有する。 X'_i 軸方向、 Y'_i 軸方向は、それぞれグローバル座標系 C の X 軸方向、Y 軸方向から Z 軸回りにヨー角 γ_i だけ回転した方向と一致する。 Z'_i 軸方向は、鉛直方向、すなわちグローバル座標系 C の Z 軸方向と一致する。ここでは、グローバル座標系 C の X 軸方向が磁北方向と一致するため、 X'_i 軸方向が、磁北方向から Z 軸回りにヨー角 γ_i だけ回転した方向となる。

30

40

【 0 0 3 8 】

地磁気センサ B_i で計測される地磁気ベクトルのローカル座標系 C_i の X_i 軸方向成分、 Y_i 軸方向成分、 Z_i 軸方向成分を、

【 数 9 】

$$\dot{m}_{obsi} = [M_{Xi} \ M_{Yi} \ M_{Zi}]^T \quad (9)$$

50

【 0 0 3 9 】

とする。補正座標系 C'_i は、ローカル座標系 C_i のグローバル座標系 C からの X 軸回りの回転及び Y 軸回りの回転を補正した座標系である。したがって、式 (9) 及び式 (1) の R_{xi} , R_{yi} を用いて、地磁気センサ B_i で計測される地磁気ベクトルの補正座標系 C'_i の X'_i 軸方向成分、 Y'_i 軸方向成分、 Z'_i 軸方向成分は、

【数 1 0】

$$\begin{aligned} \dot{m}_{obsi}' &= R_{xi} R_{yi} \dot{m}_{obsi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{xi} \\ M_{yi} \\ M_{zi} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ \sin\alpha_i \sin\beta_i & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \cos\beta_i \\ -\cos\alpha_i \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{xi} \\ M_{yi} \\ M_{zi} \end{bmatrix} \quad (10.1) \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{obsi}' = [M_{xi}' \quad M_{yi}' \quad M_{zi}']^T \quad (10.2)$$

【 0 0 4 0 】

となる。式 (1 0 . 1) , 式 (1 0 . 2) から、

【数 1 1】

$$M_{xi}' = M_{xi} \cos\beta_i + M_{zi} \sin\beta_i \quad (11.1)$$

$$M_{yi}' = M_{yi} \cos\alpha_i + \sin\alpha_i (M_{xi} \sin\beta_i - M_{zi} \cos\beta_i) \quad (11.2)$$

【 0 0 4 1 】

となる。鉛直方向に垂直な水平面 (補正座標系 C'_i の X'_i - Y'_i 平面) での地磁気成分は、磁北方向を向いている。したがって、式 (1 1 . 1) , 式 (1 1 . 2) より、 X'_i 軸から磁北方向までの角度 θ_i は、地磁気ベクトルの補正座標系 C'_i の X'_i 軸成分、 Y'_i 軸成分を用いて求めることができる。すなわち、

【数 1 2】

$$\theta_i = \tan^{-1} (M_{yi}' / M_{xi}') \quad (12)$$

【 0 0 4 2 】

となる。角度 θ_i は Z'_i 軸 (Z 軸) を負の方向から見て時計回りを正とする。ここで、補正座標系 C'_i はグローバル座標系 C を Z 軸回りにヨー角 γ_i だけ回転した座標系である。したがって、式 (1 2) で求まる角度 θ_i が、グローバル座標系 C を基準としたローカル座標系 C_i のヨー角 γ_i となる。

【 0 0 4 3 】

なお、グローバル座標系 C の X 軸方向が磁北方向と一致しない場合も、磁北を基準としてヨー角 γ_i を求めることもできる。地磁気ベクトルのグローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向成分を、

【数 1 3】

$$\dot{m}_{th} = [E_x \quad E_y \quad E_z]^T \quad (13)$$

【 0 0 4 4 】

とする。地磁気ベクトルのグローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向成分は、地磁気センサ B_i と同一のタイプの地磁気センサを用いて、グローバル座標系 C

10

20

30

40

50

の X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向と軸の方向が一致する状態で計測を行うことにより、求められる。そして、式 (1 3) より、X 軸から磁北方向までの角度 θ を、地磁気ベクトルのグローバル座標系 C の X 軸成分、Y 軸成分を用いて求める。すなわち、

【数 1 4】

$$\theta = \tan^{-1}(E_Y / E_X) \quad (14)$$

【 0 0 4 5】

となる。ここで、角度 θ は Z 軸を負の方向から見て時計回りを正とする。補正座標系 C'_i はグローバル座標系 C を Z 軸回りにヨー角 γ_i だけ回転した座標系である。したがって、式 (1 2)、式 (1 4) より、

10

【数 1 5】

$$\gamma_i = \theta - \theta_i \quad (15)$$

【 0 0 4 6】

となり、グローバル座標系 C を基準としたローカル座標系 C_i のヨー角 γ_i が求まる。

【 0 0 4 7】

以上のようにして、それぞれの地磁気センサ B_i での計測データに基づいて、それぞれのローカル座標系 C_i のヨー角 γ_i が算出される。算出された姿勢角 α_i 、 β_i 、 γ_i の値に基づいて、姿勢検出部 3 0 はそれぞれのセンサユニット S_i の姿勢を検出する。

20

【 0 0 4 8】

図 3 に示すように、姿勢検出部 3 0 には、線形形状検出部 4 0 が接続されている。図 6 は、線形形状検出部 4 0 により検出される内視鏡 1 0 の挿入部 1 1 の検出線形形状 7 1 をグローバル座標 C の Z 軸の正の方向から見た図である。図 6 に示すように、線形形状検出部 4 0 は、姿勢検出部 3 0 で検出されたそれぞれのセンサユニット S_i の姿勢に基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の間の形状を寸法がセンサ間寸法 1 に等しい直線状のリンク T_j ($j = 1, 2, \dots, N$) と仮定して、挿入部 1 1 の検出線形形状 7 1 を検出する。ここで、基端側から k 番目のリンク T_k は、基端側から k 番目のセンサユニット S_{k-1} と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット S_k との間のリンクである。線形形状検出部 4 0 は、それぞれのリンク T_j を形成するリンク形成部 4 1 と、リンク形成部 4 1 により形成されたそれぞれのリンク T_j を平行移動して、リンク T_j の位置を補正するリンク位置補正部 4 2 とを備える。リンク位置補正部 4 2 によりそれぞれのリンク T_j は、隣接するリンク T_{j-1} 、 T_{j+1} とのリンク境界が連続する状態に、平行移動される。

30

【 0 0 4 9】

線形形状検出部 4 0 には、描画部 4 5 が接続されている。描画部 4 5 には、表示部 4 7 が接続されている。線形形状検出部 4 0 により検出されたグローバル座標系 C での挿入部 1 1 の検出線形形状 7 1 は、描画部 4 5 により描画される。術者は、描画部 4 5 により描画された検出線形形状 7 1 を表示部 4 7 で確認可能となっている。

【 0 0 5 0】

40

ここで、線形形状検出部 4 0 で挿入部 1 1 の検出線形形状 7 1 を検出する方法について説明する。図 4 に示すように、挿入部 1 1 の検出線形形状 7 1 を検出する際、まず、ステップ S 1 0 2、S 1 0 3 で算出した姿勢角 α_i 、 β_i 、 γ_i の値に基づいて、リンク形成部 4 1 が、直線形状のそれぞれのリンク T_j を形成する (ステップ S 1 0 4)。ここでは、基端側から k 番目のセンサユニット S_{k-1} と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット S_k との間の基端側から k 番目のリンク T_k の形成について説明する。

【 0 0 5 1】

式 (7)、式 (8)、式 (1 2) (又は式 (1 5)) に示すように、ステップ S 1 0 2、S 1 0 3 でローカル座標系 C_{k-1} (つまりリンク) の姿勢角 α_{k-1} 、 β_{k-1} 、 γ_{k-1} が算出される。この姿勢 α_{k-1} 、 β_{k-1} 、 γ_{k-1} 及びそれぞれのセンサユニ

50

ット S_i の間の長手方向についての間隔であるセンサ間寸法 l を用いて、センサユニット S_{k-1} がグローバル座標系 C の原点に位置する場合の、センサユニット S_k の座標 $P'_k (l_{xk}, l_{yk}, l_{zk})$ が求まる。ここで、座標 P'_k は、
【数 16】

$$l_k = [l_{xk} \ l_{yk} \ l_{zk}]^T = l C_{Bk-1}^G e_{yk-1} = l \begin{bmatrix} -\sin\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \cos\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \sin\alpha_{k-1} \end{bmatrix} \quad (16.1)$$

$$e_{yk-1} = [0 \ 1 \ 0]^T \quad (16.2)$$

10

【0052】

となる。式(16.1)、式(16.2)の e_{yk-1} は、ローカル座標系 C_{k-1} の原点での長手方向である Y_{k-1} 軸方向の単位ベクトルである。単位ベクトル e_{yk-1} と式(1)で算出される回転行列を乗算することにより、単位ベクトル e_{yk-1} のグローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向成分がそれぞれ算出される。すなわち、 l_{xk}, l_{yk}, l_{zk} は、ローカル座標系 C_{k-1} の Y_{k-1} 軸方向への大きさ l のベクトルを、それぞれグローバル座標系 C の X 軸方向、 Y 軸方向、 Z 軸方向に分解した成分である。グローバル座標系 C の原点と式(16.1)、式(16.2)で算出される座標 $P'_k (l_{xk}, l_{yk}, l_{zk})$ とを直線状に結ぶことにより、リンク T_k が形成される。

20

【0053】

なお、リンク T_k 以外のリンク T_j についても、リンク形成部 41 により同様に形成される。すなわち、式(16.1)、式(16.2)を用いて、リンク T_j の基端側(グローバル座標系 C の原点から近い側)のセンサユニット S_{j-1} がグローバル座標系 C の原点に位置する場合の、リンク T_j の先端側(グローバル座標系 C の原点から遠い側)のセンサユニット S_j の座標 $P'_j (l_{xj}, l_{yj}, l_{zj})$ を求める。そして、グローバル座標系 C の原点と座標 $P'_j (l_{xj}, l_{yj}, l_{zj})$ とを直線状に結ぶことにより、リンク T_j が形成される。すなわち、リンク形成部 41 は、リンク T_j が基端側(グローバル座標系 C の原点から近い側)のセンサユニット S_{j-1} の中心から先端側(グローバル座標系 C の原点から遠い側)のセンサユニット S_j の中心まで基端側のセンサユニット S_{j-1} の中心での長手方向に延設されると仮定して、リンク T_j を形成する。

30

【0054】

また、センサ間寸法 l は 50 mm 程度であることが好ましい。センサ間寸法 l を長くすることにより、センサユニット S_i の数が減少し、コストが削減される。また、センサ間寸法 l が 50 mm 程度より小さい範囲であれば、それぞれのセンサユニット S_i の間を寸法がセンサ間寸法 l に等しい直線状のリンク T_j と仮定した場合でも、挿入部 11 の形状検出の際の誤差を小さくすることが可能である。

【0055】

そして、リンク位置補正部 42 が、リンク形成部 41 により形成されたそれぞれのリンク T_j を隣接するリンク T_{j-1}, T_{j+1} とのリンク境界が連続する状態に平行移動して、リンク T_j の位置を補正する(ステップ S105)。図 7 は、リンク位置補正部 42 での処理を説明する図である。ここでは、基端側から k 番目のセンサユニット S_{k-1} と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット S_k との間の基端側から k 番目のリンク T_k の位置補正について説明する。

40

【0056】

図 7 に示すように、リンク位置補正部 42 により、リンク T_k の位置補正が行われる前の状態では、リンク T_k の基端側に隣接するリンク T_{k-1} まで位置補正が完了し、リンク位置補正完了部 73 が形成されている。リンク T_k の位置補正を行う際は、原点からリンク位置補正完了部 73 の先端までの移動量だけ、リンク位置補正部 42 はリンク T_k を

50

平行移動する。すなわち、図 7 の点線で示す位置から図 7 の実線で示す位置にリンク T_k を平行移動する。これにより、リンク T_{k-1} とリンク T_k とのリンク境界が連続する状態となり、リンク T_k の位置が補正される。

【0057】

なお、リンク T_k 以外のリンク T_j についても、リンク位置補正部 42 により同様に位置が補正される。すなわち、リンク T_j の位置補正を行う際は、原点からリンク位置補正完了部 73 の先端（グローバル座標系 C の原点から遠い側の端）までの移動量だけ、リンク位置補正部 42 はリンク T_j を平行移動する。これにより、リンク T_j とリンク T_j の基端側（グローバル座標系 C の原点から近い側）に隣接するリンク T_{j-1} とのリンク境界が連続する状態となり、リンク T_j の位置が補正される。ただし、リンク T_1 については、リンク T_1 の基端がグローバル座標系 C の原点であるため、位置の補正は行われない。

10

【0058】

図 3 に示すように、線形形状検出部 40 は、形状修正部 50 に接続されている。形状修正部 50 は、パーティクルフィルタによりそれぞれのセンサユニット S_i の位置（状態）を補正し、線形形状検出部 40 により検出された検出線形形状 71 を修正する。図 8 は、形状修正部 50 により修正された内視鏡 10 の挿入部 11 の修正形状 75 をグローバル座標 C の Z 軸の正の方向から見た図である。図 8 に示すように、形状修正部 50 により、図 8 の点線で示す検出線形形状 71 が修正形状 75 に修正される。それぞれのセンサユニット S_i の位置を補正することにより、それぞれのリンク T_j の形状が修正され修正リンク（修正センサ間要素） T'_j が決定される。修正形状 75 は、それぞれの修正リンク T'_j から構成されている。

20

【0059】

形状修正部 50 は、それぞれのリンク T_j ごとに基端側（グローバル座標系 C の原点から近い側）のリンク T_j から順に形状修正を行い、修正リンク T'_j を形成する形状修正順次実施部 51 と、すべてのリンク T_j について形状修正を行う状態に形状修正順次実施部 51 を制御する形状修正制御部 52 とを備える。また、形状修正部 50 は、形状修正順次実施部 51 により 1 つのリンク T_j の形状修正が行われるたびに、形状修正が行われていないリンク（未修正リンク） T_j から構成される修正未完了部 79 を平行移動し、位置を補正する未修正リンク位置補正部 53 を備える。未修正リンク位置補正部 53 により、修正未完了部 79 が、形状修正により形成される修正リンク T'_j から構成される修正完了部 77 と境界が連続する状態に平行移動される。

30

【0060】

図 3 に示すように、形状修正順次実施部 51 は、修正対象のリンク（修正対象リンク） T_j の先端側（グローバル座標系 C の原点から遠い側）のセンサユニット（状態補正対象センサ） S_j の位置（状態）を補正するセンサ位置補正部（センサ状態補正部）55 と、センサ位置補正部 55 により補正されたセンサユニット S_j の位置に基づいて修正リンク T'_j を形成する修正リンク形成部（修正センサ間要素形成部）57 とを備える。

【0061】

また、形状修正順次実施部 51 は、パーティクルフィルタを用いて、修正対象のリンク T_j の先端側のセンサユニット S_j の位置の推定を行うセンサ位置推定部（センサ状態推定部）61 を備える。センサ位置推定部 61 は、リンク T_j の先端に位置する初期位置（初期状態）に基づいて、1 回目のセンサユニット S_j の位置推定を行う。また、センサ位置推定部 61 は、1 回目の推定結果に基づいて、2 回目のセンサユニット S_j の位置推定を行う。すなわち、センサ位置推定部 61 は、パーティクルフィルタを用いて、初期位置又は前回の推定の推定結果に基づいてセンサユニット S_j の位置推定を行う。さらに、形状修正順次実施部 51 は、センサユニット S_j の位置推定を所定の回数だけ行う状態にセンサ位置推定部 61 を制御する位置推定制御部（状態推定制御部）62 を備える。

40

【0062】

センサ位置推定部 61 は、パーティクル撒布部 63 と、パーティクル移動部 65 と、重

50

み算出部 67 と、センサ位置観測部（センサ状態観測部）69 とを備える。パーティクル撒布部 63、パーティクル移動部 65、重み算出部 67、センサ位置観測部 69 の詳細については、後述する。

【0063】

形状修正部 50 には、描画部 45 が接続されている。形状修正部 50 により修正されたグローバル座標系 C での挿入部 11 の修正形状 75 は、描画部 45 により描画される。術者は、描画部 45 により描画された修正形状 75 を表示部 47 で確認可能となっている。

【0064】

ここで、形状修正部 50 で、線形形状検出部 40 により検出された検出線形形状 71 を修正する方法について説明する。図 4 に示すように、形状修正部 50 は、パーティクルフィルタによりそれぞれのセンサユニット S_i の位置を補正し、線形形状検出部 40 により検出された検出線形形状 71 を修正する（ステップ S106）。前述のように、センサ間寸法 l が 50 mm 程度より小さい範囲であれば、それぞれのセンサユニット S_i の間を寸法がセンサ間寸法 l に等しい直線状のリンク T_j と仮定した場合でも、挿入部 11 の形状検出の際の誤差は小さくなる。しかし実際は、それぞれのセンサユニット S_i の計測データはノイズ等により誤差を有し、また、体腔内に挿入された際の内視鏡 10 の挿入部 11 は曲線形状を呈している。このため、挿入部 11 の形状は基端側のセンサユニット S_{j-1} の中心から先端側のセンサユニット S_j の中心まで基端側のセンサユニット S_{j-1} の中心での長手方向に延設される直線状のリンク形状とは限らない。したがって、検出線形形状 71 の形状修正を行うことが重要となる。

【0065】

それぞれのセンサユニット S_i の位置を補正し検出線形形状 71 を修正する際、形状修正順次実施部 51 は、それぞれのリンク T_j ごとに基端側（グローバル座標系 C の原点から近い側）のリンク T_j から順に形状修正を行い、修正リンク T'_j を形成する。ここで、形状修正順次実施部 51 により、リンク T_j の形状修正を行う方法について説明する。ここでは、基端側から k 番目のセンサユニット S_{k-1} と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット S_k との間の基端側から k 番目のリンク T_k の形状修正について説明する。

【0066】

図 9 は、形状修正部 50 により検出線形形状 71 の形状を修正する方法を示すフローチャートである。図 10 乃至図 15 は、形状修正順次実施部 51 での処理を説明する図である。図 10 に示すように、形状修正順次実施部 51 により、リンク T_k の形状修正が行われる前の状態では、リンク T_{k-1} まで形状修正が完了し、修正完了部 77 が形成されている。修正完了部 77 は、修正リンク $T'_1 \sim T'_{k-1}$ から構成されている。また、リンク $T_k \sim T_N$ から構成される修正未完了部 79 が形成されている。この際、修正完了部 77 と修正未完了部 79 との境界は連続し、センサユニット S_k はグローバル座標系 C で点 Q_{k-0} に位置している。

【0067】

この状態で、形状修正順次実施部 51 により、修正未完了部 79 の中で最も基端側に位置するリンク（修正対象リンク） T_k の形状修正が開始される（ステップ S111）。すなわち、形状修正制御部 52 により、形状修正順次実施部 51 がリンク T_k の形状修正を行う状態に制御される。

【0068】

形状修正順次実施部 51 によりリンク T_k の形状修正を行う際にはまず、センサ位置推定部 61 によりリンク T_k の先端側のセンサユニット（状態補正対象センサ） S_k の位置を、パーティクルフィルタを用いて、リンク T_k の先端に位置する初期位置（ Q_{k-0} ）に基づいて推定する。図 9 及び図 10 に示すように、センサユニット S_k の位置を初期位置に基づいて推定する際は、まず、パーティクル撒布部 63 によりリンク T_k の先端側のセンサユニット S_k の初期位置 Q_{k-0} の周辺に所定の数（本実施形態では A 個とする）のパーティクル 72 を撒く（ステップ S112）。ここで、センサユニット S_k の初期位置（すなわち、パーティクルフィルタにおける状態ベクトル）を Q_{k-0} （ q_{xk-0} ，

$q_{y_{k-0}}, q_{z_{k-0}}$)とし、初期位置 Q_{k-0} の誤差の分散を $(\delta_x, \delta_y, \delta_z)$ とする。 $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ を求める際は、ノイズ等により生じるそれぞれのセンサユニット S_i の計測データの誤差の分散から、式(1)～式(15)を用いてセンサユニット S_{k-1} の姿勢角 $\alpha_{k-1}, \beta_{k-1}, \gamma_{k-1}$ の誤差の分散を求める。そして、姿勢角 $\alpha_{k-1}, \beta_{k-1}, \gamma_{k-1}$ の誤差の分散から式(16)を用いて、センサユニット S_k の初期位置 Q_{k-0} の誤差の分散 $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ を求める。パーティクル72は、センサユニット S_k の初期位置 Q_{k-0} に誤差の分散 $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ を加えた範囲に様に撒かれる。すなわち、それぞれのパーティクル72のグローバル座標系Cでの位置を $Q_{k-1}^a (q_{x_{k-1}}^a, q_{y_{k-1}}^a, q_{z_{k-1}}^a)$ ($a = 1, 2, \dots, A$) とすると、

10

【数17】

$$q_{x_{k-0}} - \delta_x \leq q_{x_{k-1}}^a \leq q_{x_{k-0}} + \delta_x \quad (17.1)$$

$$q_{y_{k-0}} - \delta_y \leq q_{y_{k-1}}^a \leq q_{y_{k-0}} + \delta_y \quad (17.2)$$

$$q_{z_{k-0}} - \delta_z \leq q_{z_{k-1}}^a \leq q_{z_{k-0}} + \delta_z \quad (17.3)$$

【0069】

の範囲でパーティクル72が一様に撒かれる。すなわち、システムの雑音をホワイトノイズとして仮定している。なお、パーティクルの撒布範囲は経験的に決定されてもよいが、撒布範囲が大きすぎる場合は、推定精度が劣化する。それぞれのパーティクル72が最初に撒かれる際には、それぞれのパーティクル72に初期の重み w_{k-0}^a があらかじめ与える。重み w_{k-0}^a は、例えばそれぞれのパーティクル72で一定に $1/A$ で与えられる。ここで、パーティクル72は、状態ベクトルの確率密度関数を状態空間のA個の離散的な仮説で表現したものであり、それぞれのパーティクル72が確率に比例する重み w_{k-0}^a を有している。すなわち、パーティクルフィルタでは、複数(本実施形態ではA個)のパーティクル72を用いて、状態ベクトルの確率密度関数を推定する。

20

【0070】

そして、パーティクル移動部65が挿入部11の状態(移動状態、曲がり状態等)及びセンサユニット S_k での計測データに基づいてそれぞれのパーティクル72の移動モデルを検出する。そして、パーティクル移動部65は、重み w_{k-0}^a に比例する確率からパーティクル72を選択し、検出された移動モデルに基づいてそれぞれのパーティクル72を移動させる(ステップS113)。パーティクル移動部65により、それぞれのパーティクル72は移動前パーティクル位置から移動後パーティクル位置へ移動する。ただし、本実施形態では、挿入部11が移動しない静状態であり、かつ、それぞれのセンサユニット S_i の間の曲線補間を行わないため、パーティクル72の移動は行われない。

30

【0071】

そして、重み算出部67によりそれぞれのパーティクル72の重み w_{k-1}^a を算出する(ステップS114)。すなわち、それぞれのパーティクル72の重みが、 w_{k-0}^a から w_{k-1}^a に更新される。重み算出部67は、まず、それぞれのパーティクル72の尤もらしさの評価する尤度 v_{k-1}^a を算出する。尤度により、センサユニット S_k がそれぞれのパーティクル72のパーティクル移動部65により移動された移動後パーティクル位置に位置する尤もらしさが示される。尤度は、

40

【数18】

$$v_{k-1}^a = h(b_{k-1}^a) + g(\phi_{k-1}^a) \quad (18)$$

【0072】

となる。 b_{k-1}^a はグローバル座標系Cにおいて、位置補正後のセンサユニット S_k 。

50

とそれぞれのパーティクル 7 2 との間の線分の寸法である。例えば図 1 1 に示すように、センサユニット S_{k-1} とパーティクル 7 2 A (グローバル座標系 C での位置が Q_{k-1}^s のパーティクル) との間の線分の寸法は、 b_{k-1}^s となる。ここで関数 $h(b_{k-1}^a)$ は例えば、
【数 1 9】

$$h(b_{k-1}^a) = \exp\left(-\left|b_{k-1}^a - b_0\right|\right) \quad (19)$$

【0073】

とする。 b_0 はそれぞれのセンサユニット S_i のセンサ間寸法 1 とする。式 (19) より、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とパーティクル 7 2 との間の線分の寸法と、センサ間寸法 1 との差が小さいほど関数 $h(b_{k-1}^a)$ は大きくなり、尤度が大きくなる。逆に、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とパーティクル 7 2 との間の線分の寸法と、センサ間寸法 1 との差が大きいほど関数 $h(b_{k-1}^a)$ は小さくなり、尤度が小さくなる。 φ_{k-1}^a は、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} からそれぞれのパーティクル 7 2 までのベクトル V 1 と、それぞれのパーティクル 7 2 から位置補正前のセンサユニット S_{k+1} までのベクトル V 2 との成す角度である。例えば図 1 1 に示すように、パーティクル 7 2 A (グローバル座標系 C での位置が Q_{k-1}^s のパーティクル) では、ベクトル V 1 とベクトル V 2 との成す角度は、 φ_{k-1}^s となる。ここで関数 $g(\varphi_{k-1}^a)$ は例えば、

【数 2 0】

$$g(\varphi_{k-1}^a) = \frac{1}{1 + c \cdot \exp\left(\left|\varphi_{k-1}^a\right| - \pi/2\right)} \quad (c > 0) \quad (20)$$

【0074】

とする。ここで、 c は定数であり、例えば 4 である。式 (20) よりベクトル V 1 と V 2 の成す角度が 0 度 ~ ± 90 度の範囲であれば、関数 $g(\varphi_{k-1}^a)$ は大きくなり、尤度が大きくなる。逆に、それ以外の角度であれば、関数 $g(\varphi_{k-1}^a)$ は小さくなり、尤度が小さくなる。それぞれのセンサユニット S_i のセンサ間寸法 1 を 50 mm とした場合、実際に角度 φ_{k-1}^a は 0 度 ~ 略 ± 90 度の範囲を取り得る。このことは、内視鏡 1 0 の挿入部 1 1 と径が略同一の径が 10 mm の樹脂製チューブを曲げた状態から、容易に想到される。角度 φ_{k-1}^a の範囲は、製品、挿入部の位置によって異なるため、製品および / または挿入部位置に対応して調整されることが望ましい。

【0075】

そして、それぞれのパーティクル 7 2 の尤度から、重み w_{k-1}^a を算出する。それぞれのパーティクル 7 2 の重みは、

【数 2 1】

$$w_{k-1}^a = \frac{v_{k-1}^a}{\sum_{a=1}^A v_{k-1}^a} \quad (21)$$

【0076】

となる。すなわち、重みはそれぞれのパーティクル 7 2 の尤度を、尤度の合計を 1 として規格化した値である。以上のようにして、それぞれのパーティクル 7 2 の重みが算出される。

【0077】

そして、センサ位置観測部 6 9 が、重み算出部 6 7 で算出されたそれぞれのパーティクル 7 2 の重みに基づいて、センサユニット S_k の位置を観測する (ステップ S 1 1 5)。

この際、センサ位置観測部 6 9 は、図 1 2 に示すように、それぞれのパーティクル 7 2 のパーティクル移動部 6 5 により移動される前の移動前パーティクル位置の重み付き平均を算出し、算出された位置を移動前センサ位置 Q'_{k-1} とする。そして、パーティクル移動部 6 5 がそれぞれのパーティクル 7 2 を移動させる際に用いた移動モデルにより、移動前センサ位置 Q'_{k-1} から移動後センサ位置 Q_{k-1} への移動を行い、移動後センサ位置 Q_{k-1} をセンサユニット S_k の位置として推定する。なお、本実施形態では、パーティクル移動部 6 5 によりパーティクル 7 2 の移動は行われないため、移動前センサ位置 Q'_{k-1} と移動後センサ位置 Q_{k-1} との位置は同一である。

【0078】

そして、位置推定制御部 6 2 により、所定の回数（本実施形態では M 回とする）だけセンサユニット S_k の位置推定が行われたかを判断する（ステップ S 1 1 6）。現状では、センサユニット S_k の位置推定が 1 回しか行われていないため（ステップ S 1 1 6 - No）、センサ位置推定部 6 1 は位置推定制御部 6 2 により、センサユニット S_k の位置推定をもう 1 回行う状態に制御される。この際、センサ位置推定部 6 1 は、1 回目の推定結果に基づいて、センサユニット S_k の位置推定を行う。同様に、例えば t 回目の位置推定では、(t - 1) 回目の推定結果に基づいて、センサユニット S_k の位置推定を行う。すなわち、2 回目以降の位置推定では、センサ位置推定部 6 1 は、前回の位置推定での推定結果に基づいて、センサユニット S_k の位置推定を行う。

【0079】

そして、ステップ S 1 1 2 に戻り、パーティクル撒布部 6 3 により所定の数（本実施形態では A 個とする）のパーティクル 7 2 を撒く（ステップ S 1 1 2）。2 回目の位置推定では、1 回目の位置推定の際に重み算出部 6 7 で算出されたそれぞれのパーティクル 7 2 の重みに基づいて、パーティクル 7 2 が撒かれる。同様に例えば t 回目の位置推定では、(t - 1) 回目の位置推定の際に重み算出部 6 7 で算出されたそれぞれのパーティクル 7 2 の重みに基づいてパーティクル 7 2 が撒かれる。すなわち、2 回目以降の位置推定では、パーティクル撒布部 6 3 は、前回の位置推定の際に重み算出部 6 7 で算出されたそれぞれのパーティクル 7 2 の重みに基づいてパーティクル 7 2 を撒く。すなわち、パーティクル撒布部 6 3 は、前回の位置推定の際のそれぞれのパーティクル 7 2 の重みに基づいてパーティクル 7 2 を撒く重み対応撒布部となっている。結果的に、図 1 3 A 及び図 1 3 B に示すように、例えば、前回の位置推定の際に算出された重みが大きいパーティクル 7 2 の移動前パーティクル位置の周辺（図 1 3 A、図 1 3 B 中の G 1 で示す範囲）では、撒くパーティクル 7 2 の数を多くする。一方、前回の位置推定の際に算出された重みが小さいパーティクル 7 2 の移動前パーティクル位置の周辺（図 1 3 A、図 1 3 B 中の G 2 で示す範囲）では、撒くパーティクル 7 2 の数を少なくする。なお、図 1 3 A は前回の位置推定の際に撒かれたパーティクル 7 2 のパーティクル移動部 6 5 により移動される前の移動前パーティクル位置を示し、図 1 3 B は現在のパーティクルの移動前パーティクル位置を示している。

【0080】

そして、2 回目以降の位置推定でも同様に、パーティクル移動部 6 5 が、1 回目の推定で用いた移動モデルに基づいて、それぞれのパーティクル 7 2 を移動させる（ステップ S 1 1 3）。これにより、それぞれのパーティクル 7 2 は、移動前パーティクル位置から移動後パーティクル位置へ移動する。

【0081】

そして、重み算出部 6 7 により、式 (18) ~ 式 (20) と同様の式を用いて、それぞれのパーティクル 7 2 の尤もらしさを評価する尤度を算出する。尤度により、センサユニット S_k がそれぞれのパーティクル 7 2 のパーティクル移動部 6 5 により移動された移動後パーティクル位置に位置する尤もらしさが示される。そして、式 (21) と同様の式を用いて、尤度からそれぞれのパーティクル 7 2 の重みが算出される（ステップ S 1 1 4）。ここで、例えば t 回目の位置推定では、式 (18) ~ 式 (21) の尤度 v_{k-1}^a 、重み w_{k-1}^a 、 b_{k-1}^a 、 ϕ_{k-1}^a の代わりに、それぞれ尤度 v_{k-t}^a 、重み w_k

10

20

30

40

50

$_{-t}^a, b_{k_{-t}}^a, \varphi_{k_{-t}}^a$ を用いて計算する。

【0082】

そして、センサ位置観測部 69 が、重み算出部 67 で算出されたそれぞれのパーティクル 72 の重みに基づいて、センサユニット S_k の位置を推定する（ステップ S115）。この際、センサ位置観測部 69 は、それぞれのパーティクル 72 のパーティクル移動部 65 により移動される前の移動前パーティクル位置の重み付き平均を算出し、算出された位置を移動前センサ位置とする。そして、パーティクル移動部 65 がそれぞれのパーティクル 72 を移動させる際に用いた移動モデルにより、移動前センサ位置から移動後センサ位置への移動を行い、移動後センサ位置をセンサユニット S_k の位置として推定する。例えば、 t 回目の位置推定では、それぞれのパーティクル 72 の重み付平均から移動前センサ位置 $Q'_{k_{-t}}$ が算出され、移動モデルでの移動により移動前センサ位置 $Q'_{k_{-t}}$ から移動後センサ位置 $Q_{k_{-t}}$ へ移動する。

10

【0083】

そして、位置推定制御部 62 により、所定の回数（本実施形態では M 回とする）だけセンサユニット S_k の位置推定が行われたかを判断する（ステップ S116）。センサユニット S_k の位置推定が所定の回数だけ行われていない場合は（ステップ S116 - No）、センサ位置推定部 61 は位置推定制御部 62 により、センサユニット S_k の位置推定をもう 1 回行う状態に制御され、ステップ S112 ~ ステップ S115 をもう 1 回行う。センサユニット S_k の位置推定が所定の回数だけ行われている場合は（ステップ S116 - Yes）、次のステップに進む。

20

【0084】

図 14 に示すように、センサユニット S_k の位置推定を所定の回数だけ行った後、センサ位置補正部 55 は、センサ位置推定部 61 での推定結果に基づいて、修正対象のリンク（修正対象リンク） T_k の先端側のセンサユニット（状態補正対象センサ） S_k の位置を補正する（ステップ S117）。センサ位置補正部 55 は、センサユニット S_k の位置を、リンク T_k の先端に位置する初期位置（ Q_{k_0} ）からセンサ位置観測部 61 の最終回（本実施形態では M 回目）の位置推定の際に推定されたセンサユニット S_k の移動後センサ位置 Q_{k_M} へと、補正する。また、修正リンク形成部 57 が、センサ位置補正部 55 により補正されたセンサユニット S_k の位置に基づいて修正リンク T'_k を形成する（ステップ S117）。ここでは、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とセンサユニット S_k の移動後センサ位置 Q_{k_M} とを結ぶ線分が、修正リンク T'_k となる。センサユニット S_k の位置の移動により、形状修正順次実施部 51 によりリンク T_k の形状修正が行われる前の状態では連続していた修正完了部 77 と修正未完了部 79 との境界が、不連続な状態となる。すなわち、修正リンク T'_k とリンク T_{k+1} が不連続な状態となる。

30

【0085】

なお、リンク T_k 以外のリンク T_j についても、形状修正順次実施部 51 により同様に形状修正が行われる。すなわち、リンク（修正対象リンク） T_j の形状修正が開始されると（ステップ S111）、センサ位置推定部 61 が、パーティクルフィルタを用いて、修正対象のリンク T_j の先端側（グローバル座標 C の原点から遠い側）のセンサユニット（状態補正対象センサ） S_j の位置の推定を行う。センサユニット S_j の位置の推定を行う際は、まず、パーティクル撒布部 63 がセンサユニット S_j の初期位置 Q_{j_0} 、又は、前回の位置推定の際に重み算出部 67 で算出されたそれぞれのパーティクル 72 の重みに基づいて所定の数のパーティクル 72 を撒く（ステップ S112）。そして、パーティクル移動部 65 が、上述した移動モデルを検出し、移動モデルに基づいて、それぞれのパーティクル 72 を移動させる（ステップ S113）。これにより、それぞれのパーティクル 72 は、移動前パーティクル位置から移動後パーティクル位置へ移動する。

40

【0086】

そして、重み算出部 67 により、式（18）～式（20）と同様の式を用いて、それぞれのパーティクル 72 の尤もらしさを評価する尤度を算出する。尤度により、センサユニット S_j がそれぞれのパーティクル 72 のパーティクル移動部 65 により移動された移動

50

後パーティクル位置に位置する尤もらしさが検出される。そして、式(21)と同様の式を用いて、尤度からそれぞれのパーティクル72の重みが算出される(ステップS114)。ここで、リンク T_j の形状修正が行われているので、例えば t 回目の位置推定では、式(18)~式(21)の尤度 v_{k-1}^a 、重み w_{k-1}^a 、 b_{k-1}^a 、 ϕ_{k-1}^a の代わりに、それぞれ尤度 v_{j-t}^a 、重み w_{j-t}^a 、 b_{j-t}^a 、 ϕ_{j-t}^a を用いて計算する。そして、センサ位置観測部69が、重み算出部67で算出されたそれぞれのパーティクル72の重みに基づいて、センサユニット S_j の位置を観測する(ステップS115)。例えば、 t 回目の位置推定では、それぞれのパーティクル72の重み付平均から移動前センサ位置 Q'_{j-t} が算出され、移動モデルでの移動により移動前センサ位置 Q'_{j-t} から移動後センサ位置 Q_{j-t} への移動が行われる。そして、移動後センサ位置 Q_{j-t} が、センサユニット S_j の位置として推定される。

10

【0087】

そして、位置推定制御部62により、所定の回数(本実施形態では M 回とする)だけセンサユニット S_j の位置推定が行われたかを判断する(ステップS116)。センサユニット S_j の位置推定が所定の回数だけ行われていない場合は(ステップS116-No)、センサ位置推定部61は位置推定制御部62により、センサユニット S_j の位置推定を所定の回数だけ行う状態に制御され、ステップS112~ステップS115をもう1回行う。センサユニット S_j の位置推定が所定の回数だけ行われている場合は(ステップS116-Yes)、次のステップに進む。

【0088】

20

センサ位置推定部61によりセンサユニット S_j の位置推定が所定の回数だけ行った後、センサ位置補正部55は、センサ位置推定部61の推定結果に基づいて、修正対象のリンク(修正対象リンク) T_j の先端側(グローバル座標系 C の原点から遠い側)のセンサユニット(状態補正対象センサ) S_j の位置を補正する(ステップS117)。センサ位置補正部55は、センサユニット S_j の位置を、リンク T_j の先端(グローバル座標系の遠い側の端)に位置する初期位置(Q_{j-0})からセンサ位置観測部61の最終回(本実施形態では M 回目)の位置推定の際に推定されたセンサユニット S_j の移動後センサ位置 Q_{j-M} へと、補正する。また、修正リンク形成部57が、センサ位置補正部55により補正されたセンサユニット S_j の位置に基づいて修正リンク T'_j を形成する(ステップS117)。ここでは、位置補正後のセンサユニット S_{j-1} とセンサユニット S_j の移動後センサ位置 Q_{j-M} とを結ぶ線分が、修正リンク T'_j となる。

30

【0089】

図15は、未修正リンク位置補正部53での処理を説明する図である。図15に示すように、形状修正順次実施部51により、リンク T_k の形状修正が行われ、修正リンク T'_k が形成された後の状態では、形状修正が完了した修正完了部77と、形状修正が完了していない修正未完了部79とが形成されている。修正完了部77は修正リンク $T'_1 \sim T'_k$ から構成され、修正未完了部79はリンク $T_{k+1} \sim T_N$ から構成されている。この際、前述のようにリンク T_k の形状修正によりセンサユニット S_k の位置が点 Q_{k-0} から点 Q_{k-M} に移動するため、修正完了部77と修正未完了部79との境界は、不連続となっている。この状態で、未修正リンク位置補正部53が、修正未完了部79を修正完了部77と境界が連続する状態に平行移動して、修正未完了部79の位置を補正する(ステップS118)。すなわち、図15の点線で示す位置から、実線で示す位置に修正未完了部79が平行移動される。

40

【0090】

なお、リンク T_k 以外のリンク T_j についても、同様に未修正リンク位置補正部53により修正未完了部79の位置が補正される。すなわち、形状修正順次実施部51によりリンク T_j の形状修正が行われた後、修正完了部77と修正未完了部79との境界は不連続となっている。この状態で、未修正リンク位置補正部53が、修正未完了部79を修正完了部77と連続する状態に平行移動して、修正未完了部79の位置を補正する(ステップS118)。未修正リンク位置補正部53は、形状修正順次実施部51により1つのリン

50

ク T_j の形状修正が行われるたびに、修正未完了部79の位置を補正する。

【0091】

そして、図9に示すように、形状修正制御部52が、すべてのリンク T_j について形状修正が完了したか確認する(ステップS119)。すべてのリンク T_j について形状修正が完了している場合は、挿入部11の修正形状75が形成され、次のステップへ進む(ステップS119 - Yes)。すべてのリンク T_j について形状修正が完了していない場合は、ステップS111に戻り(ステップS119 - No)、形状修正順次実施部51により、修正未完了部79の中で最も基端側(グローバル座標系Cの原点から近い側)に位置するリンク(修正対象リンク) T_j の形状修正が行われる。すなわち、ステップS111 ~ S118が、すべてのリンク T_j について形状修正が完了するまで繰り返し行われる。

10

【0092】

そこで、上記構成の内視鏡形状検出装置1及び内視鏡形状検出装置1を用いた内視鏡10の挿入部11の形状検出方法では、以下の効果を奏する。すなわち、内視鏡形状検出装置1では、それぞれのセンサユニット S_i の計測データから姿勢検出部30がセンサユニット S_i の姿勢を検出し、線形形状検出部40がそれぞれのセンサユニット S_i の姿勢から内視鏡10の挿入部11の検出線形形状71を検出する。そして、形状修正部50が、パーティクルフィルタによりそれぞれのセンサユニット S_i の位置を補正し、線形形状検出部40により検出された検出線形形状71を修正する。そして、挿入部11の修正形状75が形成される。以上のように、観察時に体腔内に挿入される挿入部11に配置されるセンサユニット S_i の計測データから、挿入部11の修正形状75が検出されるため、体外にセンスコイル等を設ける必要がない。このため、内視鏡形状検出装置1の小型化、単純化を実現することができる。

20

【0093】

また、内視鏡形状検出装置1では、形状修正部50により、パーティクルフィルタを用いてそれぞれのセンサユニット S_i の位置を補正し、検出線形形状71を修正している。形状修正部50では、形状修正順次実施部51のセンサ位置推定部61によりそれぞれのセンサユニット S_i の推定を所定の回数だけ行う。センサユニット S_i の推定の際、重み算出部67によりそれぞれのパーティクル72の重みを算出する。そして、センサ位置観測部69が、重み算出部67で算出されたそれぞれのパーティクル72の重みに基づいて、センサユニット S_i の位置を観測する。算出されるパーティクル72の重みが大きいほど、パーティクル移動部65により移動されたそれぞれのパーティクル72の移動後パーティクル位置が、体腔内に挿入される挿入部11でのセンサユニット S_i の尤もらしい位置(位置する確率が高い位置)となる。このため、センサ位置観測部69により、高い精度でセンサユニット S_i の位置が観測される。センサ位置補正部55は、センサ位置推定部61での最終回の推定でセンサ位置観測部69により観測された位置である移動後センサ位置に、それぞれのセンサユニット S_i の位置を補正する。このため、位置補正後のセンサユニット S_i の位置は、体腔内に挿入される挿入部11でのセンサユニット S_i の尤もらしい位置(位置する確率が高い位置)となる。形状修正部50は、位置補正後のセンサユニット S_i の位置に基づいて、検出線形形状71の修正を行うため、実際の挿入部11の形状と誤差の少ない修正形状75を検出することができる。これにより、高い精度で挿入部11の修正形状75を検出することができる。

30

40

【0094】

さらに、内視鏡形状検出装置1では、挿入部11が移動していない静状態において、加速度センサ A_i が重力加速度を計測し、地磁気センサ B_i が地磁気を計測する。そして、計測された重力加速度、地磁気から姿勢検出部30がそれぞれのセンサユニット S_i の姿勢を検出する。静状態では、重力加速度及び地磁気は、常に一定の方向に一定の大きさを有する。重力加速度、地磁気からそれぞれのセンサユニット S_i の姿勢を検出するため、静状態においても高い精度でセンサユニット S_i の姿勢を検出することができる。これにより、高い精度で挿入部11の修正形状75を検出することができる。

【0095】

50

(第2の実施形態)

次に、本発明の第2の実施形態について図16乃至図21を参照して説明する。なお、第1の実施形態と同一の部分及び同一の機能を有する部分については同一の符号を付して、その説明は省略する。

【0096】

図16は、本実施形態の形状修正部150の構成を示す図である。形状修正部150は、パーティクルフィルタによりそれぞれのセンサユニット S_i の位置(状態)を補正し、線形形状検出部40により検出された検出線形形状71を修正する。図17は、形状修正部50により修正された内視鏡10の挿入部11の修正形状175をグローバル座標CのZ軸の正の方向から見た図である。図17に示すように、形状修正部150により、図17の点線で示す検出線形形状71が修正形状175に修正される。それぞれのセンサユニット S_i の位置を補正することにより、それぞれのリンク T_j の形状が修正され円弧(修正センサ間要素) L_j が決定される。修正形状175は、それぞれの円弧 L_j から構成されている。実際に、体腔内に挿入された際の内視鏡10の挿入部11の形状は曲線形状である。ここで、内視鏡10の挿入部11は、製品により差はあるが、適度の弾性を有する。このため、挿入部11の曲線形状の曲率が大きく変化することは、稀である。したがって、センサユニット S_i の間の形状を所定の半径(曲率)の円弧 L_j と仮定して形状修正を行うことにより、実際の挿入部11の曲線形状と誤差の少ない修正形状175が形成される。

【0097】

図16に示すように、形状修正部150は、形状修正順次実施部151と、形状修正制御部152と、未修正リンク位置補正部153を備える。形状修正順次実施部151は、それぞれのリンク T_j ごとに基端側(グローバル座標系Cの原点から近い側)のリンク T_j から順に形状修正を行い、円弧(修正センサ間要素) L_j を形成する。すなわち、第1の実施形態の形状修正順次実施部51が修正リンク T'_j を形成するのに対し、本実施形態の形状修正順次実施部151は円弧 L_j を形成する。形状修正制御部152と、未修正リンク位置補正部153については、第1の実施形態の、形状修正制御部52と、未修正リンク位置補正部53と同一の構成及び機能であるため、その説明を省略する。

【0098】

形状修正順次実施部151は、修正対象のリンク(修正対象リンク) T_j の先端側(グローバル座標系Cの原点から遠い側)のセンサユニット(状態補正対象センサ) S_j の位置を補正するセンサ位置補正部(センサ状態補正部)155と、センサ位置補正部155により補正されたセンサユニット S_j の位置に基づいて円弧 L_j を形成する円弧形成部(修正センサ間要素形成部)157とを備える。すなわち、第1の実施形態の修正リンク形成部57が位置補正後のセンサユニット S_j の位置に基づいて修正リンク T'_j を形成するのに対し、本実施形態の円弧形成部157は円弧 L_j を形成する。

【0099】

形状修正順次実施部151は、パーティクルフィルタを用いて、修正対象のリンク T_j の先端側のセンサユニット S_j の位置の推定を行うセンサ位置推定部(センサ状態推定部)161を備える。センサ位置推定部161は、リンク T_j の先端に位置する初期位置に基づいて、1回目のセンサユニット S_j の位置推定を行う。また、センサ位置推定部161は、1回目の推定結果に基づいて、2回目のセンサユニット S_j の位置推定観測を行う。すなわち、センサ位置推定部161は、パーティクルフィルタを用いて、初期位置又は前回の推定の推定結果に基づいてセンサユニット S_j の位置推定を行う。また、形状修正順次実施部151は、センサユニット S_j の位置推定を所定の回数だけ行う状態にセンサ位置推定部161を制御する位置推定制御部(状態推定制御部)162を備える。

【0100】

センサ位置推定部161は、パーティクル撒布部163と、パーティクル移動部である曲線補間部165と、重み算出部167と、センサ位置観測部(センサ状態観測部)169とを備える。パーティクル撒布部163、曲線補間部165、重み算出部167、セン

サ位置観測部 169 の詳細については、後述する。

【0101】

ここで、形状修正部 150 で、線形形状検出部 40 により検出された検出線形形状 71 を修正する方法について説明する。図 4 に示すように、形状修正部 150 は、パーティクルフィルタによりそれぞれのセンサユニット S_i の位置を補正し、線形形状検出部 40 により検出された検出線形形状 71 を修正する（ステップ S106）。

【0102】

それぞれのセンサユニット S_i の位置を補正し検出線形形状 71 を修正する際、形状修正順次実施部 151 は、それぞれのリンク T_j ごとに基端側（グローバル座標系 C の原点から近い側）のリンク T_j から順に形状修正を行い、円弧 L_j を形成する。ここで、形状修正順次実施部 51 により、リンク T_j の形状修正を行う方法について説明する。ここでは、基端側から k 番目のセンサユニット S_{k-1} と基端側から $(k+1)$ 番目のセンサユニット S_k との間の基端側から k 番目のリンク T_k の形状修正について説明する。

【0103】

図 18 は、形状修正部 150 により検出線形形状 71 の形状を修正する方法を示すフローチャートである。図 19 乃至図 21 は、形状修正順次実施部 151 での処理を説明する図である。図 19 に示すように、形状修正順次実施部 151 により、リンク T_k の形状修正が行われる前の状態では、第 1 の実施形態と同様に、リンク T_{k-1} まで形状修正が完了し、修正完了部 177 が形成されている。また、リンク $T_k \sim T_N$ から構成される修正未完了部 179 が形成されている。この際、修正完了部 177 と修正未完了部 179 との境界は連続し、センサユニット S_k はグローバル座標系 C で点 U_{k-0} に位置している。

【0104】

図 18 及び図 19 に示すように、この状態で、形状修正順次実施部 151 により、修正未完了部 179 の中で最も基端側に位置するリンク（修正対象リンク） T_k の形状修正が開始される（ステップ S191）。すなわち、形状修正制御部 152 により、形状修正順次実施部 151 がリンク T_k の形状修正を行う状態に制御される。

【0105】

形状修正順次実施部 51 によりリンク T_k の形状修正を行う際には、まず、センサ位置推定部 161 によりリンク T_k の先端側のセンサユニット（状態補正対象センサ） S_k の位置を、パーティクルフィルタを用いて、リンク T_k の先端に位置する初期位置（ U_{k-0} ）に基づいて推定する。図 18 及び図 19 に示すように、センサユニット S_k の位置を初期位置に基づいて推定する際は、まず、パーティクル撒布部 163 によりリンク T_k の先端側のセンサユニット S_k の初期位置 U_{k-0} の周辺に所定の数（本実施形態では A 個とする）のパーティクル 172 を撒く（ステップ S192）。ここで、それぞれのパーティクル 172 は、第 1 の実施形態と同様に式（17）の範囲で一様に撒かれる。

【0106】

そして、曲線補間部 165 により、センサユニット S_{k-1} とパーティクル撒布部 163 により撒かれたそれぞれのパーティクル 172 との間の曲線補間を行う（ステップ S193）。曲線補間部 165 は、挿入部 11 の曲がり状態に基づいた移動モデルを用いて曲線補間を行い、それぞれのパーティクル 172 の位置を移動させる。すなわち、曲線補間部 165 は、挿入部 11 の曲がり状態に基づいた移動モデルを用いてそれぞれのパーティクル 172 を移動させるパーティクル移動部である。曲線補間部 165 により、それぞれのパーティクル 172 は補間前パーティクル位置（移動前パーティクル位置）から補間後パーティクル位置（移動後パーティクル位置）へ移動する。

【0107】

ここでは、センサユニット S_{k-1} とパーティクル 172 の中の 1 つであるパーティクル 172 A との間の曲線補間について説明する。図 19 に示すように、センサユニット S_{k-1} とパーティクル 172 A との間の曲線補間リンク T_k の曲線補間を行う前の状態では、パーティクル 172 A は補間前パーティクル位置 F1 に位置している。ここで、センサユニット S_{k-1} とパーティクル 172 A の補間前パーティクル位置 F1 とを結ぶ線分

を第1の線形形状171Aとする。第1の線形形状171Aの寸法は、 b' である。また、パーティクル172Aの補間前パーティクル位置 F_1 とリンク T_k の先端に位置するセンサユニット S_{k+1} と結ぶ線分を第2の線形形状171Bとする。そして、第1の線形形状171Aの基端を通り、第1の線形形状171Aに垂直な第1の補間法線174Aと、第1の線形形状171Aの先端を通り、第2の線形形状171Bに垂直な第2の補間法線174Bとを形成する。そして、第1の補間法線174Aと第2の補間法線174Bとの交点Oを算出する。第1の補間法線174Aと第2の補間法線174Bとが交わらない場合は、第1の補間法線174Aと第2の補間法線174Bとの距離が最小となる2点の中間点Oを算出する。そして、交点O又は中間点Oを中心Oとして円弧176を形成する。円弧176は、中心Oと第1の線形形状171Aの基端との間の距離と同一の半径Rを有する。すなわち、円弧176は曲率 $1/R$ を有する。また、円弧176は、第1の線形形状171Aの基端を始点とする弧の長さが第1の線形形状171Aの寸法 b' に等しい円弧176である。円弧176の先端F2が、パーティクル172Aの補間後パーティクル位置F2となる。すなわち、曲線補間部165での曲線補間により、パーティクル172Aの位置が補間前パーティクル位置 F_1 から補間後パーティクル位置F2に移動する。その他のパーティクルについても、同様にして補間前パーティクル位置から補間後パーティクル位置へ移動される。

【0108】

そして、第1の実施形態と同様に、重み算出部167によりそれぞれのパーティクル172の重み w_{k-1}^a を算出する(ステップS194)。すなわち、それぞれのパーティクル172の重みが、初期の w_{k-0}^a から w_{k-1}^a に更新される。重み算出部167は、まず、それぞれのパーティクル172の補間後パーティクル位置(移動後パーティクル位置)の尤もらしさを評価する尤度 v_{k-1}^a を算出する。尤度は、式(18)~式(20)を用いて算出される。ただし、本実施形態では、 b_{k-1}^a はグローバル座標系Cにおいて、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とそれぞれのパーティクル172の補間後パーティクル位置との間の円弧の弧長である。例えば図20に示すように、センサユニット S_{k-1} とパーティクル172A(このパーティクルでは、 $a=s$ とする)との間では、前述のように形成された円弧176の弧長 b' が、 b_{k-1}^s となる。また、式(19)で b_0 は、それぞれのセンサユニット S_i のセンサ間寸法 l とする。式(19)より、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とパーティクル172との間の円弧の弧長と、センサ間寸法 l との差が小さいほど関数 $h(b_{k-1}^a)$ は大きくなり、尤度が大きくなる。逆に、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とパーティクル172との間の円弧の弧長と、センサ間寸法 l との差が大きいほど関数 $h(b_{k-1}^a)$ は小さくなり、尤度が小さくなる。ただし、前述のように位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とそれぞれのパーティクル172の補間後パーティクル位置との間の円弧の弧長は、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とそれぞれのパーティクル172の補間前パーティクル位置との間の線分の寸法と同一であるため、 b_{k-1}^a をセンサユニット S_{k-1} とそれぞれのパーティクル172の補間前パーティクル位置との間の線分の寸法とした場合も、同様の結果が得られる。また、本実施形態では、 φ_{k-1}^a は、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} からそれぞれのパーティクル172の補間後パーティクル位置までのベクトル $V'1$ と、それぞれのパーティクル172の補間後パーティクル位置から位置補正前のセンサユニット S_{k+1} までのベクトル $V'2$ とが成す角度である。例えば図20に示すように、パーティクル172A(このパーティクルでは、 $a=s$ とする)では、センサユニット S_{k-1} からパーティクル172Aの補間後パーティクル位置F2までのベクトル $V'1$ と、パーティクル172Aの補間後パーティクル位置F2からセンサユニット S_{k+1} までのベクトル $V'2$ との成す角度が、 φ_{k-1}^s となる。式(20)よりベクトル $V'1$ と $V'2$ の成す角度が0度~90度の範囲であれば、関数 $g(\varphi_{k-1}^a)$ は大きくなり、尤度が大きくなる。逆に、それ以外の角度であれば、関数 $g(\varphi_{k-1}^a)$ は小さくなり、尤度が小さくなる。そして、それぞれのパーティクル172の尤度から式(21)を用いて、重み w_{k-1}^a を算出する。

【 0 1 0 9 】

そして、センサ位置観測部 1 6 9 が、重み算出部 6 7 で算出されたそれぞれのパーティクル 1 7 2 の重みに基づいて、センサユニット S_k の位置を観測する（ステップ S 1 9 5）。この際、センサ位置観測部 1 6 9 は、図 2 1 に示すように、それぞれのパーティクル 1 7 2 の曲線補間部 1 6 5 により補間される前の補間前パーティクル位置の重み付き平均を算出し、算出された位置を移動前センサ位置 U'_{k-1} とする。そして、パーティクル移動部 6 5 が曲線補間を行う際に用いた移動モデルにより、移動前センサ位置 U'_{k-1} から移動後センサ位置 U_{k-1} への移動を行い、移動後センサ位置 U_{k-1} をセンサユニット S_k の位置として推定する。

【 0 1 1 0 】

10

そして、位置推定制御部 1 6 2 により、所定の回数（本実施形態では M 回とする）だけセンサユニット S_k の位置推定が行われたかを判断する（ステップ S 1 9 6）。現状では、センサユニット S_k の位置推定が 1 回しか行われていないため（ステップ S 1 9 6 - No）、センサ位置推定部 1 6 1 は位置推定制御部 1 6 2 により、センサユニット S_k の位置推定をもう 1 回行う状態に制御される。2 回目以降の位置推定では、センサ位置推定部 1 6 1 は、前回の位置推定での推定結果に基づいて、センサユニット S_k の位置推定を行う。

【 0 1 1 1 】

そして、ステップ S 1 9 2 に戻り、パーティクル撒布部 1 6 3 により所定の数（本実施形態では A 個とする）のパーティクル 1 7 2 を撒く（ステップ S 1 9 2）。2 回目以降の位置推定では、パーティクル撒布部 1 6 3 は、前回の位置推定の際に重み算出部 1 6 7 で算出されたそれぞれのパーティクル 1 7 2 の重みに基づいてパーティクル 1 7 2 を撒く。結果として、例えば、前回の位置推定の際に算出された重みが大きいパーティクル 1 7 2 の補間前パーティクル位置の周辺では、撒くパーティクル 1 7 2 の数を多くする。一方、前回の位置推定の際に算出された重みが小さいパーティクル 1 7 2 の補間前パーティクル位置の周辺では、撒くパーティクル 1 7 2 の数を少なくする。

20

【 0 1 1 2 】

そして、2 回目以降の位置推定でも同様に、曲線補間部 1 6 5 が、1 回目の推定で用いた移動モデルに基づいて、センサユニット S_{k-1} とそれぞれのパーティクル 1 7 2 との間の曲線補間を行う（ステップ S 1 9 3）。これにより、それぞれのパーティクル 1 7 2 は、補間前パーティクル位置から補間後パーティクル位置へ移動する。

30

【 0 1 1 3 】

そして、重み算出部 1 6 7 により、式（18）～式（20）と同様の式を用いて、センサユニット S_k がそれぞれのパーティクル 1 7 2 の補間後パーティクル位置に位置する尤もらしさの評価する尤度を算出する。尤度により、それぞれのパーティクル 1 7 2 の補間後パーティクル位置の尤もらしさが検出される。そして、式（21）と同様の式を用いて、尤度からそれぞれのパーティクル 1 7 2 の重みが算出される（ステップ S 1 9 4）。ここで、例えば t 回目の位置推定では、式（18）～式（21）の尤度 v_{k-1}^a 、重み w_{k-1}^a 、 b_{k-1}^a 、 ϕ_{k-1}^a の代わりに、それぞれ尤度 v_{k-t}^a 、重み w_{k-t}^a 、 b_{k-t}^a 、 ϕ_{k-t}^a を用いて計算する。

40

【 0 1 1 4 】

そして、センサ位置観測部 1 6 9 が、重み算出部 1 6 7 で算出されたそれぞれのパーティクル 1 7 2 の重みに基づいて、センサユニット S_k の位置を観測する（ステップ S 1 9 5）。例えば、t 回目の位置推定では、それぞれのパーティクル 1 7 2 の重み付平均から補間前センサ位置 U'_{k-t} が算出され、上述した移動モデルで曲線補間を行う。曲線補間により、補間前センサ位置 U'_{k-t} から補間後センサ位置 U_{k-t} への移動が行われる。

【 0 1 1 5 】

そして、位置推定制御部 1 6 2 により、所定の回数（本実施形態では M 回とする）だけセンサユニット S_k の位置推定が行われたかを判断する（ステップ S 1 9 6）。センサユ

50

ニット S_k の位置推定が所定の回数だけ行われていない場合は (ステップ $S_{196} - No$)、センサ位置推定部 161 は位置推定制御部 162 により、センサユニット S_k の位置推定をもう 1 回行う状態に制御され、ステップ $S_{192} \sim$ ステップ S_{195} をもう 1 回行う。センサユニット S_k の位置推定が所定の回数だけ行われている場合は (ステップ $S_{196} - Yes$)、次のステップに進む。

【0116】

図 17 に示すように、センサユニット S_k の位置推定が所定の回数 (例えば 2 回) だけ行った後、センサ位置補正部 155 は、センサ位置推定部 161 の推定結果に基づいて、修正対象のリンク (修正対象リンク) T_k の先端側のセンサユニット (状態補正対象センサ) S_k の位置を補正する (ステップ S_{197})。センサ位置補正部 155 は、センサユニット S_k の位置を、リンク T_k の先端に位置する初期位置 (U_{k_0}) からセンサ位置推定部 161 の最終回 (本実施形態では M 回目) の位置推定の際に推定されたセンサユニット S_k の補間後センサ位置 U_{k_M} へと、補正する。また、円弧形成部 157 が、センサ位置補正部 155 により補正されたセンサユニット S_k の位置に基づいて円弧 L_k を形成する (ステップ S_{197})。ここでは、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とセンサユニット S_k の移動後センサ位置 U_{k_M} とを結ぶ円弧が、円弧 L_k となる。なお、位置補正後のセンサユニット S_{k-1} とセンサユニット S_k の補間後センサ位置 U_{k_M} とを結ぶ円弧は、センサユニット S_{k-1} とセンサユニット S_k の補間前センサ位置 U'_{k_M} との間を上述した移動モデルで曲線補間を行うことにより形成される。センサユニット S_k の位置の移動により、形状修正順次実施部 151 によりリンク T_k の形状修正が行われる前の状態では連続していた修正完了部 177 と修正未完了部 179 との境界が、不連続な状態となる。すなわち、円弧 L_k とリンク T_{k+1} が不連続な状態となる。

【0117】

そして、第 1 の実施形態と同様に、この状態で、未修正リンク位置補正部 153 が、修正未完了部 179 を修正完了部 177 と境界が連続する状態に平行移動して、修正未完了部 179 の位置を補正する (ステップ S_{198})。

【0118】

なお、リンク T_k 以外のリンク T_j についても、形状修正順次実施部 151 により同様に形状修正が行われ、円弧 L_j が形成される。また、未修正リンク位置補正部 153 は、形状修正順次実施部 151 により 1 つのリンク T_j の形状修正が行われるたびに、修正未完了部 179 の位置を補正する。

【0119】

そして、図 17 に示すように、形状修正制御部 152 が、すべてのリンク T_j について形状修正が完了したか確認する (ステップ S_{199})。すべてのリンク T_j について形状修正が完了している場合は、挿入部 11 の修正形状 175 が形成され、次のステップへ進む (ステップ $S_{199} - Yes$)。すべてのリンク T_j について形状修正が完了していない場合は、ステップ S_{191} に戻り (ステップ $S_{199} - No$)、形状修正順次実施部 151 により、修正未完了部 179 の中で最も基端側 (グローバル座標系 C の原点から近い側) に位置するリンク (修正対象リンク) T_j の形状修正が行われる。すなわち、ステップ $S_{191} \sim S_{198}$ が、すべてのリンク T_j について形状修正が完了するまで繰り返される。

【0120】

そこで、上記構成の内視鏡形状検出装置 1 及び内視鏡形状検出装置 1 を用いた内視鏡 10 の挿入部 11 の形状検出方法では、以下の効果を奏する。なわち、内視鏡形状検出装置 1 では、それぞれのセンサユニット S_i の計測データから姿勢検出部 30 がセンサユニット S_i の姿勢を検出し、線形形状検出部 40 がそれぞれのセンサユニット S_i の姿勢から内視鏡 10 の挿入部 11 の検出線形形状 71 を検出する。そして、形状修正部 150 が、パーティクルフィルタによりそれぞれのセンサユニット S_i の位置を補正し、線形形状検出部 40 により検出された検出線形形状 71 を修正する。そして、挿入部 11 の修正形状 175 が形成される。以上のように、観察時に体腔内に挿入される挿入部 11 に配置され

るセンサユニット S_i の計測データから、挿入部11の修正形状175が検出されるため、体外にセンスコイル等を設ける必要がない。このため、内視鏡形状検出装置1の小型化、単純化を実現することができる。

【0121】

また、内視鏡形状検出装置1では、形状修正部150により、パーティクルフィルタを用いてそれぞれのセンサユニット S_i の位置を補正し、検出線形形状71を修正している。形状修正部150では、形状修正順次実施部151のセンサ位置推定部161によりそれぞれのセンサユニット S_i の推定を所定の回数だけ行う。センサユニット S_i の推定の際、重み算出部167によりそれぞれのパーティクル172の重みを算出する。そして、センサ位置観測部169が、重み算出部167で算出されたそれぞれのパーティクル172の重みに基づいて、センサユニット S_i の位置を観測する。算出されるパーティクル172の重みが大きいほど、曲線補間部165での曲線補間により補間されたそれぞれのパーティクル172の補間後パーティクル位置（移動後パーティクル位置）が、体腔内に挿入される挿入部11でのセンサユニット S_i の尤もらしい位置（位置する確率が高い位置）となる。このため、センサ位置観測部169により、高い精度でセンサユニット S_i の位置が観測される。センサ位置補正部155は、センサ位置推定部161での最終回の推定でセンサ位置観測部169により観測された位置である補間後センサ位置（移動後センサ位置）に、それぞれのセンサユニット S_i の位置を補正する。このため、位置補正後のセンサユニット S_i の位置は、体腔内に挿入される挿入部11でのセンサユニット S_i の尤もらしい位置（位置する確率が高い位置）となる。形状修正部150は、位置補正後のセンサユニット S_i の位置に基づいて、検出線形形状71の修正を行うため、実際の挿入部11の形状と誤差の少ない修正形状175を検出することができる。これにより、高い精度で挿入部11の修正形状175を検出することができる。

【0122】

さらに、内視鏡形状検出装置1では、形状修正順次実施部151によりそれぞれのリンク T_j が円弧（修正センサ間要素） L_j に形状修正される。実際に、体腔内に挿入された際の内視鏡10の挿入部11の形状は曲線形状である。内視鏡10の挿入部11は、製品により差はあるが、適度の弾性を有する。このため、挿入部11の曲線形状の曲率が大きく変化することは、稀である。したがって、センサユニット S_i の間の形状を所定の半径（曲率）の円弧 L_j に形状修正を行うことにより、実際の挿入部11の曲線形状と誤差の少ない修正形状175を検出することができる。

【0123】

（第1の実施形態の変形例）

次に、上述の第1の実施形態の変形例について説明する。なお、第1の実施形態と同一の部分及び同一の機能を有する部分については同一の符号を付して、その説明は省略する。

【0124】

本変形例では、内視鏡10の挿入部11が平行移動している動状態での挿入部11の修正形状75を検出可能である。すなわち、センサ位置推定部61のパーティクル移動部65が、それぞれのセンサユニット S_i の加速度センサ A_i により計測された動状態での加速度データに基づいて、それぞれのパーティクル72の移動を行う。

【0125】

動状態での加速度データに基づいてそれぞれのパーティクルの移動を行う際は、まず、パソコン8に設けられる加速度検出部（図示しない）が、それぞれのセンサユニット S_i の加速度センサ A_i により計測された動状態での加速度データを取得する。

【0126】

そして、加速度検出部は、動状態での加速度データに基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の中心で計測される加速度ベクトルを、グローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸方向成分に分解する。そして、それぞれのセンサユニット S_i の中心で計測される加速度ベクトルの、グローバル座標系CのX軸方向成分、Y軸方向成分、Z軸

方向成分を検出する。動状態では、静状態で鉛直方向に発生する重力加速度に、挿入部 11 の移動による成分が加わるため、それぞれのセンサユニット S_i の中心で計測される加速度ベクトルのグローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向成分を、
【数 2 2】

$$\dot{a}_{thi} = [a_{thi_X} \ a_{thi_Y} \ -g + a_{thi_Z}]^T \quad (22)$$

【0127】

とする。また、それぞれのセンサユニット S_i の加速度センサ A_i により計測された加速度ベクトルのローカル座標系 C_i の X_i 軸方向成分、 Y_i 軸方向成分、 Z_i 軸方向成分を

10

【数 2 3】

$$\dot{a}_{obsi}' = [a_{Bi_X'} \ a_{Bi_Y'} \ a_{Bi_Z'}]^T \quad (23)$$

【0128】

とする。

【0129】

また、本変形例では、内視鏡 10 の挿入部 11 が平行移動している場合を考えるため、近接して配置される複数のセンサユニット S_i において、グローバル座標系 C での加速度ベクトルは、同一であると仮定する。実際の内視鏡 10 では、それぞれのセンサユニット S_i の間のセンサ間寸法 l は非常に小さいため、このような仮定は可能である。このように仮定することにより、例えばセンサユニット S_1 で計測される加速度ベクトルとセンサユニット S_2 で計測される加速度ベクトルとの間で、

20

【数 2 4】

$$\dot{a}_{th1} = \dot{a}_{th2} \quad (24.1)$$

$$\|\dot{a}_{obs1}'\| = \|\dot{a}_{obs2}'\| \quad (24.2)$$

30

【0130】

となる。そして、式 (24.1)、式 (24.2) からそれぞれ、

【数 2 5】

$$[a_{th1_X} \ a_{th1_Y} \ a_{th1_Z}]^T = [a_{th2_X} \ a_{th2_Y} \ a_{th2_Z}]^T \quad (25.1)$$

$$[a_{B1_X'} \ a_{B1_Y'} \ a_{B1_Z'}]^T = \left[a_{B2_X'} \ a_{B2_Y'} \ \sqrt{\|\dot{a}_{obs1}'\|^2 - (a_{B2_X'}^2 + a_{B2_Y'}^2)} \right]^T \quad (25.2)$$

40

【0131】

の関係が成り立つ。

【0132】

ここで、センサユニット S_1 では、グローバル座標系 C とローカル座標系 C_1 の関係から、式 (1) の回転行列を用いて、

【数 2 6】

$$\begin{aligned} \dot{a}_{obs1}' &= (C_{B1}^G)^T \dot{a}_{th1} \\ &= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \cos\gamma_1 & -\sin\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & \sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 + \sin\beta_1 \cdot \cos\gamma_1 \\ \cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \sin\gamma_1 & \cos\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & -\cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 + \sin\beta_1 \cdot \sin\gamma_1 \\ -\cos\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 \end{bmatrix} \\ &\quad \begin{bmatrix} a_{th1_X} \\ a_{th1_Y} \\ -g + a_{th1_Z} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (26)$$

【0 1 3 3】

10

となる。同様に、センサユニット S_2 では、グローバル座標系 C とローカル座標系 C_2 の関係から、式 (1) の回転行列を用いて、

【数 2 7】

$$\begin{aligned} \dot{a}_{obs2}' &= (C_{B2}^G)^T \dot{a}_{th2} \\ &= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 + \cos\beta_2 \cdot \cos\gamma_2 & -\sin\gamma_2 \cdot \cos\alpha_2 & \sin\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 + \sin\beta_2 \cdot \cos\gamma_2 \\ \cos\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 + \cos\beta_2 \cdot \sin\gamma_2 & \cos\gamma_2 \cdot \cos\alpha_2 & -\cos\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 + \sin\beta_2 \cdot \sin\gamma_2 \\ -\cos\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 & \sin\alpha_2 & \cos\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 \end{bmatrix} \\ &\quad \begin{bmatrix} a_{th2_X} \\ a_{th2_Y} \\ -g + a_{th2_Z} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (27)$$

20

【0 1 3 4】

となる。式 (25.1) の関係を利用して、式 (26), (27) を解くことにより、センサユニット S_1, S_2 で計測された重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系 C の X 軸方向成分 a_{th1_X} (a_{th2_X})、 Y 軸方向成分 a_{th1_Y} (a_{th2_Y})、 Z 軸方向成分 a_{th1_Z} (a_{th2_Z}) が求まる。式 (13) で示す地磁気センサ B_i により計測される地磁気ベクトルのグローバル座標系 C のそれぞれの軸方向成分と、式 (9) で示す地磁気ベクトルのローカル座標系 C_i のそれぞれの軸方向成分との関係は、式 (1) の回転行列を用いて、

30

【数 2 8】

$$\begin{aligned} \dot{M}_{obsi} &= (C_{Bi}^G)^T \dot{M}_{thi} \\ &= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & \sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \cos\gamma_i \\ \cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \sin\gamma_i & \cos\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & -\cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \sin\gamma_i \\ -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix} \\ &\quad \begin{bmatrix} E_X \\ E_Y \\ E_Z \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (28)$$

【0 1 3 5】

40

となる。式 (28) において $i = 1$ (又は 2) を代入した地磁気の関係式を含めて式 (25.1) (26) (27) を解く場合、方程式 12 個に対して、未知数が姿勢角 6 個に加え加速度が 6 個で合計 12 個である。その結果、センサユニット S_1, S_2 で計測された重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系 C の X 軸方向成分 a_{th1_X} (a_{th2_X})、 Y 軸方向成分 a_{th1_Y} (a_{th2_Y})、 Z 軸方向成分 a_{th1_Z} (a_{th2_Z}) を数値演算的に解くことが可能である。その他のセンサユニット S_i についても同様にして、それぞれのセンサユニット S_i で計測された重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系 C の X 軸方向成分 a_{thi_X} 、 Y 軸方向成分 a_{thi_Y} 、 Z 軸方向成分 a_{thi_Z} が求まる。

【0 1 3 6】

50

そして、パソコン 8 に設けられる変位算出部（図示しない）が、加速度検出部で検出された重力加速度以外の加速度ベクトルに基づいて、前回の静状態からのそれぞれのセンサユニット S_i の変位を算出する。前回の静状態からのそれぞれのセンサユニット S_i の変位のグローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向成分は、それぞれのセンサユニット S_i で計測された重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系 C の X 軸方向成分 $a_{t h i_x}$ 、 Y 軸方向成分 $a_{t h i_y}$ 、 Z 軸方向成分 $a_{t h i_z}$ をそれぞれ 2 重積分することにより求まる。また、変位算出部では、それぞれのセンサユニット S_i の速度ベクトルのグローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向成分も算出される。それぞれのセンサユニット S_i の速度ベクトルのグローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向成分は、それぞれのセンサユニット S_i で計測された重力加速度以外の加速度ベクトルの、グローバル座標系 C の X 軸方向成分 $a_{t h i_x}$ 、 Y 軸方向成分 $a_{t h i_y}$ 、 Z 軸方向成分 $a_{t h i_z}$ をそれぞれ 1 回だけ積分することにより求まる。

【0137】

パーティクル移動部 65 は、加速度検出部及び変位算出部で検出されたそれぞれのセンサユニット S_i の加速度ベクトル、速度ベクトル、変位のグローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向成分に基づいて、それぞれのパーティクル 72 の移動モデルを検出する。そして、移動モデルに基づいてそれぞれのパーティクル 72 を、移動前パーティクル位置から移動後パーティクル位置へと移動させる（図 9 のステップ S113）。すなわち、パーティクル移動部 65 は、動状態で検出されたそれぞれのセンサユニット S_i の加速度ベクトル、速度ベクトル、変位から移動モデルを検出し、移動モデルに基づいてそれぞれのパーティクル 72 を移動する動状態移動モデル実施部となる。

【0138】

そして、上述のように、移動後パーティクル位置の尤もらしさであるそれぞれのパーティクル 72 の尤度から、重みを算出する（ステップ S114）。そして、それぞれのパーティクル 72 の重みからセンサユニット S_i の位置を観測する（ステップ S115）。以上のようなセンサユニット S_i の位置推定を所定の回数行い、最終回の位置推定により推定された移動後センサ位置にセンサユニット S_i の位置を補正する（ステップ S117）。そして、位置補正後のセンサユニット S_i の位置に基づいて、それぞれのセンサユニット S_i の間の形状修正後の形状である修正センサ間要素を形成する。（ステップ S117）。以上のようにして、動状態においても、検出線形形状 71 を形状修正した修正形状 75 が検出可能となっている。

【0139】

（その他の変形例）

なお、上述の実施形態では、センサ位置補正部 55, 155 により、修正対象リンク T_j の先端側のセンサユニット S_j の位置補正を行っているが、例えば位置補正に加えて、センサユニット S_j の姿勢の補正を行ってもよい。すなわち、センサ位置補正部 55, 155 は、修正対象リンク T_j の先端側のセンサユニット S_j の少なくとも位置を補正するセンサ状態補正部であればよい。この場合、センサ位置推定部 61, 161 により、パーティクルフィルタを用いてセンサユニット S_j の姿勢の推定も行われる。すなわち、センサ位置推定部 61, 161 は、パーティクルフィルタを用いてセンサユニット S_j の少なくとも位置の推定を行うセンサ状態推定部となっている。また、センサ位置観測部 69, 169 はセンサユニット S_j の少なくとも位置を観測するセンサ状態観測部となる。例えば、センサユニット S_k の姿勢推定を行う場合には、パーティクル撒布部 63 により撒かれるそれぞれのパーティクル 72 は、式 (17.1) ~ 式 (17.3) に示すグローバル座標系での位置に加え、姿勢を有する。ここで、式 (7), 式 (8), 式 (12) (又は式 (15)) により求められるセンサユニット S_k のローカル座標系 C_k の姿勢角を α_k , β_k , γ_k がセンサユニット S_k の初期姿勢（初期状態）であり、それぞれの姿勢角の誤差の分散を δ_α , δ_β , δ_γ とする。1 回目の推定ではパーティクル 72 は、式 (7), 式 (8), 式 (12) (又は式 (15)) により求められるセンサユニット S_k の初期

姿勢（姿勢角 $\alpha_k, \beta_k, \gamma_k$ ）に誤差の分散 $\delta_\alpha, \delta_\beta, \delta_\gamma$ を加えた範囲に様に撒かれる。すなわち、センサユニット S_k の 1 回目の推定でのそれぞれのパーティクル 72 の姿勢角を $\alpha_{k-1}^a, \beta_{k-1}^a, \gamma_{k-1}^a$ ($a = 1, 2, \dots, A$) とすると、それぞれのパーティクル 72 は、

【数 29】

$$\alpha_k - \delta_\alpha \leq \alpha_{k-1}^a \leq \alpha_k + \delta_\alpha \quad (29.1)$$

$$\beta_k - \delta_\beta \leq \beta_{k-1}^a \leq \beta_k + \delta_\beta \quad (29.2)$$

$$\gamma_k - \delta_\gamma \leq \gamma_{k-1}^a \leq \gamma_k + \delta_\gamma \quad (29.3)$$

10

【0140】

の範囲で様に撒かれる。誤差の分散 $\delta_\alpha, \delta_\beta, \delta_\gamma$ は、ノイズ等により生じるそれぞれのセンサユニット S_i の計測データの誤差の分散から、式(1)～式(15)を用いて分散を求める。2回目以降の推定では、前回の推定でのパーティクル 72 の重みに基づいてそれぞれのパーティクル 72 の姿勢が定められる。

【0141】

また、上述の実施形態では、それぞれのローカル座標系 C_i は、 Y_i 軸方向がセンサユニット S_i の中心での長手方向と一致している座標系である。しかし、本発明では、それぞれのローカル座標系 C_i は、センサユニット S_i の中心を原点とし、 X_i 軸、 Y_i 軸、 Z_i 軸のいずれか 1 つの軸がセンサユニット S_i の中心での長手方向と軸方向が一致する長手方向軸である座標系であればよい。ただし、 X_i 軸が長手方向軸である場合は、式(16.1)、式(16.2)で $e_{y_{k-1}}$ 代わりに、

20

【数 30】

$$e_{x_{k-1}} = [1 \ 0 \ 0]^T \quad (30)$$

【0142】

を用いる。同様に、 Z_i 軸が長手方向軸である場合は、式(16.1)、式(16.2)で $e_{y_{k-1}}$ 代わりに、

30

【数 31】

$$e_{z_{k-1}} = [0 \ 0 \ 1]^T \quad (31)$$

【0143】

を用いる。ここで、 $e_{x_{k-1}}$ はローカル座標系 C_{k-1} の原点での長手方向である X_{k-1} 軸方向の単位ベクトルであり、 $e_{z_{k-1}}$ はローカル座標系 C_{k-1} の原点での長手方向である Z_{k-1} 軸方向の単位ベクトルである。

【0144】

40

また、上述の実施形態では、グローバル座標系 C は、最も基端側のセンサユニット S_0 の中心を原点とし、 Z 軸が鉛直方向と一致し、 X 軸及び Y 軸が水平面上に配置される座標系である。しかし、本発明では、 X 軸、 Y 軸、 Z 軸のいずれか 1 つの軸が鉛直方向と軸方向が一致する鉛直方向軸であり、鉛直方向軸以外の 2 つの軸が水平面上に配置される水平方向軸である座標系であればよい。これにより、加速度センサ A_i により計測される重力加速度及び地磁気センサ B_i により計測される地磁気に基づいて、姿勢検出部 30 はそれぞれのセンサユニット S_i の姿勢を検出することが可能である。ただし、 X 軸が鉛直方向軸の場合は、式(2)で示される重力加速度ベクトルのグローバル座標系 C の X 軸方向成分、 Y 軸方向成分、 Z 軸方向成分は、

【数 3 2】

$$\dot{a}_{th} = [-g \ 0 \ 0]^T \quad (32)$$

【 0 1 4 5】

となる。また、グローバル座標系 C の X 軸方向には、地磁気は作用しない。この場合、第 1 の実施形態では、姿勢角 α_i , β_i , γ_i はヨー角 γ_i 、ピッチ角 α_i 、ロール角 β_i の順で回転する (Z, X, Y) 型としたが、姿勢角 α_i , β_i , γ_i の回転する順序を変えて、式 (1) の回転行列とは別の回転行列を用いる。これにより、加速度センサ A_i で計測された加速度データに基づいて、第 1 の角度算出部 34 で水平方向軸である Y 軸, Z 軸回りの姿勢角 β_i , γ_i が算出される。また、地磁気センサ B_i で計測された地磁気データに基づいて、第 2 の角度算出部 36 で鉛直方向軸である X 軸回りの姿勢角 α_i が算出される。Y 軸が鉛直方向軸の場合についても同様であり、加速度センサ A_i で計測された加速度データに基づいて、第 1 の角度算出部 34 で水平方向軸である X 軸, Z 軸回りの姿勢角 α_i , γ_i が算出される。また、地磁気センサ B_i で計測された地磁気データに基づいて、第 2 の角度算出部 36 で鉛直方向軸である Y 軸回りの姿勢角 β_i が算出される。

10

【 0 1 4 6】

さらに、上述の実施形態では、グローバル座標系 C は、最も基端側のセンサユニット S_0 の中心を原点としているが、最も先端側のセンサユニット S_N の中心を原点としてもよい。この場合、リンク形成部 41 は、式 (16.1)、式 (16.2) を用いて、リンク T_j の先端側 (グローバル座標系 C の原点から近い側) のセンサユニット S_j がグローバル座標系 C の原点に位置する場合の、リンク T_j の基端側 (グローバル座標系 C の原点から遠い側) のセンサユニット S_{j-1} の座標 $P'_j (l_{xj}, l_{yj}, l_{zj})$ を求める。そして、グローバル座標系 C の原点と座標 $P'_j (l_{xj}, l_{yj}, l_{zj})$ とを直線状に結ぶことにより、リンク T_j が形成される。また、形状修正部 50 の形状修正順次実施部 51 によりリンク T_j の形状修正を行う際は、先端側 (グローバル座標系 C の原点から近い側) のリンク T_j から順に形状修正を行が行われる。この際、センサ位置補正部 55 は、修正対象のリンク (修正対象リンク) T_j の基端側 (グローバル座標系 C の原点から遠い側) のセンサユニット (状態補正対象センサ) S_j の位置を補正する。したがって、センサ位置観測部 61 により、修正対象のリンク (修正対象リンク) T_j の基端側 (グローバル座標系 C の原点から遠い側) のセンサユニット (状態補正対象センサ) S_j の観測が所定の回数だけ行われる。

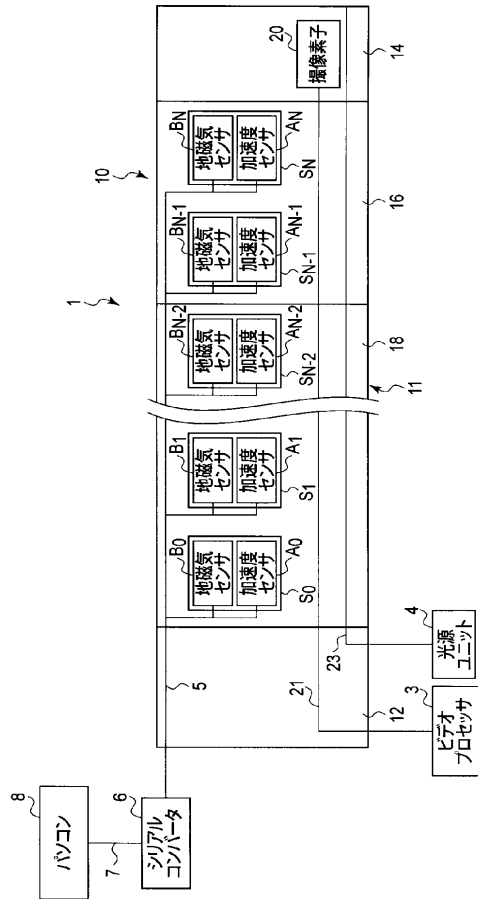
20

30

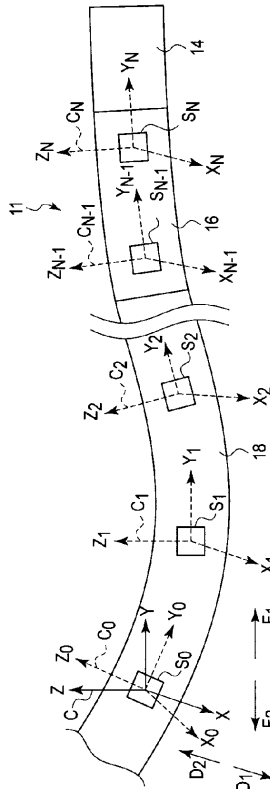
【 0 1 4 7】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記の実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変形ができることは勿論である。

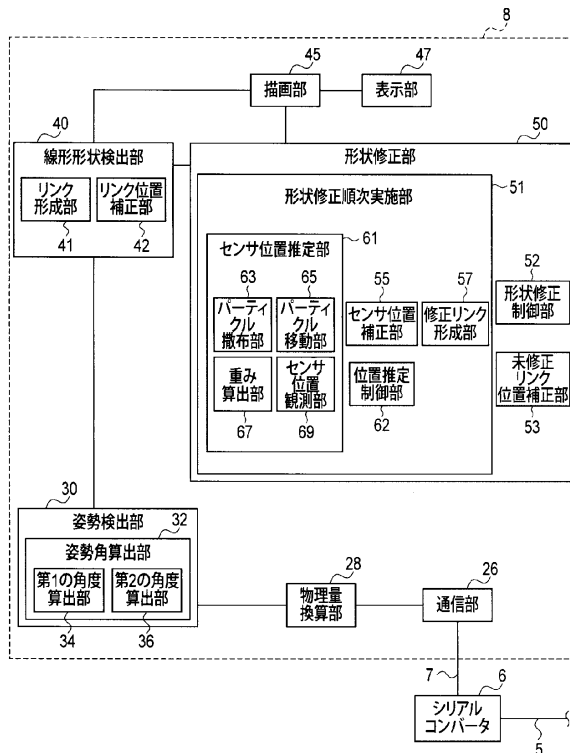
【図 1】



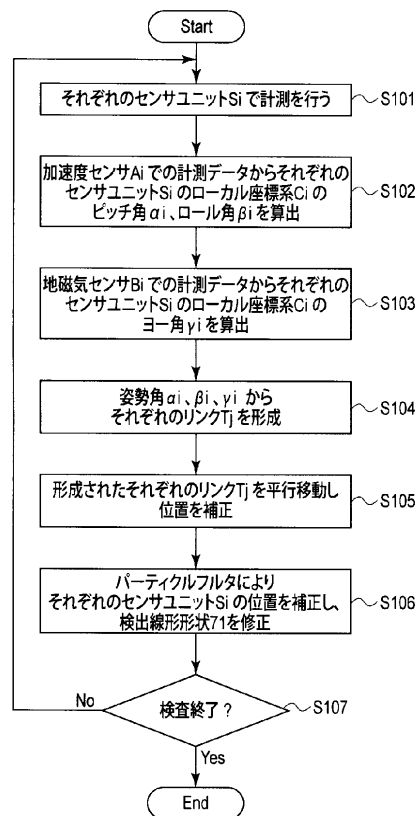
【図 2】



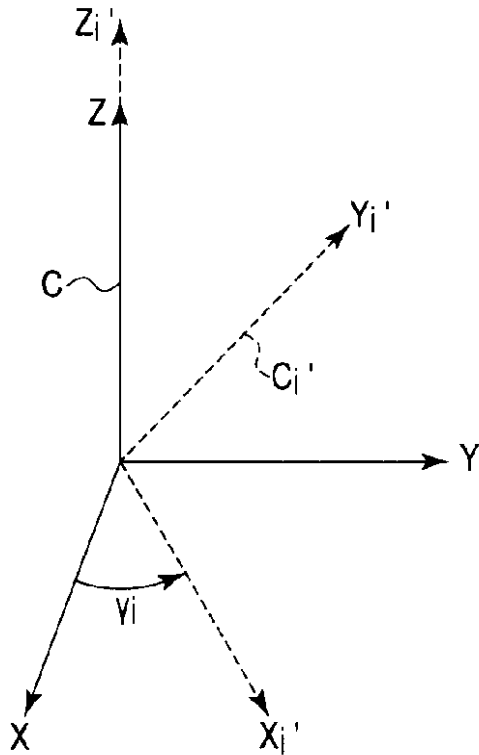
【図 3】



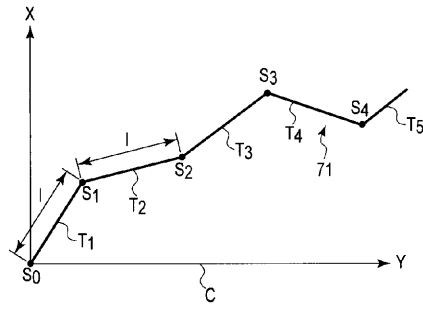
【図 4】



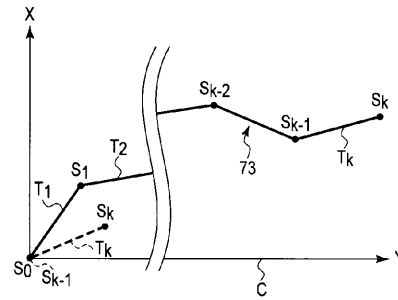
【図 5】



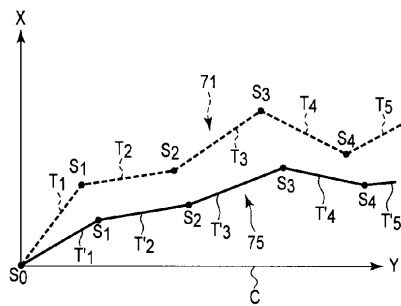
【図 6】



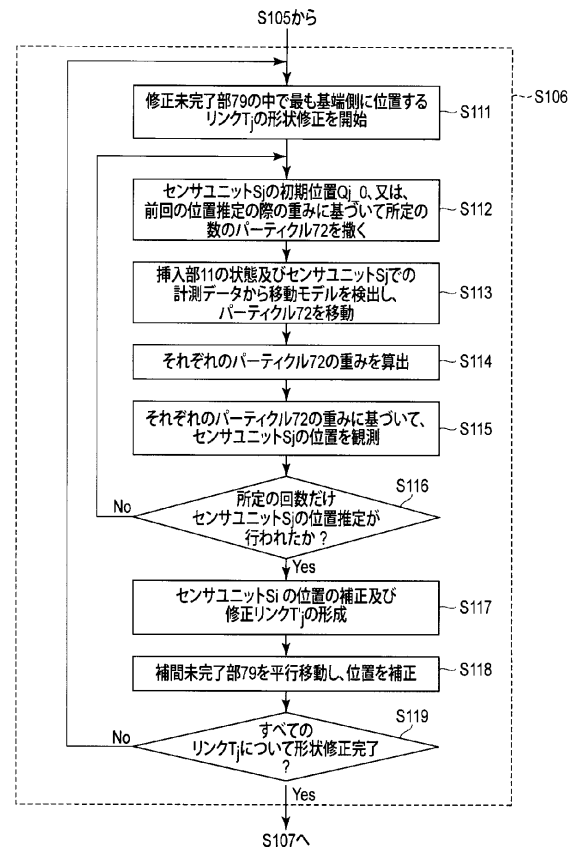
【図 7】



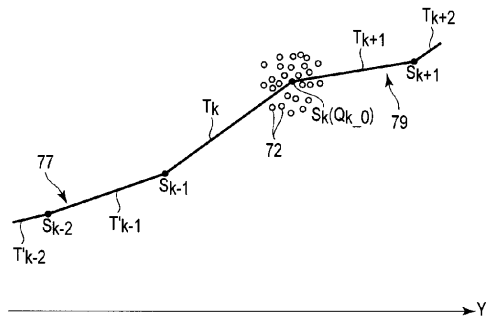
【図 8】



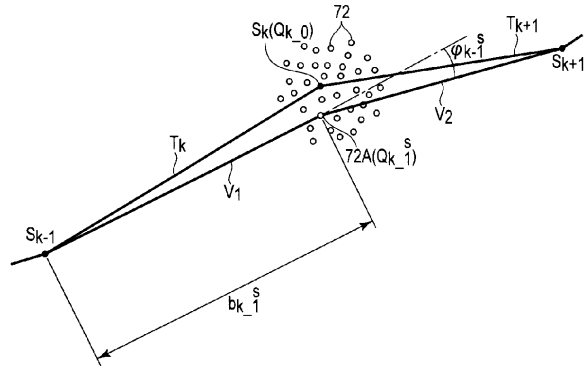
【図 9】



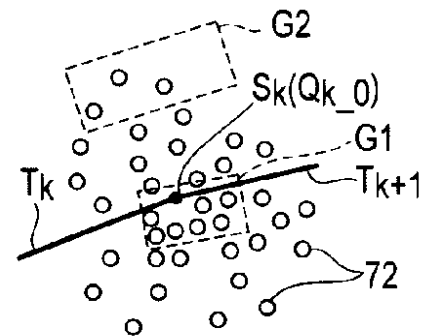
【図10】



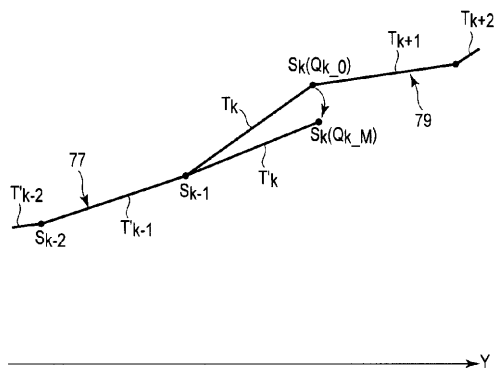
【図11】



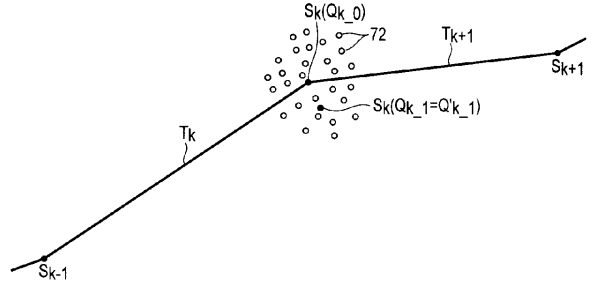
【図13B】



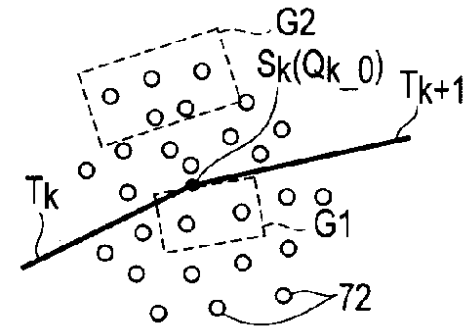
【図14】



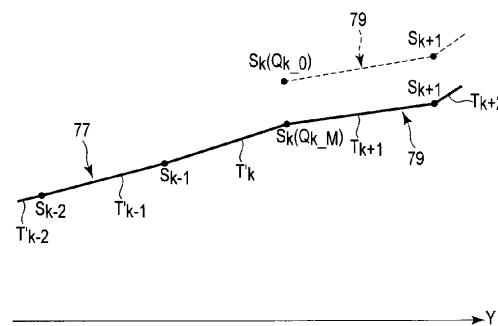
【図12】



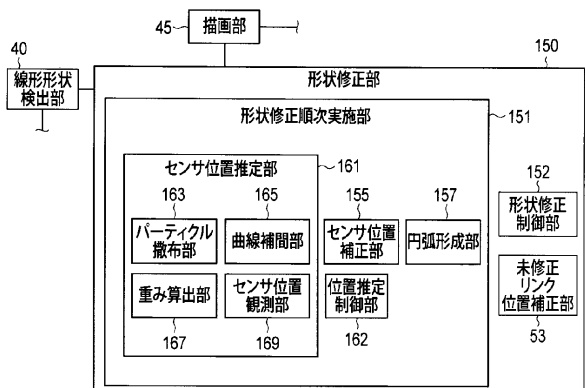
【図13A】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

- (74)代理人 100095441
弁理士 白根 俊郎
- (74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男
- (74)代理人 100103034
弁理士 野河 信久
- (74)代理人 100119976
弁理士 幸長 保次郎
- (74)代理人 100153051
弁理士 河野 直樹
- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100158805
弁理士 井関 守三
- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (74)代理人 100134290
弁理士 竹内 将訓
- (72)発明者 平川 克己
日本国東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 オリンパスメディカルシステムズ株式会社内

審査官 松谷 洋平

- (56)参考文献 特開 2 0 1 0 - 1 0 4 4 2 6 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 1 5 3 8 6 3 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 7 / 0 1 3 3 5 0 (W O , A 1)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A61B 1/00

G02B 23/24

专利名称(译)	内窥镜形状检测装置和用于检测内窥镜的插入部分的形状的方法		
公开(公告)号	JP4897122B2	公开(公告)日	2012-03-14
申请号	JP2011535741	申请日	2011-04-19
[标]申请(专利权)人(译)	奥林巴斯医疗株式会社		
申请(专利权)人(译)	オリンパスメディカルシステムズ株式会社		
当前申请(专利权)人(译)	オリンパスメディカルシステムズ株式会社		
[标]发明人	平川克己		
发明人	平川 克己		
IPC分类号	A61B1/00 G02B23/24		
CPC分类号	A61B5/067 A61B1/005 A61B5/065 A61B5/1076 A61B5/1077 A61B5/6852 A61B2562/043		
FI分类号	A61B1/00.320.Z G02B23/24.A		
代理人(译)	河野 哲 中村诚 河野直树 冈田隆		
优先权	2010125153 2010-05-31 JP		
其他公开文献	JPWO2011152140A1		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

内窥镜形状检测装置 (1) 包括姿势检测部分 (30) 和线性形状检测部分 (40) , 姿势检测部分 (30) 基于传感器单元 (Si) 中的测量数据检测每个传感器单元 (Si) 的姿势。配置成在假设各个传感器单元 (Si) 之间的形状是尺寸相等的线性链路 (Tj) 的情况下检测内窥镜 (10) 的插入部分 (11) 的检测线性形式 (71) 。基于由姿势检测部分 (30) 检测的每个传感器单元 (Si) 的姿势, 传感器间尺寸 (1) 。此外, 内窥镜形状检测装置 (1) 包括形状校正部分 (50,150) , 其被配置为通过使用粒子滤波器至少补偿每个传感器单元 (Si) 的位置, 并且被配置为检测校正形式 (75,175) 通过校正由线性形状检测部分 (40) 检测的检测线性形式 (71) 而获得。

$$C_{B1}^G = R_{Z1} R_{X1} R_{Y1} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_1 & -\sin\gamma_1 & 0 \\ \sin\gamma_1 & \cos\gamma_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_1 & -\sin\alpha_1 \\ 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_1 & 0 & \sin\beta_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_1 & 0 & \cos\beta_1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \cos\gamma_1 & -\sin\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & \sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 \\ \cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \sin\gamma_1 & \cos\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & -\cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 \\ -\cos\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 \end{bmatrix}$$