



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102573603 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 11

(21) 申请号 201180003553. 7

(22) 申请日 2011. 04. 19

(30) 优先权数据

2010-125153 2010. 05. 31 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 02. 27

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2011/059636 2011. 04. 19

(87) PCT申请的公布数据

W02011/152140 JA 2011. 12. 08

(71) 申请人 奥林巴斯医疗株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 平川克己

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 李辉 于靖帅

(51) Int. Cl.

A61B 1/00 (2006. 01)

G02B 23/24 (2006. 01)

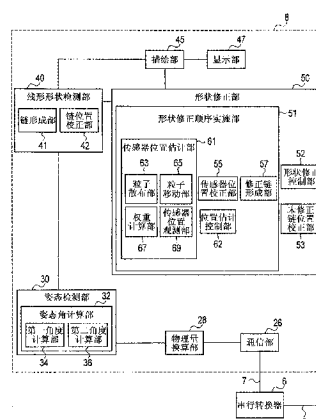
权利要求书 4 页 说明书 25 页 附图 14 页

(54) 发明名称

内窥镜形状检测装置及内窥镜的插入部的形状检测方法

(57) 摘要

内窥镜形状检测装置 (1) 具备 : 姿态检测部 (30), 其基于传感器单元 (S_i) 中的测量数据来检测各个所述传感器单元 (S_i) 的姿态 ; 以及线形形状检测部 (40), 其基于由所述姿态检测部 (30) 检测到的各个所述传感器单元 (S_i) 的姿态, 将各个所述传感器单元 (S_i) 之间的形状假定为尺寸与所述传感器间尺寸 (I) 相等的直线状的链 (T_j), 来检测所述内窥镜 (10) 的所述插入部 (11) 的检测线形形状 (71)。并且, 内窥镜形状检测装置 (1) 具备 : 形状修正部 (50、150), 其使用粒子滤波器对各个所述传感器单元 (S_i) 的至少位置进行校正, 检测对由所述线形形状检测部 (40) 检测到的所述检测线形形状 (71) 进行修正后的修正形状 (75、175)。



1. 一种内窥镜形状检测装置 (1), 其具备 :

内窥镜 (10), 其具有插入部 (11), 该插入部 (11) 以沿长度方向彼此离开预定的传感器间尺寸 (I) 的方式配置有多个传感器单元 (S_i) ;

姿态检测部 (30), 其基于所述传感器单元 (S_i) 中的测量数据来检测各个所述传感器单元 (S_i) 的姿态 ;

线形形状检测部 (40), 其基于由所述姿态检测部 (30) 检测到的各个所述传感器单元 (S_i) 的姿态, 将各个所述传感器单元 (S_i) 之间的形状假定为尺寸与所述传感器间尺寸 (I) 相等的直线状的链 (T_j), 来检测所述内窥镜 (10) 的所述插入部 (11) 的检测线形形状 (71) ; 以及

形状修正部 (50、150), 其使用粒子滤波器对各个所述传感器单元 (S_i) 的至少位置进行校正, 检测对所述线形形状检测部 (40) 检测到的所述检测线形形状 (71) 进行修正后的修正形状 (75、175)。

2. 根据权利要求 1 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述形状修正部 (50、150) 具备 :

形状修正顺序实施部 (51、151), 其在以最靠基端侧或最靠前端侧的所述传感器单元 (S_1 、 S_N) 的中心为原点的全局坐标系 (C) 中, 针对各个所述链 (T_j) 从离所述全局坐标系 (C) 的所述原点较近一侧的所述链 (T_j) 起依次进行形状修正, 形成所述修正形状 (75、175) 的各个所述传感器单元 (S_i) 之间的形状即修正传感器间要素 (T'_j 、 L_j) ; 以及

形状修正控制部 (52、152), 其将所述形状修正顺序实施部 (51、151) 控制为对所有所述链 (T_j) 进行所述形状修正的状态。

3. 根据权利要求 2 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述形状修正部 (50、150) 具备未修正链位置校正部 (53、153), 该未修正链位置校正部 (53、153) 每当所述形状修正顺序实施部 (51、151) 进行一个所述链 (T_j) 的所述形状修正时, 使由未进行所述形状修正的所述链 (T_j) 即未修正链构成的修正未完成部 (79、179) 平行移动为与由通过所述形状修正而形成的所述修正传感器间要素构成的修正完成部 (77、177) 边界连续的状态, 对所述修正未完成部 (79、179) 的位置进行校正。

4. 根据权利要求 2 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述形状修正顺序实施部 (51、151) 具备 :

传感器状态估计部 (61、161), 其在通过所述形状修正顺序实施部 (51、151) 进行所述形状修正的对象的所述链 (T_j) 即修正对象链 (T_k) 中, 使用所述粒子滤波器, 基于通过所述形状修正顺序实施部 (51、151) 进行所述修正对象链 (T_k) 的形状修正之前的所述状态校正对象传感器 (S_k) 的初始状态或上一次的估计的估计结果, 对离所述全局坐标系 (C) 的所述原点较远一侧的所述传感器单元 (S_i) 即状态校正对象传感器 (S_k) 的至少位置进行估计 ; 以及

状态估计控制部 (62、162), 其将所述传感器状态估计部 (61、161) 控制成进行预定次数的所述状态校正对象传感器的所述估计的状态。

5. 根据权利要求 4 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述形状修正顺序实施部 (51、151) 具备 :

传感器状态校正部 (55、155), 其基于所述传感器状态估计部 (61、161) 的估计结果, 校

正所述状态校正对象传感器 (S_k) 的至少位置 ; 以及

修正传感器间要素形成部 (57、157), 其基于由所述传感器状态校正部 (55、155) 进行了校正的所述状态校正对象传感器 (S_k) 的位置来形成所述修正传感器间要素 (T'_j 、 L_j)。

6. 根据权利要求 4 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述传感器状态估计部 (61、161) 具备 :

粒子散布部 (63、163), 其基于所述状态校正对象传感器 (S_k) 的所述初始状态或上一次的所述估计的估计结果, 散布预定数量 (A) 的粒子 (72、172) ;

粒子移动部 (65、165), 其根据所述内窥镜 (10) 的所述插入部 (11) 的状态和各个所述传感器单元 (S_i) 中的测量数据来检测移动模型, 并基于所述移动模型, 使所散布的各个所述粒子 (72、172) 从移动前粒子位置移动到移动后粒子位置 ;

权重计算部 (67、167), 其对表示所述状态校正对象传感器 (S_k) 位于各个所述粒子 (72、172) 的所述移动后粒子位置处的似然性的似然度进行计算, 并根据所述似然度计算各个所述粒子 (72、172) 的权重 ; 以及

传感器状态观测部 (69、169), 其基于由所述权重计算部 (67、167) 计算出的各个所述粒子 (72、172) 的所述权重, 对所述状态校正对象传感器 (S_k) 的至少位置进行观测。

7. 根据权利要求 6 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述粒子移动部 (165) 是如下的曲线插补部 (165) : 根据所述内窥镜 (10) 的所述插入部 (11) 的弯曲状态检测所述移动模型, 并基于所述移动模型, 进行所述修正对象链 (T_k) 的离所述全局坐标系 (C) 的所述原点较近一侧的所述传感器单元 (S_{k-1}) 与各个所述粒子 (172) 之间的曲线插补, 使各个所述粒子 (172) 移动。

8. 根据权利要求 6 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述粒子移动部 (65) 是如下的运动状态移动模型实施部 (65) : 根据在所述内窥镜 (10) 的所述插入部 (11) 平行移动的运动状态下检测到的各个所述传感器单元 (S_i) 在所述全局坐标系 (C) 中的加速度向量、速度向量、位移来检测所述移动模型, 基于所述移动模型使各个所述粒子 (72) 移动。

9. 一种内窥镜 (10) 的插入部 (11) 的形状检测方法, 该方法包括如下步骤 :

利用在内窥镜 (10) 的插入部 (11) 中以沿长度方向彼此离开预定的传感器间尺寸 (I) 的方式配置的多个传感器单元 (S_i) 进行测量 ;

基于所述传感器单元 (S_i) 中的测量数据来检测各个所述传感器单元 (S_i) 的姿态 ;

基于检测到的各个所述传感器单元 (S_i) 的姿态, 将各个所述传感器单元 (S_i) 之间的形状假定为尺寸与所述传感器间尺寸 (I) 相等的直线状的链 (T_j), 来检测所述内窥镜 (10) 的所述插入部 (11) 的检测线形形状 (71) ; 以及

使用粒子滤波器对各个所述传感器单元 (S_i) 的至少位置进行校正, 检测对检测到的所述检测线形形状 (71) 进行修正后的修正形状 (75、175)。

10. 根据权利要求 9 所述的内窥镜 (10) 的插入部 (11) 的形状检测方法, 其中,

对各个所述传感器单元 (S_i) 的至少位置进行校正, 并对所述修正形状 (75、175) 进行检测的步骤包括如下步骤 :

对所有所述链 (T_j) 进行如下处理 : 在以最靠基端侧或最靠前端侧的所述传感器单元 (S_1 、 S_N) 的中心为原点的全局坐标系 (C) 中, 针对各个所述链 (T_j) 从离所述全局坐标系 (C)

的所述原点较近一侧的所述链 (T_j) 起依次进行形状修正,形成所述修正形状 (75、175) 的各个所述传感器单元 (S_i) 之间的形状即修正传感器间要素 (T'_j, L_j)。

11. 根据权利要求 10 所述的内窥镜 (10) 的插入部 (11) 的形状检测方法,其中,

对各个所述传感器单元 (S_i) 的至少位置进行校正,并对所述修正形状 (75、175) 进行检测的步骤包括如下步骤:

每当进行一个所述链 (T_j) 的所述形状修正时,使由未进行所述形状修正的所述链 (T_j) 即未修正链构成的修正未完成部 (79、179) 平行移动为与由通过所述形状修正而形成的所述修正传感器间要素 (T'_j, L_j) 构成的修正完成部 (77、177) 边界连续的状态,对所述修正未完成部 (79、179) 的位置进行校正。

12. 根据权利要求 10 所述的内窥镜 (10) 的插入部 (11) 的形状检测方法,其中,

形成所述修正传感器间要素 (T'_j, L_j) 的步骤包括如下步骤:

在进行所述形状修正的对象链 (T_j) 即修正对象链 (T_k) 中,使用所述粒子滤波器,基于进行所述修正对象链的所述形状修正之前的所述状态校正对象传感器 (S_k) 的初始状态或上一次的估计的估计结果,对离所述全局坐标系 (C) 的所述原点较远一侧的所述传感器单元 (S_i) 即状态校正对象传感器 (S_k) 的至少位置进行估计。

13. 根据权利要求 12 所述的内窥镜 (10) 的插入部 (11) 的形状检测方法,其中,

形成所述修正传感器间要素 (T'_j, L_j) 的步骤包括如下步骤:

基于所述状态校正对象传感器 (S_k) 的估计结果,校正所述状态校正对象传感器 (S_k) 的至少位置;以及

基于校正后的所述状态校正对象传感器 (S_k) 的位置,形成所述修正传感器间要素 (T'_j, L_j)。

14. 根据权利要求 12 所述的内窥镜 (10) 的插入部 (11) 的形状检测方法,其中,

对所述状态校正对象传感器 (S_k) 的至少位置进行估计的步骤包括如下步骤:

基于所述状态校正对象传感器 (S_k) 的所述初始状态或上一次的所述估计的估计结果,散布预定数量 (A) 的粒子 (72、172);

根据所述内窥镜 (10) 的所述插入部 (11) 的状态和各个所述传感器单元 (S_i) 中的测量数据来检测移动模型,并基于所述移动模型,使所散布的各个所述粒子 (72、172) 从移动前粒子位置移动到移动后粒子位置;

对表示所述状态校正对象传感器 (S_k) 位于各个所述粒子 (72、172) 的所述移动后粒子位置处的似然性的似然度进行计算,并根据所述似然度计算各个所述粒子 (72、172) 的权重;以及

根据计算出的各个所述粒子 (72、172) 的所述权重,对所述状态校正对象传感器 (S_k) 的至少位置进行观测。

15. 根据权利要求 14 所述的内窥镜 (10) 的插入部 (11) 的形状检测方法,其中,

使各个所述粒子 (172) 移动的步骤包括如下步骤:

根据所述内窥镜 (10) 的所述插入部 (11) 的弯曲状态检测所述移动模型,并基于所述移动模型,进行所述修正对象链 (T_k) 的离所述全局坐标系 (C) 的所述原点较近一侧的所述传感器单元 (S_{k-1}) 与各个所述粒子 (172) 之间的曲线插补,使各个所述粒子 (172) 移动。

16. 根据权利要求 14 所述的内窥镜 (10) 的插入部 (11) 的形状检测方法,其中,

使各个所述粒子(72) 移动的步骤包括如下步骤：

根据在所述内窥镜(10) 的所述插入部(11) 平行移动的运动状态下检测到的各个所述传感器单元(S_i) 在所述全局坐标系(C) 中的加速度向量、速度向量、位移来检测所述移动模型, 基于所述移动模型使各个所述粒子(72) 移动。

内窥镜形状检测装置及内窥镜的插入部的形状检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及具备用于插入体腔内的内窥镜的内窥镜形状检测装置及该内窥镜形状检测装置的内窥镜的插入部的形状检测方法。

背景技术

[0002] 近年来,能够对内窥镜的插入部的形状进行检测的内窥镜形状检测装置已经实用化。在专利文献 1 中公开了在用于插入体腔内的内窥镜的插入部中安装有多个源线圈(source coil)的内窥镜插入形状检测装置。在该内窥镜插入形状检测装置中,利用设于体外的读出线圈(sense coil)检测各源线圈的位置。进而,基于检测到的源线圈的位置检测内窥镜的插入部的形状。

[0003] 并且,在专利文献 2 中公开了在内窥镜的插入部安装有两个传感器的内窥镜装置。在该内窥镜装置中,以基端侧的传感器为基准,检测前端侧的传感器的位置、姿态。基端侧的传感器配置于弯曲部的基端附近,前端侧的传感器配置于前端硬性部上。通过检测前端侧的传感器相对于基端侧的传感器的位置、姿态,计算弯曲部的弯曲角度、弯曲方向。

[0004] 并且,在专利文献 3 中公开了在内窥镜的插入部中安装有多个陀螺仪的内窥镜形状检测装置。在该内窥镜形状检测装置中,利用陀螺仪检测内窥镜的插入部的预定部位(安装有陀螺仪的部位)的姿态。进而,基于检测到的预定部位处的姿态,检测插入部的形状。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 【专利文献 1】日本特开 2000-175862 号公报

[0008] 【专利文献 2】日本特开 2007-319622 号公报

[0009] 【专利文献 3】日本特开平 11-19027 号公报

发明内容

[0010] 发明所要解决的课题

[0011] 在上述专利文献 1 的内窥镜形状检测装置中,利用体外的读出线圈检测体腔内的源线圈的位置,因此,检测装置大型化,并且装置的结构复杂化。

[0012] 在上述专利文献 2 中,仅使用体腔内的传感器检测弯曲部的弯曲角度、弯曲方向。但是,实际的内窥镜的插入部具有挠性,插入部插入到体腔内时的形状为曲线状。即,在该内窥镜装置中,仅通过检测弯曲部的弯曲角度、弯曲方向,是无法以高精度检测出插入部插入体腔内时的形状的。

[0013] 在上述专利文献 3 中,使用多个陀螺仪检测内窥镜的插入部的形状。但是,陀螺仪基于插入部移动时产生的惯性力或科里奥利力来检测插入部的预定部位处的姿态。因此,在插入部未移动的静止状态下,无法检测形状,插入部低速移动时的检测精度降低。

[0014] 本发明就是着眼于上述课题而完成的,其目的在于提供内窥镜形状检测装置及内

窥镜的插入部的形状检测方法,能够以高精度检测插入部的形状,而不会使装置的结构大型化、复杂化。

[0015] 用于解决课题的手段

[0016] 为了达成上述目的,在本发明的一个方式中,提供一种内窥镜形状检测装置,该内窥镜形状检测装置具备:内窥镜,其具有插入部,该插入部以沿长度方向彼此离开预定的传感器间尺寸的方式配置有多个传感器单元;姿态检测部,其基于所述传感器单元中的测量数据来检测各个所述传感器单元的姿态;线形形状检测部,其基于由所述姿态检测部检测到的各个所述传感器单元的姿态,将各个所述传感器单元之间的形状假定为尺寸与传感器间尺寸相等的直线状的链,来检测所述内窥镜的所述插入部的检测线形形状;以及形状修正部,其使用粒子滤波器对各个所述传感器单元的至少位置进行校正,检测对由所述线形形状检测部检测到的所述检测线形形状进行修正后的修正形状。

[0017] 并且,在本发明的另一方式中,提供一种内窥镜的插入部的形状检测方法,该方法包括如下步骤:利用在内窥镜的插入部中以沿长度方向彼此离开预定的传感器间尺寸的方式配置的多个传感器单元进行测量;基于所述传感器单元中的测量数据来检测各个所述传感器单元的姿态;基于检测到的各个所述传感器单元的姿态,将各个所述传感器单元之间的形状假定为尺寸与传感器间尺寸相等的直线状的链,来检测所述内窥镜的所述插入部的检测线形形状;以及使用粒子滤波器对各个所述传感器单元的至少位置进行校正,对由所述线形形状检测部检测到的所述检测线形形状进行修正后的修正形状进行检测。

[0018] 发明效果

[0019] 根据本发明,能够提供内窥镜形状检测装置及内窥镜的插入部的形状检测方法,能够以高精度检测插入部的形状,而不会使装置的结构大型化、复杂化。

附图说明

[0020] 图 1 是示出本发明的第一实施方式的内窥镜形状检测装置的结构框图。

[0021] 图 2 是示出第一实施方式的内窥镜的插入部的结构的示意图。

[0022] 图 3 是示出第一实施方式的内窥镜形状检测装置的计算机的结构框图。

[0023] 图 4 是示出第一实施方式的检测内窥镜的插入部在静止状态下的形状的方法的流程图。

[0024] 图 5 是对第一实施方式的内窥镜形状检测装置的全局坐标系和校正坐标系进行比较示出的示意图。

[0025] 图 6 是示出利用第一实施方式的内窥镜形状检测装置的线形形状检测部检测的检测线形形状的示意图。

[0026] 图 7 是说明第一实施方式的线形形状检测部的链位置校正部中的处理的示意图。

[0027] 图 8 是示出利用第一实施方式的内窥镜形状检测装置的形状修正部进行形状修正后的修正形状的示意图。

[0028] 图 9 是示出第一实施方式的利用形状修正部修正检测线形形状的形状的方法的流程图。

[0029] 图 10 是示出在利用第一实施方式的形状修正部的传感器位置观测部的第 1 次的观测时,用粒子散布部散布的各个粒子的散布状态的示意图。

[0030] 图 11 是说明第一实施方式的形状修正部的传感器位置观测部的权重计算部中的处理的示意图。

[0031] 图 12 是说明第一实施方式的形状修正部的传感器位置观测部的传感器位置估计部中的处理的示意图。

[0032] 图 13A 是示出在利用第一实施方式的形状修正部的传感器位置观测部的第 2 次及以后的观测中,在当前观测的前 1 次观测时散布的粒子的散布状态的示意图。

[0033] 图 13B 是示出在利用第一实施方式的形状修正部的传感器位置观测部的第 2 次及以后的观测中,在当前观测时散布的粒子的散布状态的示意图。

[0034] 图 14 是说明第一实施方式的形状修正部的传感器位置校正部和修正链形成部中的处理的示意图。

[0035] 图 15 是说明第一实施方式的形状修正部的未修正链位置校正部中的处理的示意图。

[0036] 图 16 是示出本发明的第二实施方式的内窥镜形状检测装置的形状修正部的结构的框图。

[0037] 图 17 是示出利用第二实施方式的内窥镜形状检测装置的形状修正部进行形状修正后的修正形状的示意图。

[0038] 图 18 是示出第二实施方式的利用形状修正部修正检测线形形状的形状的方法的流程图。

[0039] 图 19 是说明第二实施方式的形状修正部的传感器位置观测部的粒子散布部和曲线插补部中的处理的示意图。

[0040] 图 20 是说明第二实施方式的形状修正部的传感器位置观测部的权重计算部中的处理的示意图。

[0041] 图 21 是说明第二实施方式的形状修正部的传感器位置观测部的传感器位置估计部中的处理的示意图。

具体实施方式

[0042] (第一实施方式)

[0043] 参照图 1 至图 15 说明本发明的第一实施方式。

[0044] 图 1 是示出本实施方式的内窥镜形状检测装置 1 的图。如图 1 所示,内窥镜形状检测装置 1 的内窥镜 10 具备用于插入体腔内的插入部 11 以及设于插入部 11 的基端侧的操作部 12。插入部 11 具备:设于最前端的前端硬性部 14;设于前端硬性部 14 的基端侧的弯曲部 16;以及设于弯曲部 16 的基端侧的细长的挠性管部 18。

[0045] 在前端硬性部 14 的内部设有进行被摄体的摄像的 CCD 等摄像元件 20。摄像元件 20 连接着摄像用信号线 21 的一端。摄像用信号线 21 穿过插入部 11 的内部从操作部 12 延伸至内窥镜 10 的外部,摄像用信号线 21 的另一端连接于作为图像处理单元的视频处理器 3。此外,在插入部 11 的内部,沿长度方向延伸设置有光导 23,该光导 23 将照射被摄体的照明光引导至前端硬性部 14 的照明窗(未图示)。光导 23 从操作部 12 延伸至内窥镜 10 的外部,并连接于光源单元 4。

[0046] 并且,在插入部 11 的弯曲部 16 的前端部,连接着作为弯曲操作传递部件的四根弯

曲操作线（未图示）的一端。弯曲操作线穿过挠性管部 18 的内部，另一端与设于操作部 12 的作为弯曲操作部的弯曲操作旋钮（未图示）连接。通过弯曲操作旋钮的操作，弯曲操作线沿长度方向移动。通过弯曲操作线的移动，弯曲部 16 在内窥镜 10 的上下方向及左右方向进行弯曲操作。

[0047] 插入部 2 中设有多个（在本实施方式中为 $N+1$ 个）传感器单元 $S_0 \sim S_N$ 。各个传感器单元 S_i ($i = 0, 1, 2, \dots, N$) 彼此在长度方向上离开恒定的间隔 I ($= 50\text{mm}$) 配置。即，各个传感器单元 S_i 彼此在长度方向上离开预定的传感器间尺寸 I 进行配置。这里，例如最靠基端侧的传感器单元 S_0 配置于挠性管部 18 的基端部，最靠前端侧的传感器单元 S_N 配置于弯曲部 16 的前端部。各个传感器单元 S_i 具备测量加速度的加速度传感器 A_i 和测量地磁的地磁传感器 B_i 。

[0048] 图 2 是示出内窥镜 10 的插入部 11 的图。如图 2 所示，各个传感器单元 S_i 具备以传感器单元 S_i 的中心为原点并具有 X_i 轴、 Y_i 轴、 Z_i 轴的局部坐标系 C_i （图 2 中虚线所示）。这里， X_i 轴方向与传感器单元 S_i 的中心处的内窥镜 10 的左右方向一致，以从基端侧观察时的内窥镜 10 的右方向为正。 Y_i 轴方向与传感器单元 S_i 的中心处的长度方向一致，以前端侧方向为正。 Z_i 轴方向与传感器单元 S_i 的中心处的内窥镜 10 的上下方向一致，以内窥镜 10 的上方向为正。加速度传感器 A_i 测量在局部坐标系 C_i 的原点处的加速度的 X_i 轴方向分量、 Y_i 轴方向分量、 Z_i 轴方向分量。地磁传感器 B_i 测量在局部坐标系 C_i 的原点处的地磁的 X_i 轴方向分量、 Y_i 轴方向分量、 Z_i 轴方向分量。

[0049] 并且，在内窥镜形状检测装置 1 中，定义了以最靠基端侧的传感器单元 S_0 的中心为原点并具有 X 轴、 Y 轴、 Z 轴的全局坐标系 C （图 2 中实线所示）。这里，全局坐标系 C 是以最靠基端侧的传感器单元 S_0 的中心为原点的右手系的正交笛卡尔坐标系。 X 轴方向与垂直于重力作用的铅垂方向的预定方向（本实施方式中为与图 2 的箭头 D1、D2 平行的方向）一致，以图 2 中的箭头 D1 的方向为正。 Y 轴方向与垂直于铅垂方向且垂直于 X 轴方向的方向（本实施方式中为与图 2 中的箭头 E1、E2 平行的方向）一致，以图 2 中的箭头 E1 的方向为正。 Z 轴方向与铅垂方向一致，以铅垂方向的上方向（从纸面的里侧朝向外侧的方向）为正。另外，这里，为了便于说明，以全局坐标系的 X 轴方向为磁北方向。

[0050] 各个局部坐标系 C_i 是如下这样得到的坐标系：使全局坐标系 C 分别绕 X 轴旋转 α_i 、绕 Y 轴旋转 β_i 、绕 Z 轴旋转 γ_i ，并使原点从最靠基端侧的传感器单元 S_0 的中心平行移动到传感器单元 S_i 的中心。这里，将 α_i 称为俯仰角，将 β_i 称为滚转角，将 γ_i 称为偏摆角，将俯仰角 α_i 、滚转角 β_i 、偏摆角 γ_i 这三个角统称为姿态角。姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 分别从 X 轴、 Y 轴、 Z 轴的负方向观察的顺时针方向为正。通过计算姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 的值，检测传感器单元 S_i 的姿态。

[0051] 如图 1 所示，在各个传感器单元 S_i 的加速度传感器 A_i 和地磁传感器 B_i 上连接着 I2C 等串行总线 5。串行总线 5 穿过插入部 11 的内部从操作部 12 延伸至内窥镜 10 的外部，基端连接于串行转换器 6。串行转换器 6 将从各个传感器单元 S_i 经由串行总线 5 输入的测量数据的串行信号转换为 USB 信号。在串行转换器 6 上连接着 USB 线缆 7 的一端。USB 线缆 7 的另一端连接于计算机 8。各个传感器单元 S_i 中的测量数据的 USB 信号从串行转换器 6 输入至计算机 8。

[0052] 图 3 是示出计算机 8 的结构图。如图 3 所示，计算机 8 具备经由 USB 线缆 7 而

与串行转换器 6 连接的通信部 26。通信部 26 接收各个传感器单元 S_i 中的测量数据。在通信部 26 上连接着物理量换算部 28。物理量换算部 28 使用偏移量、增益等将由通信部 26 接收到的各个传感器单元 S_i 中的测量数据换算为物理量。

【0053】 在物理量换算部 28 上连接着姿态检测部 30。姿态检测部 30 基于传感器单元 S_i 中的测量数据来检测各个传感器单元 S_i 的姿态。姿态检测部 30 具备姿态角计算部 32, 该姿态角计算部 32 基于各个传感器单元 S_i 的加速度传感器 A_i 和地磁传感器 B_i 中的测量数据, 计算各个传感器单元 S_i 的局部坐标系 C_i 相对于全局坐标系 C 绕 X 轴、Y 轴、Z 轴的旋转角即三个姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 。姿态角计算部 32 具备第一角度计算部 34, 该第一角度计算部 34 基于各个传感器单元 S_i 的加速度传感器 A_i 中的加速度数据, 计算各个传感器单元 S_i 的局部坐标系 C_i 相对于全局坐标系 C 绕 X 轴的旋转角即俯仰角 α_i 、以及各个传感器单元 S_i 的局部坐标系 C_i 相对于全局坐标系 C 绕 Y 轴的旋转角即滚转角 β_i 。并且, 姿态角计算部 32 具备第二角度计算部 36, 该第二角度计算部 36 基于各个传感器单元 S_i 的地磁传感器 B_i 中的地磁数据, 计算各个传感器单元 S_i 的局部坐标系 C_i 相对于全局坐标系 C 绕 Z 轴的旋转角即偏摆角 γ_i 。

【0054】 这里, 对利用姿态检测部 30 检测各个传感器单元 S_i 的姿态的方法进行说明。图 4 是示出内窥镜 10 的插入部 11 停止的静止状态下的插入部 11 的形状检测方法的流程图。如图 4 所示, 在检测插入部 11 的形状时, 首先进行各个传感器单元 S_i 的测量 (步骤 S101), 姿态检测部 30 取得各个传感器单元 S_i 中的测量数据。进而, 姿态角计算部 32 计算各个传感器单元 S_i 的局部坐标系 C_i 的三个姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 。

【0055】 在计算姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 时, 首先, 第一角度计算部 34 基于各个传感器单元 S_i 的加速度传感器 A_i 中的测量数据, 计算各个传感器单元 S_i 的局部坐标系 C_i 的俯仰角 α_i 以及滚转角 β_i (步骤 S102)。这里, 姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 是按照偏摆角 γ_i 、俯仰角 α_i 、滚转角 β_i 的顺序旋转的 (Z, X, Y) 型。因此, 从全局坐标系 C 向局部坐标系 C_i 的旋转矩阵为

【0056】 【数学式 1】

$$[0057] \quad C_{B_i}^G = R_{Z_i} R_{X_i} R_{Y_i} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_i & -\sin \gamma_i & 0 \\ \sin \gamma_i & \cos \gamma_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \beta_i & 0 & \sin \beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta_i & 0 & \cos \beta_i \end{bmatrix}$$

$$[0058] \quad = \begin{bmatrix} -\sin \gamma_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \sin \beta_i + \cos \beta_i \cdot \cos \gamma_i & -\sin \gamma_i \cdot \cos \alpha_i & \sin \gamma_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \cos \beta_i + \sin \beta_i \cdot \cos \gamma_i \\ \cos \gamma_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \sin \beta_i + \cos \beta_i \cdot \sin \gamma_i & \cos \gamma_i \cdot \cos \alpha_i & -\cos \gamma_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \cos \beta_i + \sin \beta_i \cdot \sin \gamma_i \\ -\cos \alpha_i \cdot \sin \beta_i & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i \cdot \cos \beta_i \end{bmatrix}$$

【0059】 (1)。

【0060】 在插入部 11 停止的静止状态下, 只有重力加速度作用于铅垂方向的下方向。即, 在全局坐标系 C 中和局部坐标系 C_i 中, 都是只有重力加速度作用于铅垂方向的下方向。因此, 此时, 加速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量为

【0061】 【数学式 2】

$$[0062] \quad \mathbf{a}_{th} = [0 \quad 0 \quad -g]^T \quad (2)$$

【0063】 此外, 加速度传感器 A_i 所测量的加速度向量的局部坐标系 C_i 的 X_i 轴方向分量、 Y_i 轴方向分量、 Z_i 轴方向分量为

【0064】 【数学式 3】

[0065] $\dot{a}_{obsi} = [a_{Bi_X} \ a_{Bi_Y} \ a_{Bi_Z}]^T$ (3)

[0066] 这里,局部坐标系 C_i 是使全局坐标系 C 依次旋转偏摆角 γ_i 、俯仰角 α_i 、滚转角 β_i 而得到的坐标系。因此,根据式 (1) ~ 式 (3),局部坐标系 C_i 中观测到的加速度分量为

[0067] 【数学式 4】

[0068] $\dot{a}_{obsi} = (C_{Bi}^G)^T \dot{a}_{th} = -g \begin{bmatrix} -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i \\ \sin\alpha_i \\ \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix}$ (4.1)

(4.2)

(4.3)

[0069] 这里,若对式 (4.1) 的平方和式 (4.3) 的平方进行相加,则为

[0070] 【数学式 5】

[0071] $a_{Bi_X}^2 + a_{Bi_Z}^2 = g^2 \cos^2 \alpha_i (\sin^2 \beta_i + \cos^2 \beta_i)$ (5),

[0072] 得到

[0073] 【数学式 6】

[0074] $g \cos \alpha_i = \sqrt{a_{Bi_X}^2 + a_{Bi_Z}^2}$ (6)

[0075] 进而,通过式 (4.2) 除以式 (6),成为

[0076] 【数学式 7】

[0077] $\alpha_i = \tan^{-1} \left(\frac{-a_{Bi_Y}}{\sqrt{a_{Bi_X}^2 + a_{Bi_Z}^2}} \right)$ (7)

[0078] 求出局部坐标系 C_i 的俯仰角 α_i 。并且,通过式 (4.1) 除以式 (4.3),成为

[0079] 【数学式 8】

[0080] $\beta_i = \tan^{-1} \left(\frac{-a_{Bi_X}}{a_{Bi_Z}} \right)$ (8)

[0081] 求出局部坐标系 C_i 的滚转角 β_i 。如上所述,基于各个加速度传感器 A_i 中的测量数据,计算各个局部坐标系 C_i 的俯仰角 α_i 及滚转角 β_i 。

[0082] 进而,第二角度计算部 36 基于各个传感器单元 S_i 的地磁传感器 B_i 中的测量数据,计算各个传感器单元 S_i 的局部坐标系 C_i 的偏摆角 γ_i (步骤 S103)。这里,使用在步骤 S102 中计算出的俯仰角 α_i 和滚转角 β_i ,定义对各个局部坐标系 C_i 相对于全局坐标系 C 绕 X 轴的旋转及绕 Y 轴的旋转进行校正得到的校正坐标系 C'_i 。图 5 是示出全局坐标系 C (在图 5 中用实线所示) 以及校正坐标系 C'_i (图 5 中用虚线所示) 的图。另外,实际上在全局坐标系 C 和校正坐标系 C'_i 中,原点的位置不同,但在图 5 中,为了比较两者,以原点处于同一位置的状态进行表示。如图 5 所示,对绕 X 轴的旋转及绕 Y 轴的旋转进行校正得到的校正坐标系 C'_i 是使全局坐标系 C 绕 Z 轴旋转偏摆角 γ_i 得到的坐标系,具有 X'_i 轴、 Y'_i 轴、 Z'_i 轴。 X'_i 轴方向、 Y'_i 轴方向分别与从全局坐标系 C 的 X 轴方向、Y 轴方向绕 Z 轴方向旋转偏摆角 γ_i 后的方向一致。 Z'_i 轴方向与铅垂方向、即全局坐标系 C 的 Z 轴方向一致。这里,由于全局坐标系 C 的 X 轴方向与磁北方向一致,所以 X'_i 轴方向成为从磁

北方向绕 Z 轴旋转偏摆角 γ_i 后的方向。

[0083] 地磁传感器 B_i 所测量的地磁向量的局部坐标系 C_i 的 X_i 轴方向分量、 Y_i 轴方向分量、 Z_i 轴方向分量为

[0084] 【数学式 9】

$$[0085] \quad \vec{m}_{obsi} = [M_{Xi} \quad M_{Yi} \quad M_{Zi}]^T \quad (9)$$

[0086] 校正坐标系 C'_i 是对局部坐标系 C_i 相对于全局坐标系 C 绕 X 轴的旋转及绕 Y 轴的旋转进行校正得到的坐标系。因此,使用式 (9) 及式 (1) 的 R_{xi} 、 R_{yi} ,地磁传感器 B_i 所测量的地磁向量的校正坐标系 C'_i 的 X'_i 轴方向分量、 Y'_i 轴方向分量、 Z'_i 轴方向分量为

[0087] 【数学式 10】

$$[0088] \quad \vec{m}_{obsi}' = R_{xi}R_{yi}\vec{m}_{obsi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{Xi} \\ M_{Yi} \\ M_{Zi} \end{bmatrix}$$

$$[0089] \quad = \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ \sin\alpha_i \sin\beta_i & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \cos\beta_i \\ -\cos\alpha_i \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{Xi} \\ M_{Yi} \\ M_{Zi} \end{bmatrix} \quad (10.1)$$

$$[0090] \quad \vec{m}_{obsi}' = [M_{Xi}' \quad M_{Yi}' \quad M_{Zi}']^T \quad (10.2)$$

[0091] 从式 (10.1)、式 (10.2) 得到

[0092] 【数学式 11】

$$[0093] \quad M_{Xi}' = M_{Xi} \cos \beta_i + M_{Zi} \sin \beta_i \quad (11.1)$$

$$[0094] \quad M_{Yi}' = M_{Yi} \cos \alpha_i + \sin \alpha_i (M_{Xi} \sin \beta_i - M_{Zi} \cos \beta_i) \quad (11.2)。$$

[0095] 与铅垂方向垂直的水平面 (校正坐标系 C'_i 的 X'_i - Y'_i 平面) 中的地磁分量面向磁北方向。因此,根据式 (11.1)、式 (11.2),使用地磁向量的校正坐标系 C'_i 的 X'_i 轴分量、 Y'_i 轴分量能够求得从 X'_i 轴到磁北方向的角度 θ_i 。即,成为

[0096] 【数学式 12】

$$[0097] \quad \theta_i = \tan^{-1}(M_{Yi}' / M_{Xi}') \quad (12)。$$

[0098] 角度 θ_i 以从负方向观察 Z'_i 轴 (Z 轴) 时的顺时针为正。这里,校正坐标系 C'_i 是使全局坐标系 C 绕 Z 轴旋转偏摆角 γ_i 后的坐标系。因此,利用式 (12) 求得的角度 θ_i 成为以全局坐标系 C 为基准的局部坐标系 C_i 的偏摆角 γ_i 。

[0099] 另外,在全局坐标系 C 的 X 轴方向与磁北方向不一致的情况下,也可以以磁北为基准求出偏摆角 γ_i 。地磁向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量为

[0100] 【数学式 13】

$$[0101] \quad \vec{m}_{th} = [E_X \quad E_Y \quad E_Z]^T \quad (13)$$

[0102] 地磁向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量是通过使用与地磁传感器 B_i 为同一类型的地磁传感器,在轴的方向与全局坐标系 C 的 X 轴方向、Y 轴方向、Z 轴方向一致的状态下进行测量而求得的。进而,根据式 (13),使用地磁向量的全局坐标系 C 的 X 轴分量、Y 轴分量求出从 X 轴到磁北方向的角度 θ 。即,成为

[0103] 【数学式 14】

$$[0104] \quad \theta = \tan^{-1}(E_y/E_x) \quad (14)。$$

[0105] 这里,角度 θ 以从负方向观察 Z 轴时的顺时针为正。校正坐标系 C'_i 是使全局坐标系 C 绕 Z 轴旋转偏摆角 γ_i 后的坐标系。因此,根据式 (12)、式 (14),成为

[0106] 【数学式 15】

$$[0107] \quad \gamma_i = \theta - \theta_i \quad (15)$$

[0108]

[0109] 求出以全局坐标系 C 为基准的局部坐标系 C_i 的偏摆角 γ_i 。

[0110] 如以上所述,基于各个地磁传感器 B_i 中的测量数据,计算各个局部坐标系 C_i 的偏摆角 γ_i 。姿态检测部 30 基于计算出的姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 的值,对各个传感器单元 S_i 的姿态进行检测。

[0111] 如图 3 所示,在姿态检测部 30 上连接着线形形状检测部 40。图 6 是从全局坐标系 C 的 Z 轴的正方向观察利用线形形状检测部 40 检测的内窥镜 10 的插入部 11 的检测线形形状 71 时的图。如图 6 所示,线形形状检测部 40 基于由姿态检测部 30 检测到的各个传感器单元 S_i 的姿态,将各个传感器单元 S_i 之间的形状假定为尺寸与传感器间尺寸 I 相等的直线状的链 T_j ($j = 1, 2, \dots, N$),来检测插入部 11 的检测线形形状 71。这里,从基端侧起第 k 个链 T_k 是从基端侧起第 k 个传感器单元 S_{k-1} 与从基端侧起第 (k+1) 个传感器单元 S_k 之间的链。线形形状检测部 40 具备:形成各个链 T_j 的链形成部 41;以及链位置校正部 42,其使链形成部 41 所形成的各个链 T_j 平行移动,以校正链 T_j 的位置。通过链位置校正部 42,各个链 T_j 平行移动成与邻接的链 T_{j-1} 、 T_{j+1} 的链边界连续的状态。

[0112] 在线形形状检测部 40 上连接着描绘部 45。在描绘部 45 上连接着显示部 47。由线形形状检测部 40 检测到的在全局坐标系 C 中的插入部 11 的检测线形形状 71 通过描绘部 45 进行描绘。手术操作者能够在显示部 47 上确认由描绘部 45 描绘出的检测线形形状 71。

[0113] 这里,对利用线形形状检测部 40 检测插入部 11 的检测线形形状 71 的方法进行说明。如图 4 所示,在检测插入部 11 的检测线形形状 71 时,首先,基于在步骤 S102、S103 中计算出的姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 的值,链形成部 41 形成直线形状的各个链 T_j (步骤 S104)。这里,对从基端侧起第 k 个传感器单元 S_{k-1} 与从基端侧起第 (k+1) 个传感器单元 S_k 之间的、从基端侧起第 k 个链 T_k 的形成进行说明。

[0114] 如式 (7)、式 (8)、式 (12) (或式 (15)) 所示,在步骤 S102、S103 中计算局部坐标系 C_{k-1} (即链) 的姿态角 α_{k-1} 、 β_{k-1} 、 γ_{k-1} 。使用该姿态角 α_{k-1} 、 β_{k-1} 、 γ_{k-1} 及各个传感器单元 S_i 之间的在长度方向上的间隔即传感器间尺寸 I,求出传感器单元 S_{k-1} 位于全局坐标系 C 的原点时的、传感器单元 S_k 的坐标 $P'_k(I_{xk}, I_{yk}, I_{zk})$ 。这里,坐标 P'_k 成为

[0115] 【数学式 16】

$$[0116] \quad \mathbf{l}_k = [l_{xk} \ l_{yk} \ l_{zk}]^T - l C_{Bk-1}^G \mathbf{e}_{yk-1} = l \begin{bmatrix} -\sin\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \cos\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \sin\alpha_{k-1} \end{bmatrix} \quad (16.1)$$

$$[0117] \quad \mathbf{e}_{yk-1} = [0 \ 1 \ 0]^T \quad (16.2)。$$

[0118] 式 (16.1)、式 (16.2) 的 $\mathbf{e}_{yk-1}$ 是在局部坐标系 C_{k-1} 的原点处的长度方向即 Y_{k-1} 轴方

向的单位向量。通过将单位向量 $e_{y_{k-1}}$ 与用式 (1) 计算出的旋转矩阵相乘, 分别计算出单位向量 $e_{y_{k-1}}$ 的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量。即, I_{xk} 、 I_{yk} 、 I_{zk} 是将局部坐标系 C_{k-1} 中的朝向 Y_{k-1} 轴方向的大小为 I 的向量分别分解到全局坐标系 C 的 X 轴方向、Y 轴方向、Z 轴方向的分量。通过将全局坐标系 C 的原点与利用式 (16. 1)、式 (16. 2) 计算出的坐标 $P'_{-k}(I_{xk}, I_{yk}, I_{zk})$ 呈直线状连结, 形成链 T_k 。

[0119] 另外, 对于链 T_k 以外的链 T_j , 也利用链形成部 41 同样形成。即, 使用式 (16. 1)、式 (16. 2), 求出链 T_j 的基端侧 (离全局坐标系 C 的原点较近的一侧) 的传感器单元 S_{j-1} 位于全局坐标系 C 的原点时的、链 T_j 的前端侧 (离全局坐标系 C 的原点较远的一侧) 的传感器单元 S_j 的坐标 $P'_{-j}(I_{xj}, I_{yj}, I_{zj})$ 。进而, 通过将全局坐标系 C 的原点与坐标 $P'_{-j}(I_{xj}, I_{yj}, I_{zj})$ 呈直线状连结, 形成链 T_j 。即, 链形成部 41 将链 T_j 假定为, 沿着基端侧的传感器单元 S_{j-1} 的中心处的长度方向, 从基端侧 (离全局坐标系 C 的原点较近的一侧) 的传感器单元 S_{j-1} 的中心延伸设置到前端侧 (离全局坐标系 C 的原点较远的一侧) 的传感器单元 S_j 的中心, 来形成链 T_j 。

[0120] 此外, 传感器间尺寸 I 优选为 50mm 左右。通过加长传感器间尺寸 I, 传感器单元 S_i 的数量减少, 削减成本。并且, 若传感器间尺寸 I 处于小于 50mm 左右的范围, 则在将各个传感器单元 S_i 之间假定为尺寸与传感器间尺寸 I 相等的直线状的链 T_j 的情况下, 也能够减小插入部 11 的形状检测时的误差。

[0121] 进而, 链位置校正部 42 使通过链形成部 41 形成的各个链 T_j 平行移动成与邻接的链 T_{j-1} 、 T_{j+1} 的链边界连续的状态, 来校正链 T_j 的位置 (步骤 S105)。图 7 是说明链位置校正部 42 中的处理的图。这里, 对从基端侧起第 k 个传感器单元 S_{k-1} 与从基端侧起第 (k+1) 个传感器单元 S_k 之间的、从基端侧起第 k 个链 T_k 的位置校正进行说明。

[0122] 如图 7 所示, 在利用链位置校正部 42 进行链 T_k 的位置校正之前的状态下, 到与链 T_k 的基端侧邻接的链 T_{k-1} 为止完成位置校正, 形成链位置校正完成部 73。在进行链 T_k 的位置校正时, 链位置校正部 42 使链 T_k 平行移动从原点到链位置校正完成部 73 的前端的移动量。即, 使临时链 T_k 从图 7 的虚线所示的位置平行移动到图 7 的实线所示的位置。由此, 成为链 T_{k-1} 与链 T_k 的链边界连续的状态, 链 T_k 的位置被校正。

[0123] 另外, 对于链 T_k 以外的链 T_j , 也利用链位置校正部 42 同样校正位置。即, 在进行链 T_j 的位置校正时, 链位置校正部 42 使链 T_j 平行移动从原点到链位置校正完成部 73 的前端 (离全局坐标系 C 的原点较远的一侧的端部) 的移动量。由此, 成为链 T_j 和与链 T_j 的基端侧 (离全局坐标系 C 的原点较近的一侧) 邻接的链 T_{j-1} 的链边界连续的状态, 链 T_j 的位置被校正。其中, 关于链 T_1 , 由于链 T_1 的基端为全局坐标系 C 的原点, 所以不进行位置的校正。

[0124] 如图 3 所示, 线形形状检测部 40 与形状修正部 50 连接。形状修正部 50 通过粒子滤波器对各个传感器单元 S_i 的位置 (状态) 进行校正, 对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 71 进行修正。图 8 是从全局坐标系 C 的 Z 轴的正方向观察利用形状修正部 50 修正后的内窥镜 10 的插入部 11 的修正形状 75 时的图。如图 8 所示, 通过形状修正部 50 将图 8 中虚线所示的检测线形形状 71 修正为修正形状 75。通过校正各个传感器单元 S_i 的位置, 修正各个链 T_j 的形状来确定修正链 (修正传感器间要素) T'_{-j} 。修正形状 75 由各个修正链 T'_{-j} 构成。

[0125] 形状修正部 50 具备:形状修正顺序实施部 51,其针对各个链 T_j 从基端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)的链 T_j 起依次进行形状修正,形成修正链 T'_j ;以及形状修正控制部 52,其将形状修正顺序实施部 51 控制为对所有链 T_j 进行形状修正的状态。并且,形状修正部 50 具备未修正链位置校正部 53,该未修正链位置校正部 53 每当形状修正顺序实施部 51 进行一个链 T_j 的形状修正时,使由未进行形状修正的链(未修正链) T_j 构成的修正未完成部 79 平行移动,对位置进行校正。利用未修正链位置校正部 53,修正未完成部 79 平行移动成与由通过形状修正而形成的修正链 T'_j 构成的修正完成部 77 边界连续的状态。

[0126] 如图 3 所示,形状修正顺序实施部 51 具备:传感器位置校正部(传感器状态校正部)55,其对修正对象的链(修正对象链) T_j 的前端侧(离全局坐标系 C 的原点较远的一侧)的传感器单元(状态校正对象传感器) S_j 的位置(状态)进行校正;以及修正链形成部(修正传感器间要素形成部)57,其基于由传感器位置校正部 55 进行了校正的传感器单元 S_j 的位置形成修正链 T'_j 。

[0127] 此外,形状修正顺序实施部 51 具备使用粒子滤波器进行修正对象的链 T_j 的前端侧的传感器单元 S_j 的位置估计的传感器位置估计部(传感器状态估计部)61。传感器位置估计部 61 基于位于链 T_j 的前端的初始位置(初始状态),进行第 1 次的传感器单元 S_j 的位置估计。此外,传感器位置估计部 61 基于第 1 次的估计结果,进行第 2 次的传感器单元 S_j 的位置估计。即,传感器位置估计部 61 使用粒子滤波器,基于初始位置或上次估计的估计结果进行传感器单元 S_j 的位置估计。并且,形状修正顺序实施部 51 具备将传感器位置估计部 61 控制成进行预定次数的传感器单元 S_j 的位置估计的状态的位置估计控制部(状态估计控制部)62。

[0128] 传感器位置估计部 61 具备粒子散布部 63、粒子移动部 65、权重计算部 67 和传感器位置观测部(传感器状态观测部)69。粒子散布部 63、粒子移动部 65、权重计算部 67 和传感器位置观测部 69 的详细情况将在后面叙述。

[0129] 在形状修正部 50 上连接着描绘部 45。由形状修正部 50 进行了修正的全局坐标系 C 中的插入部 11 的修正形状 75 通过描绘部 45 进行描绘。手术操作者能够在显示部 47 上确认由描绘部 45 描绘出的修正形状 75。

[0130] 这里,说明利用形状修正部 50 对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 71 进行修正的方法。如图 4 所示,形状修正部 50 通过粒子滤波器对各个传感器单元 S_i 的位置进行校正,对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 71 进行修正(步骤 S106)。如前所述,若传感器间尺寸 I 处于小于 50mm 左右的范围,则在将各个传感器单元 S_i 之间假定为尺寸与传感器间尺寸 I 相等的直线状的链 T_j 的情况下,插入部 11 的形状检测时的误差也变小。但是实际上,各个传感器单元 S_i 的测量数据由于噪声等具有误差,并且插入到体腔内时的内窥镜 10 的插入部 11 呈现出曲线形状。因此,插入部 11 的形状不限于沿着基端侧的传感器单元 S_{j-1} 的中心处的长度方向,从基端侧的传感器单元 S_{j-1} 的中心延伸设置到前端侧的传感器单元 S_j 的中心的直线状的链形状。因此,进行检测线形形状 71 的形状修正较为重要。

[0131] 在对各个传感器单元 S_i 的位置进行校正来修正检测线形形状 71 时,形状修正顺序实施部 51 针对各个链 T_j 从基端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)的链 T_j 起依次

进行形状修正,形成修正链 T'_{j_0} 。这里,对利用形状修正顺序实施部 51 进行链 T_j 的形状修正的方法进行说明。这里,对从基端侧起第 k 个传感器单元 S_{k-1} 与从基端侧起第 $(k+1)$ 个传感器单元 S_k 之间的、从基端侧起第 k 个链 T_k 的形状修正进行说明。

[0132] 图 9 是示出利用形状修正部 50 修正检测线形形状 71 的的方法的流程图。图 10 至图 15 是说明形状修正顺序实施部 51 中的处理的图。如图 10 所示,在利用形状修正顺序实施部 51 进行链 T_k 的形状修正之前的状态下,到链 T_{k-1} 为止完成形状修正,形成修正完成部 77。修正完成部 77 由修正链 $T'_{-1} \sim T'_{k-1}$ 构成。此外,形成由链 $T_k \sim T_N$ 构成的修正未完成部 79。此时,修正完成部 77 与修正未完成部 79 的边界连续,传感器单元 S_k 在全局坐标系 C 中位于点 Q_{k_0} 。

[0133] 在该状态下,通过形状修正顺序实施部 51 开始进行在修正未完成部 79 中位于最基端侧的链(修正对象链) T_k 的形状修正(步骤 S111)。即,通过形状修正控制部 52 将形状修正顺序实施部 51 控制为进行链 T_k 的形状修正的状态。

[0134] 在利用形状修正顺序实施部 51 进行链 T_k 的形状修正时,首先,通过传感器位置估计部 61 使用粒子滤波器,基于位于链 T_k 的前端的初始位置 (Q_{k_0}),估计链 T_k 的前端侧的传感器单元(状态校正对象传感器) S_k 的位置。如图 9 和图 10 所示,在基于初始位置估计传感器单元 S_k 的位置时,首先通过粒子散布部 63 向链 T_k 的前端侧的传感器单元 S_k 的初始位置 Q_{k_0} 的周边散布预定数量(在本实施方式中设为 A 个)的粒子 72(步骤 S112)。这里,将传感器单元 S_k 的初始位置(即粒子滤波器中的状态向量)设为 $Q_{k_0}(q_{xk_0}, q_{yk_0}, q_{zk_0})$,将初始位置 Q_{k_0} 的误差的方差设为 $(\delta_x, \delta_y, \delta_z)$ 。在求出 $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ 时,根据由于噪声等产生的各个传感器单元 S_i 的测量数据的误差的方差,使用式(1)~式(15)求出传感器单元 S_{k-1} 的姿态角 $\alpha_{k-1}, \beta_{k-1}, \gamma_{k-1}$ 的误差的方差。并且,根据姿态角 $\alpha_{k-1}, \beta_{k-1}, \gamma_{k-1}$ 的误差的方差,使用式(16)求出传感器单元 S_k 的初始位置 Q_{k_0} 的误差的方差 $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ 。在对传感器单元 S_k 的初始位置 Q_{k_0} 加上了误差的方差 $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ 后的范围内同样散布粒子 72。即,在将各个粒子 72 在全局坐标系 C 中的位置设为 $Q_{k_1}^a(q_{xk_1}^a, q_{yk_1}^a, q_{zk_1}^a)$ ($a = 1, 2, \dots, A$) 时,在下式的范围内同样散布粒子 72:

[0135] 【数学式 17】

$$[0136] \quad q_{xk_0} - \delta_x \leq q_{xk_1}^a \leq q_{xk_0} + \delta_x \quad (17.1)$$

$$[0137] \quad q_{yk_0} - \delta_y \leq q_{yk_1}^a \leq q_{yk_0} + \delta_y \quad (17.2)$$

$$[0138] \quad q_{zk_0} - \delta_z \leq q_{zk_1}^a \leq q_{zk_0} + \delta_z \quad (17.3)。$$

[0139] 即,将系统的噪声假定为白噪声。另外,也可以按经验确定粒子的散布范围,但是在散布范围过大的情况下,估计精度劣化。在最初散布各个粒子 72 时,预先对各个粒子 72 赋予初始的权重 $w_{k_0}^a$ 。权重 $w_{k_0}^a$ 例如在各个粒子 72 中恒定地以 $1/A$ 给出。这里,粒子 72 用状态空间的 A 个离散的假设来表现状态向量的概率密度函数,各个粒子 72 具有与概率成比例的权重 $w_{k_0}^a$ 。即,在粒子滤波器中,使用多个(在本实施方式中为 A 个)粒子 72 估计状态向量的概率密度函数。

[0140] 并且,粒子移动部 65 基于插入部 11 的状态(移动状态、弯曲状态等)和传感器单元 S_k 中的测量数据检测各个粒子 72 的移动模型。并且,粒子移动部 65 根据与权重 $w_{k_0}^a$ 成比例的概率选择粒子 72,基于检测到的移动模型使各个粒子 72 移动(步骤 S113)。通过粒子移动部 65 将各个粒子 72 从移动前粒子位置移动到移动后粒子位置。其中,在本实施方

式中,是插入部 11 不移动的静止状态,并且不进行各个传感器单元 S_i 之间的曲线插补,因此不进行粒子 72 的移动。

[0141] 进而,通过权重计算部 67 计算各个粒子 72 的权重 w_{k-1}^a (步骤 S114)。即,将各个粒子 72 的权重从 w_{k-0}^a 更新为 w_{k-1}^a 。权重计算部 67 首先计算对各个粒子 72 的似然性进行评价的似然度 v_{k-1}^a 。通过似然度表示传感器单元 S_k 位于各个粒子 72 的由粒子移动部 65 移动后的移动后粒子位置处的似然性。似然度为

[0142] 【数学式 18】

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

[0144] b_{k-1}^a 是在全局坐标系 C 中,位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与各个粒子 72 之间的线段的尺寸。例如图 11 所示,传感器单元 S_{k-1} 与粒子 72A (全局坐标系 C 中的位置是 Q_{k-1}^s 的粒子) 之间的线段的尺寸为 b_{k-1}^s 。这里,函数 $h(b_{k-1}^a)$ 例如为

[0145] 【数学式 19】

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

[0147] 将 b_0 设为各个传感器单元 S_i 的传感器间尺寸 I。根据式 (19),位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与粒子 72 之间的线段的尺寸与传感器间尺寸 I 的差越小,函数 $h(b_{k-1}^a)$ 越大,似然度越大。反之,位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与粒子 72 之间的线段的尺寸与传感器间尺寸 I 的差越大,函数 $h(b_{k-1}^a)$ 越小,似然度越小。 ϕ_{k-1}^a 是从位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 到各个粒子 72 的向量 V1、与从各个粒子 72 到位置校正前的传感器单元 S_{k+1} 的向量 V2 所成的角度。例如图 11 所示,在粒子 72A (全局坐标系 C 中的位置是 Q_{k-1}^s 的粒子) 处,向量 V1 与向量 V2 所成的角度为 ϕ_{k-1}^s 。这里,函数 $g(\phi_{k-1}^a)$ 例如为

[0148] 【数学式 20】

[0149]

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

[0150] 这里,c 是常数,例如为 4。根据式 (20),如果向量 V1 与 V2 所成的角度处于 0 度 ~ ± 90 度的范围,则 $g(\phi_{k-1}^a)$ 变大,似然度变大。反之,如果是除此以外的角度,则 $g(\phi_{k-1}^a)$ 变小,似然度变小。在将各个传感器单元 S_i 的传感器间尺寸 I 设为 50mm 的情况下,实际上角度 ϕ_{k-1}^a 可以取 0 度 ~ 大致 ± 90 度的范围。该情况可以从将直径与内窥镜 10 的插入部 11 大致相同的直径为 10mm 的树脂制管进行弯曲后的状态容易想到。角度 ϕ_{k-1}^a 的范围根据产品、插入部的位置而不同,因此期望与产品和 / 或插入部位置对应地进行调整。

[0151] 并且,根据各个粒子 72 的似然度计算权重 w_{k-1}^a 。各个粒子 72 的权重为

[0152] 【数学式 21】

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

[0154] 即,权重是将似然度的合计设为 1 来对各个粒子 72 的似然度进行了标准化的值。如上所述那样计算各个粒子 72 的权重。

[0155] 进而,传感器位置观测部 69 基于由权重计算部 67 计算出的各个粒子 72 的权重,

观测传感器单元 S_k 的位置 (步骤 S115)。此时,如图 12 所示,传感器位置观测部 69 计算各个粒子 72 的由粒子移动部 65 移动前的移动前粒子位置的加权平均,并将计算出的位置设为移动前传感器位置 Q'_{k-1} 。并且,根据在粒子移动部 65 移动各个粒子 72 时使用的移动模型,进行从移动前传感器位置 Q'_{k-1} 向移动后传感器位置 Q_{k-1} 的移动,并将移动后传感器位置 Q_{k-1} 估计为传感器单元 S_k 的位置。另外,在本实施方式中,由于不通过粒子移动部 65 进行粒子 72 的移动,因此移动前传感器位置 Q'_{k-1} 与移动后传感器位置 Q_{k-1} 的位置相同。

[0156] 进而,通过位置估计控制部 62 判断是否进行了预定次数 (在本实施方式中设为 M 次) 的传感器单元 S_k 的位置估计 (步骤 S116)。在当前状态下,由于只进行一次传感器单元 S_k 的位置估计 (步骤 S116-否),因此传感器位置估计部 61 被位置估计控制部 62 控制成再进行一次传感器单元 S_k 的位置估计的状态。此时,传感器位置估计部 61 基于第 1 次的估计结果,进行传感器单元 S_k 的位置估计。同样,在例如第 t 次的位置估计中,基于第 $(t-1)$ 次的估计结果,进行传感器单元 S_k 的位置估计。即,在第 2 次及以后的位置估计中,传感器位置估计部 61 基于通过上一次位置估计的估计结果,进行传感器单元 S_k 的位置估计。

[0157] 进而,返回步骤 S112,通过粒子散布部 63 散布预定数量 (在本实施方式中设为 A 个) 的粒子 72 (步骤 S112)。在第 2 次的位置估计中,基于在第 1 次的位置估计时由权重计算部 67 计算出的各个粒子 72 的权重来散布粒子 72。同样例如在第 t 次的位置估计中,基于在第 $(t-1)$ 次的位置估计时由权重计算部 67 计算出的各个粒子 72 的权重来散布粒子 72。即,在第 2 次及以后的位置估计中,粒子散布部 63 基于在上一次的位置估计时由权重计算部 67 计算出的各个粒子 72 的权重来散布粒子 72。即,粒子散布部 63 成为基于上一次的位置估计时的各个粒子 72 的权重来散布粒子 72 的权重对应散布部。结果,如图 13A 和图 13B 所示,例如在上一次的位置估计时计算出的权重较大的粒子 72 的移动前粒子位置的周边 (图 13A、图 13B 中的 G1 所示的范围),所散布的粒子 72 的数量增多。另一方面,在上一次的位置估计时计算出的权重较小的粒子 72 的移动前粒子位置的周边 (图 13A、图 13B 中的 G2 所示的范围),所散布的粒子 72 的数量减少。另外,图 13A 示出了在上一次的位置估计时散布的粒子 72 的由粒子移动部 65 移动前的移动前粒子位置,图 13B 示出了当前的粒子的移动前粒子位置。

[0158] 并且,在第 2 次及以后的位置估计中也同样,粒子移动部 65 基于在第 1 次的估计中使用的移动模型,移动各个粒子 72 (步骤 S113)。由此,将各个粒子 72 从移动前粒子位置移动到移动后粒子位置。

[0159] 并且,通过权重计算部 67,使用与式 (18) ~ 式 (20) 同样的式子,计算对各个粒子 72 的似然性进行评价的似然度。通过似然度表示传感器单元 S_k 位于各个粒子 72 的由粒子移动部 65 移动后的移动后粒子位置处的似然性。并且,使用与式 (21) 同样的式子,根据似然度计算各个粒子 72 的权重 (步骤 S114)。这里,在例如第 t 次的位置估计中,替代式 (18) ~ 式 (21) 的似然度 v_{k-1}^a 、权重 w_{k-1}^a 、 b_{k-1}^a 、 ϕ_{k-1}^a ,而分别使用似然度 v_{k-t}^a 、权重 w_{k-t}^a 、 b_{k-t}^a 、 ϕ_{k-t}^a 进行计算。

[0160] 进而,传感器位置观测部 69 基于由权重计算部 67 计算出的各个粒子 72 的权重,估计传感器单元 S_k 的位置 (步骤 S115)。此时,传感器位置观测部 69 计算各个粒子 72 的由粒子移动部 65 移动前的移动前粒子位置的加权平均,并将计算出的位置设为移动前传感器位置。并且,根据在粒子移动部 65 移动各个粒子 72 时使用的移动模型,进行从移动

前传感器位置向移动后传感器位置的移动,并将移动后传感器位置估计为传感器单元 S_k 的位置。例如,在第 t 次的位置估计中,根据各个粒子 72 的加权平均计算移动前传感器位置 $Q'_{k,t}$,并通过根据移动模型的移动从移动前传感器位置 $Q'_{k,t}$ 移动到移动后传感器位置 $Q_{k,t}$ 。

[0161] 进而,通过位置估计控制部 62 判断是否进行了预定次数(在本实施方式中设为 M 次)的传感器单元 S_k 的位置估计(步骤 S116)。在没有进行预定次数的传感器单元 S_k 的位置估计的情况下(步骤 S116-否),传感器位置估计部 61 被位置估计控制部 62 控制成再进行一次传感器单元 S_k 的位置估计的状态,再进行一次步骤 S112 ~ 步骤 S115。在进行了预定次数的传感器单元 S_k 的位置估计的情况下(步骤 S116-是),进行到下一步骤。

[0162] 如图 14 所示,在进行了预定次数的传感器单元 S_k 的位置估计后,传感器位置校正部 55 根据利用传感器位置估计部 61 的估计结果,对修正对象的链(修正对象链) T_k 的前端侧的传感器单元(状态校正对象传感器) S_k 的位置进行校正(步骤 S117)。传感器位置校正部 55 将传感器单元 S_k 的位置从位于链 T_k 的前端的初始位置($Q_{k,0}$)校正到在传感器位置观测部 61 的最终一次(在本实施方式中为第 M 次)的位置估计时估计出的传感器单元 S_k 的移动后传感器位置 $Q_{k,M}$ 。并且,修正链形成部 57 基于由传感器位置校正部 55 校正后的传感器单元 S_k 的位置形成修正链 T'_k (步骤 S117)。这里,连结位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与传感器单元 S_k 的移动后传感器位置 $Q_{k,M}$ 而成的线段成为修正链 T'_k 。由于传感器单元 S_k 的位置移动,在通过形状修正顺序实施部 51 进行链 T_k 的形状修正之前的状态下连续的修正完成部 77 与修正未完成部 79 的边界变为不连续的状态。即,修正链 T'_k 与链 T_{k+1} 成为不连续的状态。

[0163] 另外,对于链 T_k 以外的链 T_j ,也利用形状修正顺序实施部 51 同样进行形状修正。即,在开始链(修正对象链) T_j 的形状修正时(步骤 S111),传感器位置估计部 61 使用粒子滤波器,进行修正对象的链 T_j 的前端侧(离全局坐标系 C 的原点较远的一侧)的传感器单元(状态校正对象传感器) S_j 的位置估计。在进行传感器单元 S_j 的位置估计时,首先粒子散布部 63 基于传感器单元 S_j 的初始位置 $Q_{j,0}$ 、或在上一次的位置估计时由权重计算部 67 计算出的各个粒子 72 的权重来散布预定数量的粒子 72(步骤 S112)。进而,粒子移动部 65 检测上述移动模型,并基于移动模型移动各个粒子 72(步骤 S113)。由此,将各个粒子 72 从移动前粒子位置移动到移动后粒子位置。

[0164] 并且,通过权重计算部 67,使用与式(18)~式(20)同样的式子,计算对各个粒子 72 的似然性进行评价的似然度。通过似然度检测传感器单元 S_j 位于各个粒子 72 的由粒子移动部 65 移动后的移动后粒子位置处的似然性。并且,使用与式(21)同样的式子,根据似然度计算各个粒子 72 的权重(步骤 S114)。这里,由于进行了链 T_j 的形状修正,因此在例如第 t 次的位置估计中,替代式(18)~式(21)的似然度 v_{k-1}^a 、权重 w_{k-1}^a 、 b_{k-1}^a 、 ϕ_{k-1}^a ,而分别使用似然度 $v_{j,t}^a$ 、权重 $w_{j,t}^a$ 、 $b_{j,t}^a$ 、 $\phi_{j,t}^a$ 进行计算。进而,传感器位置观测部 69 基于由权重计算部 67 计算出的各个粒子 72 的权重,观测传感器单元 S_j 的位置(步骤 S115)。例如,在第 t 次的位置估计中,根据各个粒子 72 的加权平均计算移动前传感器位置 $Q'_{j,t}$,并通过根据移动模型的移动进行从移动前传感器位置 $Q'_{j,t}$ 向移动后传感器位置 $Q_{j,t}$ 的移动。进而,将移动后传感器位置 $Q_{j,t}$ 估计为传感器单元 S_j 的位置。

[0165] 进而,通过位置估计控制部 62 判断是否进行了预定次数(在本实施方式中设为 M

次)的传感器单元 S_j 的位置估计(步骤 S116)。在没有进行预定次数的传感器单元 S_j 的位置估计的情况下(步骤 S116-否),传感器位置估计部 61 被位置估计控制部 62 控制成进行预定次数的传感器单元 S_j 的位置估计的状态,再进行一次步骤 S112 ~ 步骤 S115。在进行了预定次数的传感器单元 S_j 的位置估计的情况下(步骤 S116-是),进入下一步骤。

[0166] 在通过传感器位置估计部 61 进行了预定次数的传感器单元 S_j 的位置估计后,传感器位置校正部 55 根据传感器位置估计部 61 的估计结果,对修正对象的链(修正对象链) T_j 的前端侧(离全局坐标系 C 的原点较远的一侧)的传感器单元(状态校正对象传感器) S_j 的位置进行校正(步骤 S117)。传感器位置校正部 55 将传感器单元 S_j 的位置从位于链 T_j 的前端(全局坐标系 C 的较远一侧的端部)的初始位置(Q_{j_0})校正到在传感器位置观测部 61 的最终一次(在本实施方式中为第 M 次)的位置估计时估计出的传感器单元 S_j 的移动后传感器位置 Q_{j_M} 。并且,修正链形成部 57 基于由传感器位置校正部 55 校正后的传感器单元 S_j 的位置形成修正链 T'_j (步骤 S117)。这里,连结位置校正后的传感器单元 S_{j-1} 与传感器单元 S_j 的移动后传感器位置 Q_{j_M} 而成的线段成为修正链 T'_j 。

[0167] 图 15 是说明未修正链位置校正部 53 中的处理的图。如图 15 所示,在利用形状修正顺序实施部 51 进行链 T_k 的形状修正、并形成了修正链 T'_k 后的状态下,形成有完成了形状修正的修正完成部 77 和未完成形状修正的修正未完成部 79。修正完成部 77 由修正链 $T'_{i_1} \sim T'_k$ 构成,修正未完成部 79 由链 $T_{k+1} \sim T_N$ 构成。此时,如前所述,通过链 T_k 的形状修正,传感器单元 S_k 的位置从点 Q_{k_0} 移动到点 Q_{k_M} ,因此修正完成部 77 与修正未完成部 79 的边界不连续。在该状态下,未修正链位置校正部 53 使修正未完成部 79 平行移动到与修正完成部 77 边界连续的状态,从而对修正未完成部 79 的位置进行校正(步骤 S118)。即,修正未完成部 79 从图 15 的虚线所示的位置平行移动到实线所示的位置。

[0168] 另外,对于链 T_k 以外的链 T_j ,也同样利用未修正链位置校正部 53 校正修正未完成部 79 的位置。即,在利用形状修正顺序实施部 51 进行了链 T_j 的形状修正后,修正完成部 77 与修正未完成部 79 的边界不连续。在该状态下,未修正链位置校正部 53 使修正未完成部 79 平行移动到与修正完成部 77 连续的状态,从而对修正未完成部 79 的位置进行校正(步骤 S118)。未修正链位置校正部 53 每当形状修正顺序实施部 51 进行一个链 T_j 的形状修正时,对修正未完成部 79 的位置进行校正。

[0169] 进而,如图 9 所示,形状修正控制部 52 确认是否针对所有的链 T_j 完成了形状修正(步骤 S119)。在针对所有的链 T_j 完成了形状修正的情况下,形成插入部 11 的修正形状 75,进入下一步骤(步骤 S119-是)。在没有针对所有的链 T_j 完成形状修正的情况下,返回步骤 S111(步骤 S119-否),利用形状修正顺序实施部 51,进行修正未完成部 79 中位于最靠基端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)的链(修正对象链) T_j 的形状修正。即,在针对所有的链 T_j 完成形状修正之前,重复进行步骤 S111 ~ S118。

[0170] 因此,在上述结构的内窥镜形状检测装置 1 及使用了内窥镜形状检测装置 1 的内窥镜 10 的插入部 11 的形状检测方法中,发挥以下的效果。即,在内窥镜形状检测装置 1 中,姿态检测部 30 根据各个传感器单元 S_i 的测量数据来检测传感器单元 S_i 的姿态,线形形状检测部 40 根据各个传感器单元 S_i 的姿态来检测内窥镜 10 的插入部 11 的检测线形形状 71。并且,形状修正部 50 通过粒子滤波器对各个传感器单元 S_i 的位置进行校正,对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 71 进行修正。进而,形成插入部 11 的修正形状 75。如上

所述,根据观察时插入体腔内的插入部 11 所配置的传感器单元 S_i 的测量数据来检测插入部 11 的修正形状 75,因此不需要在体外设置读出线圈等。因此,能够实现内窥镜形状检测装置 1 的小型化、单纯化。

[0171] 此外,在内窥镜形状检测装置 1 中,通过形状修正部 50,使用粒子滤波器对各个传感器单元 S_i 的位置进行校正,从而对检测线形形状 71 进行了修正。在形状修正部 50 中,利用形状修正顺序实施部 51 的传感器位置估计部 61 进行预定次数的各个传感器单元 S_i 的估计。在传感器单元 S_i 的估计时,通过权重计算部 67 计算各个粒子 72 的权重。进而,传感器位置观测部 69 基于由权重计算部 67 计算出的各个粒子 72 的权重,观测传感器单元 S_i 的位置。计算出的粒子 72 的权重越大,通过粒子移动部 65 移动后的各个粒子 72 的移动后粒子位置越位于插入到体腔内的插入部 11 中的传感器单元 S_i 的似然的位置(位于此处的概率较高的位置)。因此,能够通过传感器位置观测部 69 以高精度观测传感器单元 S_i 的位置。传感器位置校正部 55 将各个传感器单元 S_i 的位置校正到在通过传感器位置估计部 61 的最终一次的估计中由传感器位置观测部 69 观测到的位置即移动后传感器位置。因此,位置校正后的传感器单元 S_i 的位置成为插入到体腔内的插入部 11 中的传感器单元 S_i 的似然的位置(位于此处的概率较高的位置)。形状修正部 50 基于位置校正后的传感器单元 S_i 的位置进行检测线形形状 71 的修正,因此能够检测与实际的插入部 11 的形状的误差较小的修正形状 75。由此,能够以高精度对插入部 11 的修正形状 75 进行检测。

[0172] 另外,在内窥镜形状检测装置 1 中,在插入部 11 未移动的静止状态下,加速度传感器 A_i 测量重力加速度,地磁传感器 B_i 测量地磁。进而,姿态检测部 30 根据测量到的重力加速度、地磁来对各个传感器单元 S_i 的姿态进行检测。在静止状态下,重力加速度和地磁始终在恒定的方向上具有恒定的大小。由于根据重力加速度、地磁来对各个传感器单元 S_i 的姿态进行检测,所以在静止状态下,也能够以高精度检测传感器单元 S_i 的姿态。由此,能够以高精度对插入部 11 的修正形状 75 进行检测。

[0173] (第二实施方式)

[0174] 接着,参照图 16 至图 21 说明本发明的第二实施方式。另外,对与第一实施方式相同的部分及具有相同功能的部分标注同一标号并省略其说明。

[0175] 图 16 是示出本实施方式的形状修正部 150 的结构的图。形状修正部 150 通过粒子滤波器对各个传感器单元 S_i 的位置(状态)进行校正,对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 71 进行修正。图 17 是从全局坐标系 C 的 Z 轴的正方向观察利用形状修正部 50 修正后的内窥镜 10 的插入部 11 的修正形状 175 时的图。如图 17 所示,通过形状修正部 150 将用图 17 的虚线所示的检测线形形状 71 修正为修正形状 175。通过校正各个传感器单元 S_i 的位置,修正各个链 T_j 的形状来确定圆弧(修正传感器间要素) L_j 。修正形状 175 由各个圆弧 L_j 构成。实际上,插入到体腔内时的内窥镜 10 的插入部 11 的形状为曲线形状。这里,内窥镜 10 的插入部 11 因产品不同而有差异,但具有适度的弹性。因此,插入部 11 的曲线形状的曲率大幅变化的情况很少见。因此,通过将传感器单元 S_i 之间的形状假定为预定半径(曲率)的圆弧 L_j 来进行形状修正,形成与实际的插入部 11 的曲线形状的误差较小的修正形状 75。

[0176] 如图 16 所示,形状修正部 150 具备形状修正顺序实施部 151、形状修正控制部 152 和未修正链位置校正部 153。形状修正顺序实施部 151 针对各个链 T_j 从基端侧(离全局坐

标系 C 的原点较近的一侧) 的链 T_j 起依次进行形状修正, 形成圆弧 (修正传感器间要素) L_j 。即, 相对于第一实施方式的形状修正顺序实施部 51 形成修正链 T'_j , 本实施方式的形状修正顺序实施部 151 形成圆弧 L_j 。关于形状修正控制部 152 和未修正链位置校正部 153, 与第一实施方式的形状修正控制部 52 和未修正链位置校正部 53 为相同的结构和功能, 因此省略其说明。

[0177] 形状修正顺序实施部 151 具备: 传感器位置校正部 (传感器状态校正部) 155, 其对修正对象的链 (修正对象链) T_j 的前端侧 (离全局坐标系 C 的原点较远的一侧) 的传感器单元 (状态校正对象传感器) S_j 的位置进行校正; 以及圆弧形成部 (修正传感器间要素形成部) 157, 其基于由传感器位置校正部 155 进行了校正的传感器单元 S_j 的位置形成圆弧 L_j 。即, 相对于第一实施方式的修正链形成部 57 基于位置校正后的传感器单元 S_j 的位置形成修正链 T'_j , 本实施方式的圆弧形成部 157 形成圆弧 L_j 。

[0178] 形状修正顺序实施部 151 具备使用粒子滤波器进行修正对象的链 T_j 的前端侧的传感器单元 S_j 的位置估计的传感器位置估计部 (传感器状态估计部) 161。传感器位置估计部 161 基于位于链 T_j 的前端的初始位置, 进行第 1 次的传感器单元 S_j 的位置估计。此外, 传感器位置估计部 161 基于第 1 次的估计结果, 进行第 2 次的传感器单元 S_j 的位置估计观测。即, 传感器位置估计部 161 使用粒子滤波器, 基于初始位置或上次估计的估计结果进行传感器单元 S_j 的位置估计。此外, 形状修正顺序实施部 151 具备将传感器位置估计部 161 控制成进行预定次数的传感器单元 S_j 的位置估计的状态的位置估计控制部 (状态估计控制部) 162。

[0179] 传感器位置估计部 161 具备粒子散布部 163、作为粒子移动部的曲线插补部 165、权重计算部 167 和传感器位置观测部 (传感器状态观测部) 169。粒子散布部 163、曲线插补部 165、权重计算部 167 和传感器位置观测部 169 的详细情况将在后面叙述。

[0180] 这里, 说明利用形状修正部 150 对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 71 进行修正的方法。如图 4 所示, 形状修正部 150 通过粒子滤波器对各个传感器单元 S_i 的位置进行校正, 对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 71 进行修正 (步骤 S106)。

[0181] 在对各个传感器单元 S_i 的位置进行校正来修正检测线形形状 71 时, 形状修正顺序实施部 151 针对各个链 T_j 从基端侧 (离全局坐标系 C 的原点较近的一侧) 的链 T_j 起依次进行形状修正, 形成圆弧 L_j 。这里, 对利用形状修正顺序实施部 51 进行链 T_j 的形状修正的方法进行说明。这里, 对从基端侧起第 k 个传感器单元 S_{k-1} 与从基端侧起第 $(k+1)$ 个传感器单元 S_k 之间的、从基端侧起第 k 个链 T_k 的形状修正进行说明。

[0182] 图 18 是示出利用形状修正部 150 修正检测线形形状 71 的的方法的流程图。图 19 至图 21 是说明形状修正顺序实施部 151 中的处理的图。如图 19 所示, 在利用形状修正顺序实施部 151 进行链 T_k 的形状修正之前的状态下, 与第一实施方式同样, 到链 T_{k-1} 为止完成形状修正, 形成修正完成部 177。此外, 形成由链 $T_k \sim T_N$ 构成的修正未完成部 179。此时, 修正完成部 177 与修正未完成部 179 的边界连续, 传感器单元 S_k 在全局坐标系 C 中位于点 U_{k0} 。

[0183] 如图 18 和图 19 所示, 在该状态下, 通过形状修正顺序实施部 151 开始进行在修正未完成部 179 中位于最靠基端侧的链 (修正对象链) T_k 的形状修正 (步骤 S191)。即, 通过形状修正控制部 152 将形状修正顺序实施部 151 控制为进行链 T_k 的形状修正的状态。

[0184] 在利用形状修正顺序实施部 51 进行链 T_k 的形状修正时,首先,通过传感器位置估计部 161 使用粒子滤波器,基于位于链 T_k 的前端的初始位置 (U_{k_0}),估计链 T_k 的前端侧的传感器单元 (状态校正对象传感器) S_k 的位置。如图 18 和图 19 所示,在基于初始位置估计传感器单元 S_k 的位置时,首先通过粒子散布部 163 向链 T_k 的前端侧的传感器单元 S_k 的初始位置 U_{k_0} 的周边散布预定数量 (在本实施方式中设为 A 个) 的粒子 172 (步骤 S192)。这里,与第一实施方式同样地在式 (17) 的范围内同样散布各个粒子 172。

[0185] 进而,通过曲线插补部 165 进行传感器单元 S_{k-1} 与由粒子散布部 163 散布的各个粒子 172 之间的曲线插补 (步骤 S193)。曲线插补部 165 使用基于插入部 11 的弯曲状态的移动模型进行曲线插补,移动各个粒子 172 的位置。即,曲线插补部 165 是使用基于插入部 11 的弯曲状态的移动模型来移动各个粒子 172 的粒子移动部。通过曲线插补部 165 将各个粒子 172 从插补前粒子位置 (移动前粒子位置) 移动到插补后粒子位置 (移动后粒子位置)。

[0186] 这里,对传感器单元 S_{k-1} 与作为粒子 172 中的一个的粒子 172A 之间的曲线插补进行说明。如图 19 所示,在进行传感器单元 S_{k-1} 与粒子 172A 之间的曲线插补链 T_k 的曲线插补之前的状态下,粒子 172A 位于插补前粒子位置 F1。这里,将连结传感器单元 S_{k-1} 与粒子 172A 的插补前粒子位置 F1 而成的线段设为第一线形形状 171A。第一线形形状 171A 的尺寸为 b' 。此外,将连结粒子 172A 的插补前粒子位置 F1 与位于链 T_k 的前端的传感器单元 S_{k+1} 而成的线段设为第二线形形状 171B。并且,形成第一插补法线 174A 和第二插补法线 174B,该第一插补法线 174A 通过第一线形形状 171A 的基端,并与第一线形形状 171A 垂直,所述第二插补法线 174B 通过第一线形形状 171A 的前端,并与第二线形形状 171B 垂直。进而,计算第一插补法线 174A 与第二插补法线 174B 的交点 O。在第一插补法线 174A 与第二插补法线 174B 不相交的情况下,计算第一插补法线 174A 与第二插补法线 174B 的距离最小的两点的中间点 O。进而,将交点 O 或中间点 O 设为中心 O 来形成圆弧 176。圆弧 176 具有与中心 O 和第一线形形状 171A 的基端之间的距离相同的半径 R。即,圆弧 176 具有曲率 $1/R$ 。此外,圆弧 176 是以第一线形形状 171A 的基端为起点的弧长与第一线形形状 171A 的尺寸 b' 相等的圆弧 176。圆弧 176 的前端 F2 成为粒子 172A 的插补后粒子位置 F2。即,通过曲线插补部 165 的曲线插补,粒子 172A 的位置从插补前粒子位置 F1 移动到插补后粒子位置 F2。关于其他粒子,也同样从插补前粒子位置移动到插补后粒子位置。

[0187] 进而,与第一实施方式同样地,通过权重计算部 167 计算各个粒子 172 的权重 w_{k-1}^a (步骤 S194)。即,将各个粒子 72 的权重从初始的 $w_{k_0}^a$ 更新为 w_{k-1}^a 。权重计算部 167 首先计算对各个粒子 172 的插补后粒子位置 (移动后粒子位置) 的似然性进行评价的似然度 v_{k-1}^a 。使用式 (18) ~ 式 (20) 计算似然度。其中,在本实施方式中, b_{k-1}^a 在全局坐标系 C 中,是位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与各个粒子 172 的插补后粒子位置之间的圆弧的弧长。例如图 20 所示,在传感器单元 S_{k-1} 与粒子 172A 之间 (在该粒子处,设为 $a = s$) 之间,如前所述那样形成的圆弧 176 的弧长 b' 成为 b_{k-1}^s 。此外,在式 (19) 中将 b_0 设为各个传感器单元 S_i 的传感器间尺寸 I。根据式 (19),位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与粒子 172 之间的圆弧的弧长与传感器间尺寸 I 的差越小,函数 $h(b_{k-1}^a)$ 越大,似然度越大。反之,位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与粒子 172 之间的圆弧的弧长与传感器间尺寸 I 的差越大,函数 $h(b_{k-1}^a)$ 越小,似然度越小。其中,如前所述那样,位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与各个粒子 172 的插补

后粒子位置之间的圆弧的弧长与位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与各个粒子 172 的插补前粒子位置之间的线段的尺寸相同,因此即使在将 b_{k-1}^a 设为传感器单元 S_{k-1} 与各个粒子 172 的插补前粒子位置之间的线段的尺寸的情况下,也能够得到相同的结果。此外,在本实施方式中, ϕ_{k-1}^a 是从位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 到各个粒子 172 的插补后粒子位置的向量 V'_1 、与从各个粒子 172 的插补后粒子位置到位置校正前的传感器单元 S_{k+1} 的向量 V'_2 所成的角度。例如图 20 所示,在粒子 172A (在该粒子处,设为 $a = s$) 处,从传感器单元 S_{k-1} 到粒子 172A 的插补后粒子位置 F2 的向量 V'_1 、与从粒子 172A 的插补后粒子位置 F2 到传感器单元 S_{k+1} 的向量 V'_2 所成的角度为 ϕ_{k-1}^s 。根据式 (20),如果向量 V'_1 与 V'_2 所成的角度处于 0 度 ~ 90 度的范围,则 $g(\phi_{k-1}^a)$ 变大,似然度变大。反之,如果是除此以外的角度,则 $g(\phi_{k-1}^a)$ 变小,似然度变小。并且,使用式 (21) 根据各个粒子 172 的似然度计算权重 w_{k-1}^a 。

[0188] 进而,传感器位置观测部 169 基于由权重计算部 67 计算出的各个粒子 172 的权重,观测传感器单元 S_k 的位置 (步骤 S195)。此时,如图 21 所示,传感器位置观测部 169 计算各个粒子 172 的由曲线插补部 165 插补前的插补前粒子位置的加权平均,并将计算出的位置设为移动前传感器位置 U'_{k-1} 。并且,根据在粒子移动部 65 进行曲线插补时使用的移动模型,进行从移动前传感器位置 U'_{k-1} 向移动后传感器位置 U_{k-1} 的移动,并将移动后传感器位置 U_{k-1} 估计为传感器单元 S_k 的位置。

[0189] 进而,通过位置估计控制部 162 判断是否进行了预定次数 (在本实施方式中设为 M 次) 的传感器单元 S_k 的位置估计 (步骤 S196)。在当前状态下,只进行一次传感器单元 S_k 的位置估计 (步骤 S196- 否),因此传感器位置估计部 161 被位置估计控制部 162 控制成再进行一次传感器单元 S_k 的位置估计的状态。在第 2 次及以后的位置估计中,传感器位置估计部 161 基于通过上一次位置估计的估计结果,进行传感器单元 S_k 的位置估计。

[0190] 进而,返回步骤 S192,通过粒子散布部 163 散布预定数量 (在本实施方式中设为 A 个) 的粒子 172 (步骤 S192)。在第 2 次及以后的位置估计中,粒子散布部 163 基于在上一次的位置估计时由权重计算部 167 计算出的各个粒子 172 的权重来散布粒子 172。结果例如在上一次的位置估计时计算出的权重较大的粒子 172 的插补前粒子位置的周边,所散布的粒子 172 的数量增多。另一方面,在上一次的位置估计时计算出的权重较小的粒子 172 的插补前粒子位置的周边,所散布的粒子 172 的数量减少。

[0191] 并且,在第 2 次及以后的位置估计中,也同样由曲线插补部 165 基于在第 1 次的估计中使用的移动模型,进行传感器单元 S_{k-1} 与各个粒子 172 之间的曲线插补 (步骤 S193)。由此,将各个粒子 172 从插补前粒子位置移动到插补后粒子位置。

[0192] 并且,通过权重计算部 167,使用与式 (18) ~ 式 (20) 同样的式子,计算对传感器单元 S_k 位于各个粒子 172 的插补后粒子位置处的似然性进行评价的似然度。通过似然度检测各个粒子 172 的插补后粒子位置的似然性。并且,使用与式 (21) 同样的式子,根据似然度计算各个粒子 172 的权重 (步骤 S194)。这里,在例如第 t 次的位置估计中,替代式 (18) ~ 式 (21) 的似然度 v_{k-1}^a 、权重 w_{k-1}^a 、 b_{k-1}^a 、 ϕ_{k-1}^a ,而分别使用似然度 v_{k-t}^a 、权重 w_{k-t}^a 、 b_{k-t}^a 、 ϕ_{k-t}^a 进行计算。

[0193] 进而,传感器位置观测部 169 基于由权重计算部 167 计算出的各个粒子 172 的权重,观测传感器单元 S_k 的位置 (步骤 S195)。例如,在第 t 次的位置估计中,根据各个粒子 172 的加权平均计算插补前传感器位置 U'_{k-t} ,利用上述移动模型进行曲线插补。通过曲线

插补进行从插补前传感器位置 U'_{k-t} 向插补后传感器位置 U_{k-t} 的移动。

[0194] 进而,通过位置估计控制部 162 判断是否进行了预定次数(在本实施方式中设为 M 次)的传感器单元 S_k 的位置估计(步骤 S196)。在没有进行预定次数的传感器单元 S_k 的位置估计的情况下(步骤 S196-否),传感器位置估计部 161 被位置估计控制部 162 控制成再进行一次传感器单元 S_k 的位置估计的状态,再进行一次步骤 S192 ~ 步骤 S195。在进行了预定次数的传感器单元 S_k 的位置估计的情况下(步骤 S196-是),进入下一步骤。

[0195] 如图 17 所示,在进行了预定次数(例如 2 次)的传感器单元 S_k 的位置估计后,传感器位置校正部 155 根据传感器位置估计部 161 的估计结果,对修正对象的链(修正对象链) T_k 的前端侧的传感器单元(状态校正对象传感器) S_k 的位置进行校正(步骤 S197)。传感器位置校正部 155 将传感器单元 S_k 的位置从位于链 T_k 的前端的初始位置 (U_{k_0}) 校正到在传感器位置估计部 161 的最终一次(在本实施方式中为第 M 次)的位置估计时估计出的传感器单元 S_k 的插补后传感器位置 U_{k_M} 。并且,圆弧形部 157 基于由传感器位置校正部 155 校正后的传感器单元 S_k 的位置形成圆弧 L_k (步骤 S197)。这里,连结位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与传感器单元 S_k 的移动后传感器位置 U_{k_M} 而成的圆弧成为圆弧 L_k 。另外,通过用上述移动模型对传感器单元 S_{k-1} 与传感器单元 S_k 的插补前传感器位置 U'_{k_M} 之间进行曲线插补,形成连结位置校正后的传感器单元 S_{k-1} 与传感器单元 S_k 的插补后传感器位置 U_{k_M} 而成的圆弧。由于传感器单元 S_k 的位置移动,在通过形状修正顺序实施部 151 进行链 T_k 的形状修正之前的状态下连续的修正完成部 177 与修正未完成部 179 的边界变为不连续的状态。即,圆弧 L_k 与链 T_{k+1} 成为不连续的状态。

[0196] 并且,与第一实施方式同样,在该状态下,未修正链位置校正部 153 使修正未完成部 179 平行移动到与修正完成部 177 的边界连续的状态,从而对修正未完成部 179 的位置进行校正(步骤 S198)。

[0197] 另外,对于链 T_k 以外的链 T_j ,也利用形状修正顺序实施部 151 同样进行形状修正,从而形成圆弧 L_j 。此外,未修正链位置校正部 153 每当形状修正顺序实施部 151 进行一个链 T_j 的形状修正时,对修正未完成部 179 的位置进行校正。

[0198] 进而,如图 17 所示,形状修正控制部 152 确认是否针对所有的链 T_j 完成了形状修正(步骤 S199)。在针对所有的链 T_j 完成了形状修正的情况下,形成插入部 11 的修正形状 175,进入下一步骤(步骤 S199-是)。在没有针对所有的链 T_j 完成形状修正的情况下,返回步骤 S191(步骤 S199-否),利用形状修正顺序实施部 151,进行修正未完成部 179 中位于最靠基端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)的链(修正对象链) T_j 的形状修正。即,在针对所有的链 T_j 完成形状修正之前,重复进行步骤 S191 ~ S198。

[0199] 因此,在上述结构的内窥镜形状检测装置 1 及使用了内窥镜形状检测装置 1 的内窥镜 10 的插入部 11 的形状检测方法中,发挥以下的效果。即,在内窥镜形状检测装置 1 中,姿态检测部 30 根据各个传感器单元 S_i 的测量数据来检测传感器单元 S_i 的姿态,线形形状检测部 40 根据各个传感器单元 S_i 的姿态来检测内窥镜 10 的插入部 11 的检测线形形状 71。并且,形状修正部 150 通过粒子滤波器对各个传感器单元 S_i 的位置进行校正,对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 71 进行修正。进而,形成插入部 11 的修正形状 175。如上所述,根据观察时插入体腔内的插入部 11 所配置的传感器单元 S_i 的测量数据来检测插入部 11 的修正形状 175,因此不需要在体外设置读出线圈等。因此,能够实现内窥镜

形状检测装置 1 的小型化、单纯化。

[0200] 此外,在内窥镜形状检测装置 1 中,通过形状修正部 150,使用粒子滤波器对各个传感器单元 S_i 的位置进行校正,从而对检测线形形状 71 进行了修正。在形状修正部 150 中,利用形状修正顺序实施部 151 的传感器位置估计部 161 进行预定次数的各个传感器单元 S_i 的估计。在传感器单元 S_i 的估计时,通过权重计算部 167 计算各个粒子 172 的权重。进而,传感器位置观测部 169 基于由权重计算部 167 计算出的各个粒子 172 的权重,观测传感器单元 S_i 的位置。计算出的粒子 172 的权重越大,通过曲线插补部 65 的曲线插补而进行插补后的各个粒子 172 的插补后粒子位置(移动后粒子位置)越位于插入到体腔内的插入部 11 中的传感器单元 S_i 的似然的位置(位于此处的概率较高的位置)。因此,能够通过传感器位置观测部 169 以高精度观测传感器单元 S_i 的位置。传感器位置校正部 155 将各个传感器单元 S_i 的位置校正到在通过传感器位置估计部 161 的最终一次的估计中由传感器位置观测部 169 观测到的位置即插补后传感器位置(移动后传感器位置)。因此,位置校正后的传感器单元 S_i 的位置成为插入到体腔内的插入部 11 中的传感器单元 S_i 的似然的位置(位于此处的概率较高的位置)。形状修正部 150 基于位置校正后的传感器单元 S_i 的位置进行检测线形形状 71 的修正,因此能够检测与实际的插入部 11 的形状的误差较小的修正形状 175。由此,能够以高精度对插入部 11 的修正形状 175 进行检测。

[0201] 并且,在内窥镜形状检测装置 1 中,通过形状修正顺序实施部 151 将各个链 T_j 的形状修正为圆弧(修正传感器间要素) L_j 。实际上,插入到体腔内时的内窥镜 10 的插入部 11 的形状为曲线形状。内窥镜 10 的插入部 11 因产品不同而有差异,但具有适度的弹性。因此,插入部 11 的曲线形状的曲率大幅变化的情况很少见。因此,通过将传感器单元 S_i 之间的形状修正为预定半径(曲率)的圆弧 L_j ,能够检测与实际的插入部 11 的曲线形状的误差较小的修正形状 175。

[0202] (第一实施方式的变形例)

[0203] 接着,对上述第一实施方式的变形例进行说明。另外,对与第一实施方式相同的部分及具有相同功能的部分标注同一标号并省略其说明。

[0204] 在本变形例中,能够对内窥镜 10 的插入部 11 平行移动的运动状态下的插入部 11 的修正形状 75 进行检测。即,传感器位置估计部 61 的粒子移动部 65 基于由各个传感器单元 S_i 的加速度传感器 A_i 测量到的运动状态下的加速度数据,进行各个粒子 72 的移动。

[0205] 在基于运动状态下的加速度数据进行各个粒子的移动时,首先,设置在计算机 8 中的加速度检测部(未图示)取得由各个传感器单元 S_i 的加速度传感器 A_i 测量到的运动状态下的加速度数据。

[0206] 进而,加速度检测部基于运动状态下的加速度数据,将在各个传感器单元 S_i 的中心测量到的加速度向量分解为全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量。进而,对在各个传感器单元 S_i 的中心测量到的加速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量进行检测。在运动状态下,对在静止状态下产生于铅垂方向的重力加速度施加由插入部 11 的移动产生的分量,因此,在各个传感器单元 S_i 的中心测量到的加速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量为

[0207] 【数学式 22】

$$[0208] \quad \dot{a}_{thi} = [a_{thi_x} \quad a_{thi_y} \quad -g + a_{thi_z}]^T \quad (22)$$

[0209] 并且,由各个传感器单元 S_i 的加速度传感器 A_i 测量到的加速度向量的局部坐标系 C_i 的 X_i 轴方向分量、 Y_i 轴方向分量、 Z_i 轴方向分量为

[0210] 【数学式 23】

$$[0211] \quad \dot{a}_{obsi}' = [a_{Bi_x}' \quad a_{Bi_y}' \quad a_{Bi_z}']^T \quad (23)$$

[0212] 并且,在本变形例中,由于考虑内窥镜 10 的插入部 11 平行移动的情况,因此,在接近配置的多个传感器单元 S_i 中,局部坐标系 C 中的加速度向量假定为相同。在实际的内窥镜 10 中,各个传感器单元 S_i 之间的传感器间尺寸 I 非常小,因此该假定是可能的。通过这样假定,例如在传感器单元 S_1 测量的加速度向量与传感器单元 S_2 测量的加速度向量之间,成为

[0213] 【数学式 24】

$$[0214] \quad \dot{a}_{th1} = \dot{a}_{th2} \quad (24.1)$$

$$[0215] \quad \|\dot{a}_{obs1}'\| = \|\dot{a}_{obs2}'\| \quad (24.2)$$

[0216] 进而,根据式 (24.1)、式 (24.2),如下关系分别成立:

[0217] 【数学式 25】

$$[0218] \quad [a_{th1_x} \quad a_{th1_y} \quad a_{th1_z}]^T = [a_{th2_x} \quad a_{th2_y} \quad a_{th2_z}]^T \quad (25.1)$$

$$[0219] \quad [a_{B1_x}' \quad a_{B1_y}' \quad a_{B1_z}']^T = \left[a_{B2_x}' \quad a_{B2_y}' \quad \sqrt{\|\dot{a}_{obs1}'\|^2 - (a_{B2_x}'^2 + a_{B2_y}'^2)} \right]^T$$

$$[0220] \quad (25.2)。$$

[0221] 这里,在传感器单元 S_1 中,根据全局坐标系 C 与局部坐标系 C_1 的关系,使用式 (1) 的旋转矩阵,成为

[0222] 【数学式 26】

$$[0223] \quad \dot{a}_{obs1}' = \begin{pmatrix} C_{B1} \\ C_{B2} \end{pmatrix}^T \dot{a}_{th1}$$

$$[0224] \quad = \begin{bmatrix} -\sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \cos\gamma_1 & -\sin\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & \sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 - \sin\beta_1 \cdot \cos\gamma_1 \\ \cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \sin\gamma_1 & \cos\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & -\cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 + \sin\beta_1 \cdot \sin\gamma_1 \\ -\cos\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 \end{bmatrix}$$

$$[0225] \quad \begin{bmatrix} a_{th1_x} \\ a_{th1_y} \\ -g + a_{th1_z} \end{bmatrix} \quad (26)$$

[0226] 同样,在传感器单元 S_2 中,根据全局坐标系 C 与局部坐标系 C_2 的关系,使用式 (1) 的旋转矩阵,成为

[0227] 【数学式 27】

$$[0228] \quad \dot{a}_{obs2}' = \begin{pmatrix} C_{B2} \\ C_{B2} \end{pmatrix}^T \dot{a}_{th2}$$

$$[0229] \quad = \begin{bmatrix} -\sin\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 + \cos\beta_2 \cdot \cos\gamma_2 & -\sin\gamma_2 \cdot \cos\alpha_2 & \sin\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 + \sin\beta_2 \cdot \cos\gamma_2 \\ \cos\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 + \cos\beta_2 \cdot \sin\gamma_2 & \cos\gamma_2 \cdot \cos\alpha_2 & -\cos\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 + \sin\beta_2 \cdot \sin\gamma_2 \\ -\cos\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 & \sin\alpha_2 & \cos\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 \end{bmatrix}$$

$$[0230] \quad \begin{bmatrix} a_{th2_x} \\ a_{th2_y} \\ -g + a_{th2_z} \end{bmatrix} \quad (27)$$

[0231] 利用式 (25.1) 的关系,解出式 (26)、(27),由此,求出传感器单元 S_1 、 S_2 测量到的重力加速度以外的加速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量 a_{th1_x} (a_{th2_x})、Y 轴方向分量 a_{th1_y} (a_{th2_y})、Z 轴方向分量 a_{th1_z} (a_{th2_z})。使用式 (1) 的旋转矩阵,由式 (13) 所示的地磁传感器 B_i 测量的地磁向量的全局坐标系 C 的各个轴方向分量与由式 (9) 所示的地磁向量的局部坐标系 C_i 的各个轴方向分量的关系成为

[0232] 【数学式 28】

$$[0233] \quad \vec{a}_{obsi} = (\vec{c}_{B_i}^C)^T \vec{a}_{thi}$$

$$[0234] \quad = \begin{bmatrix} -\sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & \sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \cos\gamma_i \\ \cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \sin\gamma_i & \cos\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & -\cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \sin\gamma_i \\ -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix}$$

$$[0235] \quad \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad (28)$$

[0236] 在式 (28) 中,在包括代入了 $i = 1$ (或 2) 的地磁的关系式在内求解式 (25.1) (26) (27) 的情况下,相对于 12 个方程式,未知数除了 6 个姿态角之外还有 6 个加速度,合计为 12 个。其结果,能够通过数值运算求出传感器单元 S_1 、 S_2 测量到的重力加速度以外的加速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量 a_{th1_x} (a_{th2_x})、Y 轴方向分量 a_{th1_y} (a_{th2_y})、Z 轴方向分量 a_{th1_z} (a_{th2_z})。对于其它传感器单元 S_i 也同样求出各个传感器单元 S_i 测量到的重力加速度以外的加速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量 a_{thi_x} 、Y 轴方向分量 a_{thi_y} 、Z 轴方向分量 a_{thi_z} 。

[0237] 并且,设置在计算机 8 中的位移计算部 (未图示) 基于由加速度检测部检测到的重力加速度以外的加速度向量,计算各个传感器单元 S_i 自上次的静止状态开始的位移。通过对各个传感器单元 S_i 测量到的重力加速度以外的加速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量 a_{thi_x} 、Y 轴方向分量 a_{thi_y} 、Z 轴方向分量 a_{thi_z} 进行双重积分,求出各个传感器单元 S_i 自上次的静止状态开始的位移的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量。并且,在位移计算部中,还计算各个传感器单元 S_i 的速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量。通过对各个传感器单元 S_i 测量到的重力加速度以外的加速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量 a_{thi_x} 、Y 轴方向分量 a_{thi_y} 、Z 轴方向分量 a_{thi_z} 进行 1 次积分,求出各个传感器单元 S_i 的速度向量的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量。

[0238] 粒子移动部 65 基于由加速度检测部和位移计算部检测到的各个传感器单元 S_i 的加速度向量、速度向量、位移的全局坐标系 C 的 X 轴方向分量、Y 轴方向分量、Z 轴方向分量,检测各个粒子 72 的移动模型。进而,基于移动模型将各个粒子 172 从移动前粒子位置移动到移动后粒子位置 (图 9 的步骤 S113)。即,粒子移动部 65 是如下的运动状态移动模型实施部:根据在运动状态下检测到的各个传感器单元 S_i 的加速度向量、速度向量、位移来检测移动模型,基于移动模型来移动各个粒子 72。

[0239] 并且,如上所述,根据移动后粒子位置的似然性即各个粒子 72 的似然度,计算权重 (步骤 S114)。进而,根据各个粒子 72 的权重观测传感器单元 S_i 的位置 (步骤 S115)。进行预定次数的以上那样的传感器单元 S_i 的位置估计,并将传感器单元 S_i 的位置校正为通过最终一次的位置估计而估计出的移动后传感器位置 (步骤 S117)。并且,根据位置校正后的传感器单元 S_i 的位置,形成各个传感器单元 S_i 之间的形状修正后的形状即修正传感器间

要素（步骤 S117）。如上所述，即使在运动状态下，也能够检测对检测线形形状 71 进行形状修正后的修正形状 75。

[0240] （其他变形例）

[0241] 另外，在上述实施方式中，通过传感器位置校正部 55、155 进行了修正对象链 T_j 的前端侧的传感器单元 S_j 的位置校正，但例如除了位置校正以外，还可以进行传感器单元 S_j 的姿态校正。即，传感器位置校正部 55、155 只要是对修正对象链 T_j 的前端侧的传感器单元 S_j 的至少位置进行校正的传感器状态校正部即可。此时，还通过传感器位置估计部 61、161，使用粒子滤波器进行传感器单元 S_j 的姿态估计。即，传感器位置估计部 61、161 是使用粒子滤波器对传感器单元 S_j 的至少位置进行估计的传感器状态估计部。此外，传感器位置观测部 69、169 是观测传感器单元 S_j 的至少位置的传感器状态观测部。例如，在进行传感器单元 S_k 的姿态估计的情况下，除了式 (17.1) ~ 式 (17.3) 所示的全局坐标系中的位置以外，通过粒子散布部 63 散布的各个粒子 72 具有姿态。这里，将通过式 (7)、式 (8)、式 (12)（或式 (15)）求出的传感器单元 S_k 的局部坐标系 C_k 的姿态角设为 α_k 、 β_k 、 γ_k ，是传感器单元 S_k 的初始姿态（初始状态），将各个姿态角的误差的方差设为 δ_α 、 δ_β 、 δ_γ 。在第 1 次的估计中，在对通过式 (7)、式 (8)、式 (12)（或式 (15)）求出的传感器单元 S_k 的初始姿态（姿态角 α_k 、 β_k 、 γ_k ）加上了误差的方差 δ_α 、 δ_β 、 δ_γ 后的范围内同样散布粒子 72。即，在将传感器单元 S_k 的第 1 次估计中的各个粒子 72 的姿态角设为 α_{k-1}^a 、 β_{k-1}^a 、 γ_{k-1}^a ($a = 1, 2, \dots, A$) 时，在下式的范围内同样散布各个粒子 72：

[0242] 【数学式 29】

$$[0243] \quad \alpha_k - \delta_\alpha \leq \alpha_{k-1}^a \leq \alpha_k + \delta_\alpha \quad (29.1)$$

$$[0244] \quad \beta_k - \delta_\beta \leq \beta_{k-1}^a \leq \beta_k + \delta_\beta \quad (29.2)$$

$$[0245] \quad \gamma_k - \delta_\gamma \leq \gamma_{k-1}^a \leq \gamma_k + \delta_\gamma \quad (29.3)。$$

[0246] 根据由于噪声等产生的各个传感器单元 S_i 的测量数据的误差的方差，使用式 (1) ~ 式 (15) 求出误差的方差 δ_α 、 δ_β 、 δ_γ 。在第 2 次及以后的估计中，基于上一次估计时的粒子 72 的权重来确定各个粒子 72 的姿态。

[0247] 并且，在上述实施方式中，各个局部坐标系 C_i 是 Y_i 轴方向与传感器单元 S_i 的中心处的长度方向一致的坐标系。但是，在本发明中，只要各个局部坐标系 C_i 是以传感器单元 S_i 的中心为原点并且 X_i 轴、 Y_i 轴、 Z_i 轴中的任意一个轴是轴方向与传感器单元 S_i 的中心处的长度方向一致的长度方向轴的坐标系即可。其中，当 X_i 轴是长度方向轴时，以式 (16.1)、式 (16.2) 代替 $e_{y_{k-1}}$ ，使用

[0248] 【数学式 30】

$$[0249] \quad e_{x_{k-1}} = [1 \ 0 \ 0]^T \quad (30)。$$

[0250] 同样，当 Z_i 轴是长度方向轴时，以式 (16.1)、式 (16.2) 代替 $e_{y_{k-1}}$ ，使用

[0251] 【数学式 31】

$$[0252] \quad e_{z_{k-1}} = [0 \ 0 \ 1]^T \quad (31)。$$

[0253] 这里， $e_{x_{k-1}}$ 是局部坐标系 C_{k-1} 的原点处的长度方向即 X_{k-1} 轴方向的单位向量， $e_{z_{k-1}}$ 是局部坐标系 C_{k-1} 的原点处的长度方向即 Z_{k-1} 轴方向的单位向量。

[0254] 并且，在上述实施方式中，全局坐标系 C 是这样的坐标系：以最靠基端侧的传感器单元 S_0 的中心为原点， Z 轴与铅垂方向一致， X 轴和 Y 轴配置于水平面上。但是，在本发明

中,只要是这样的坐标系即可:X轴、Y轴、Z轴中的任意一个轴是轴方向与铅垂方向一致的铅垂方向轴,铅垂方向轴以外的两个轴是配置于水平面上的水平方向轴。由此,姿态检测部30能够基于由加速度传感器 A_i 测量的重力加速度和由地磁传感器 B_i 测量的地磁,来检测各个传感器单元 S_i 的姿态。其中,在X轴为铅垂方向轴的情况下,式(2)所示的重力加速度向量的全局坐标系C的X轴方向分量、Y轴方向分量、Z轴方向分量为

[0255] 【数学式 32】

$$[0256] \quad \mathbf{a}_{th} = [-g \ 0 \ 0]^T \quad (32)$$

[0257] 此外,在全局坐标系C的X轴方向上没有作用地磁。在第一实施方式中,姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 是按照偏摆角 γ_i 、俯仰角 α_i 、滚转角 β_i 的顺序旋转的(Z,X,Y)型,但在该情况下,改变姿态角 α_i 、 β_i 、 γ_i 的旋转顺序,而使用与式(1)的旋转矩阵不同的旋转矩阵。由此,基于由加速度传感器 A_i 测量的加速度数据,利用第一角度计算部34计算绕水平方向轴即Y轴、Z轴的姿态角 β_i 、 γ_i 。并且,基于由地磁传感器 B_i 测量的地磁数据,利用第二角度计算部36计算绕铅垂方向轴即X轴的姿态角 α_i 。对于Y轴为铅垂方向轴的情况也同样,基于由加速度传感器 A_i 测量的加速度数据,利用第一角度计算部34计算绕水平方向轴即X轴、Z轴的姿态角 α_i 、 γ_i 。并且,基于由地磁传感器 B_i 测量的地磁数据,利用第二角度计算部36计算绕铅垂方向轴即Y轴的姿态角 β_i 。

[0258] 另外,在上述实施方式中,全局坐标系C以最靠基端侧的传感器单元 S_0 的中心为原点,但也可以以最靠前端侧的传感器单元 S_N 的中心为原点。此时,链形成部41使用式(16.1)、式(16.2),求出链 T_j 的前端侧(离全局坐标系C的原点较近的一侧)的传感器单元 S_j 位于全局坐标系C的原点时的、链 T_j 的基端侧(离全局坐标系C的原点较远的一侧)的传感器单元 S_{j-1} 的坐标 $P'_{-j}(I_{xj}, I_{yj}, I_{zj})$ 。进而,通过将全局坐标系C的原点与坐标 $P'_{-j}(I_{xj}, I_{yj}, I_{zj})$ 呈直线状连结,形成链 T_j 。此外,在通过形状修正部50的形状修正顺序实施部51进行链 T_j 的形状修正时,从前端侧(离全局坐标系C的原点较近的一侧)的链 T_j 起依次进行形状修正。此时,传感器位置校正部55对修正对象的链(修正对象链) T_j 的基端侧(离全局坐标系C的原点较远的一侧)的传感器单元(状态校正对象传感器) S_j 的位置进行校正。因此,通过传感器位置观测部61进行预定次数的修正对象的链(修正对象链) T_j 的基端侧(离全局坐标系C的原点较远的一侧)的传感器单元(状态校正对象传感器) S_j 的观测。

[0259] 以上,说明了本发明的实施方式,但本发明不限于上述实施方式,在不脱离本发明主旨的范围内当然能够进行各种变形。

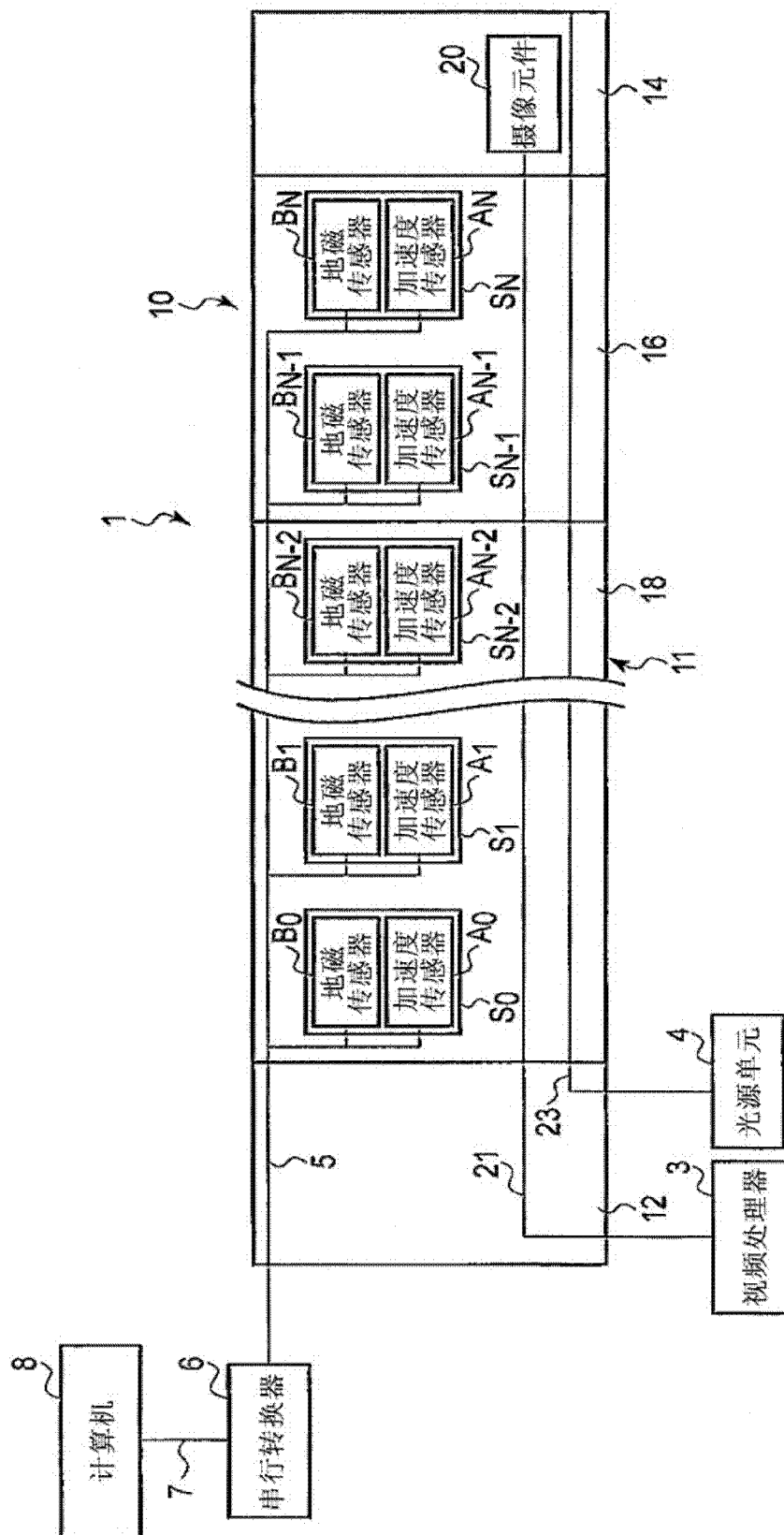


图 1

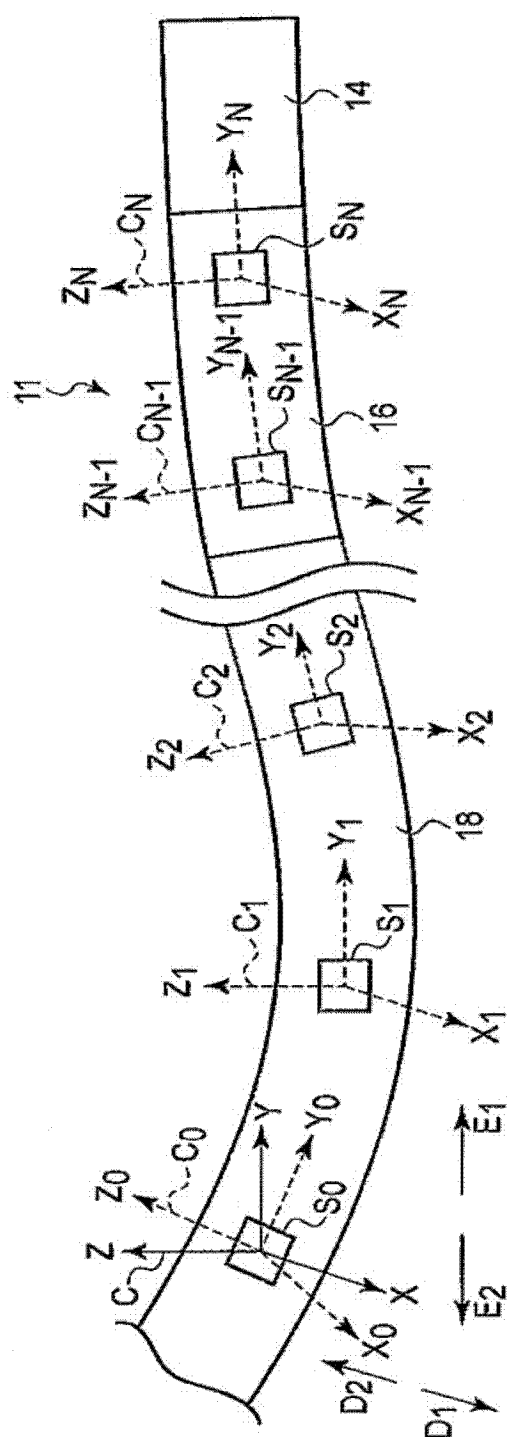


图 2

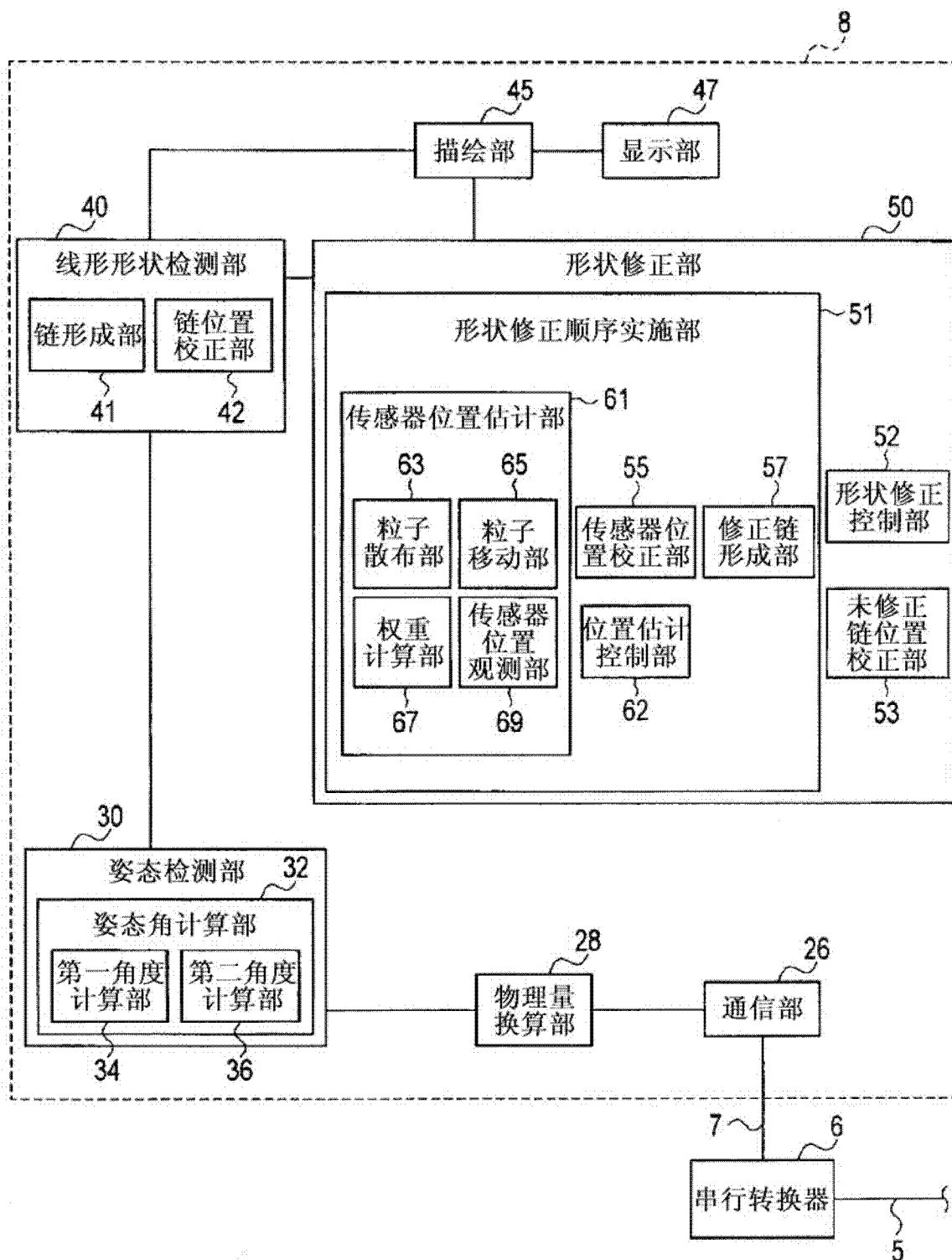


图 3

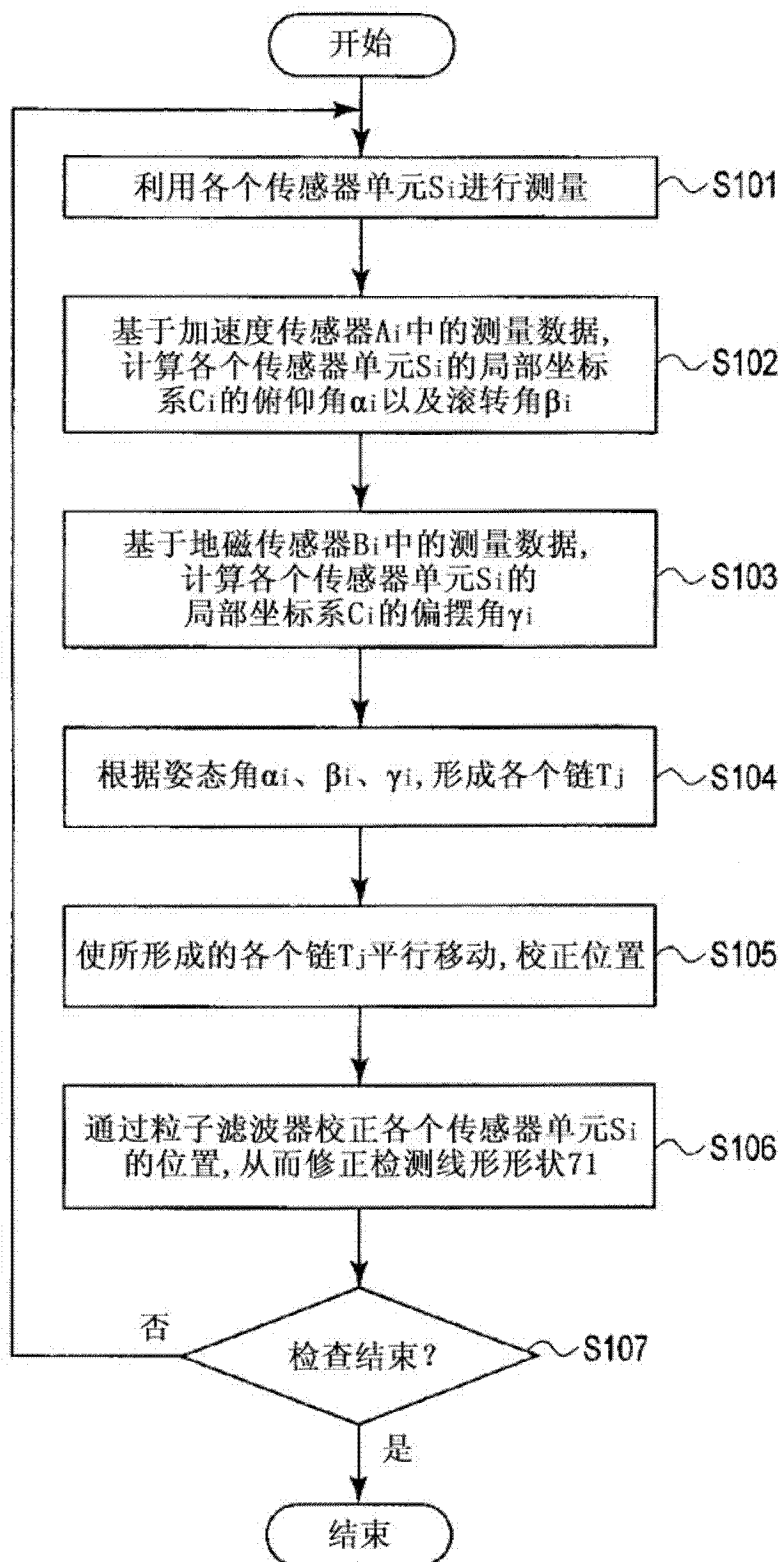


图 4

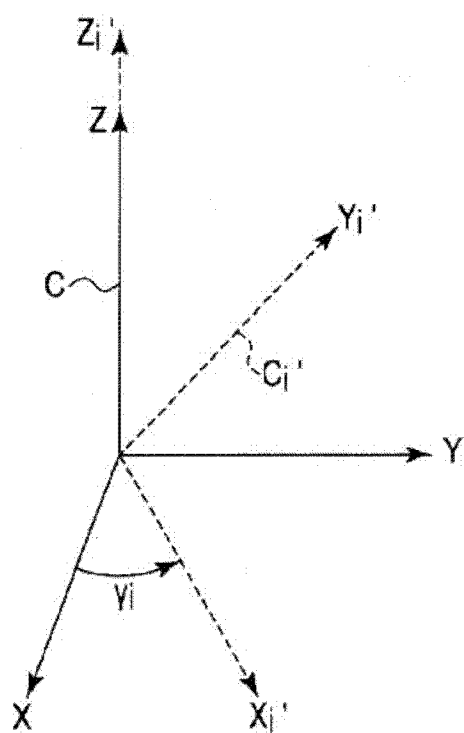


图 5

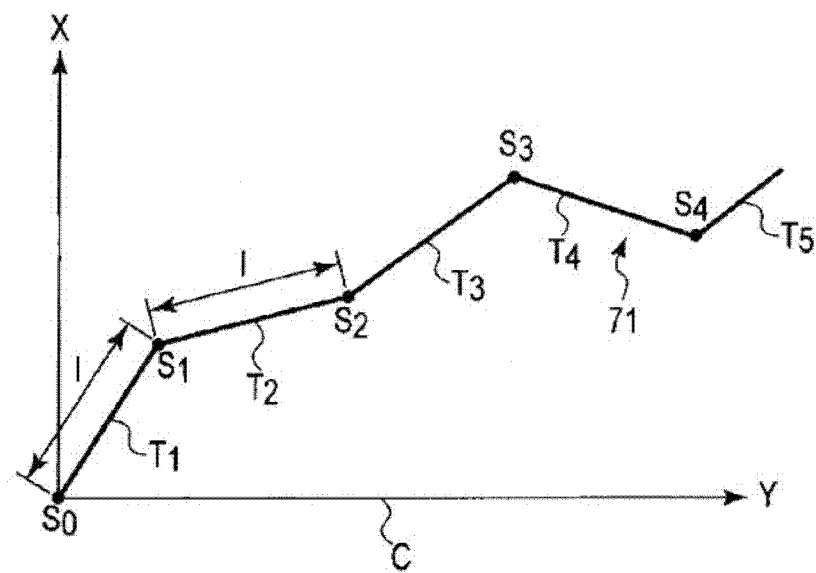


图 6

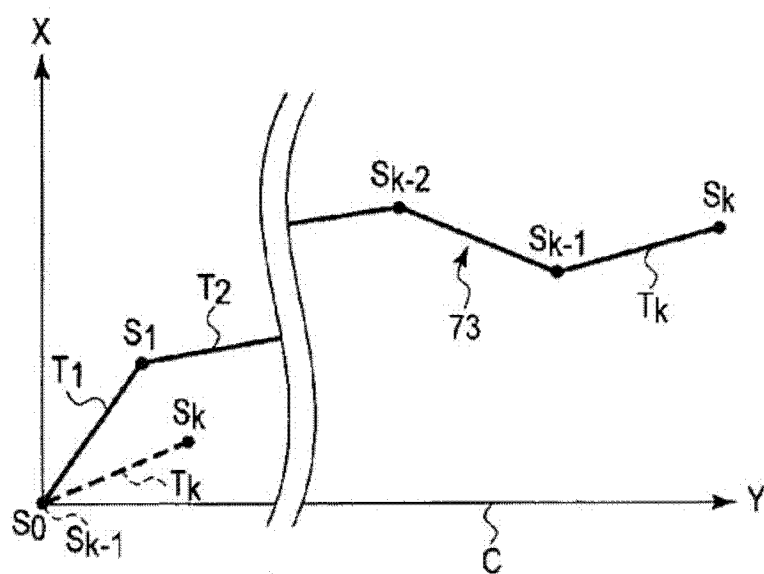


图 7

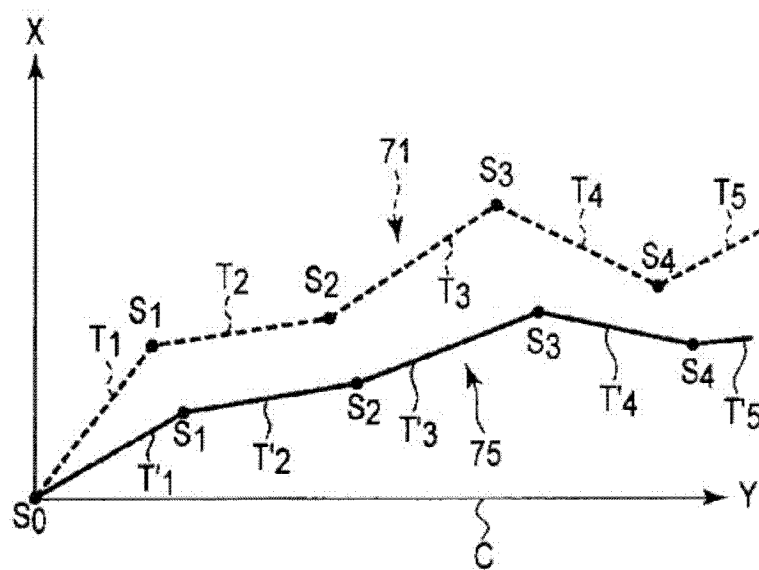


图 8

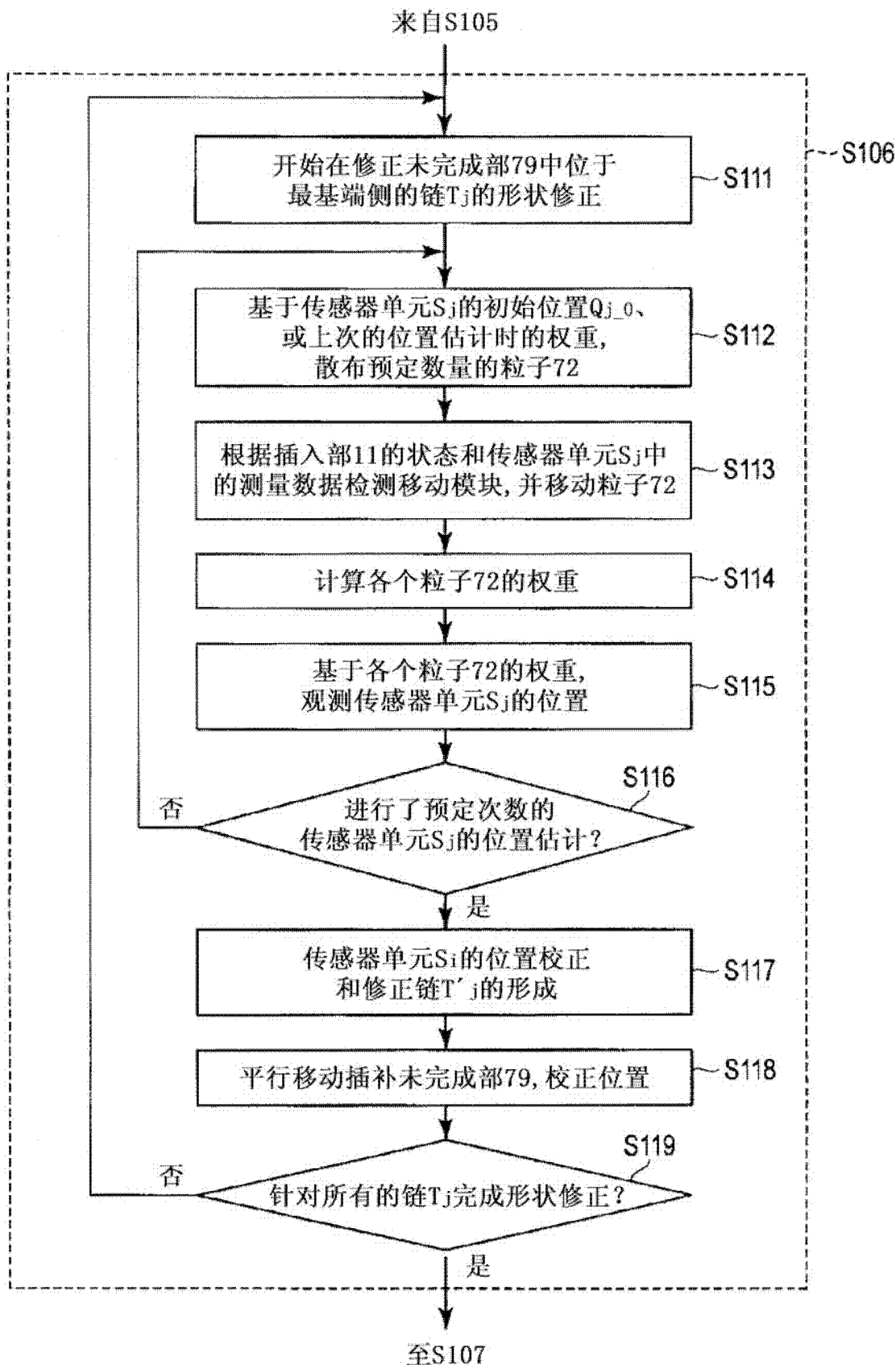


图9

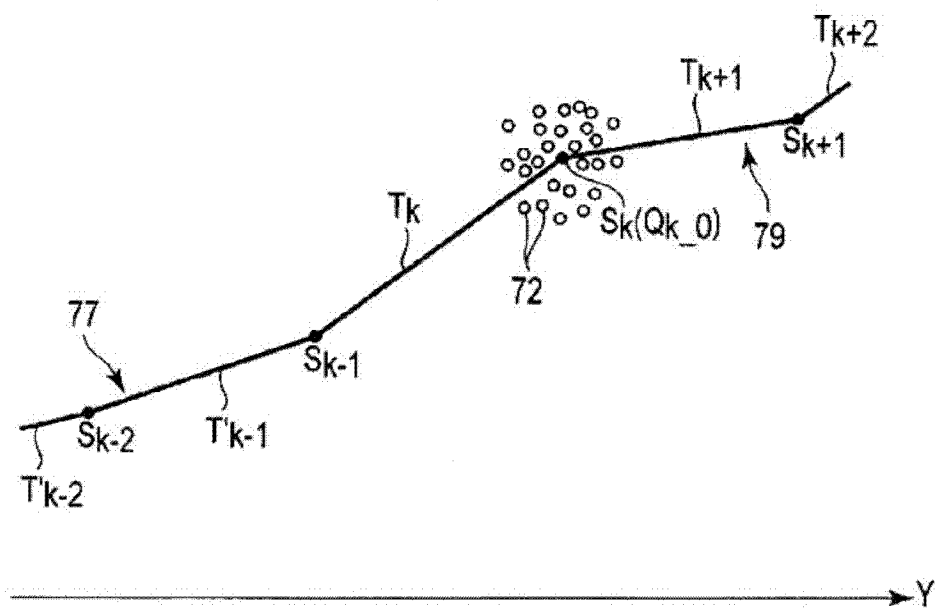


图 10

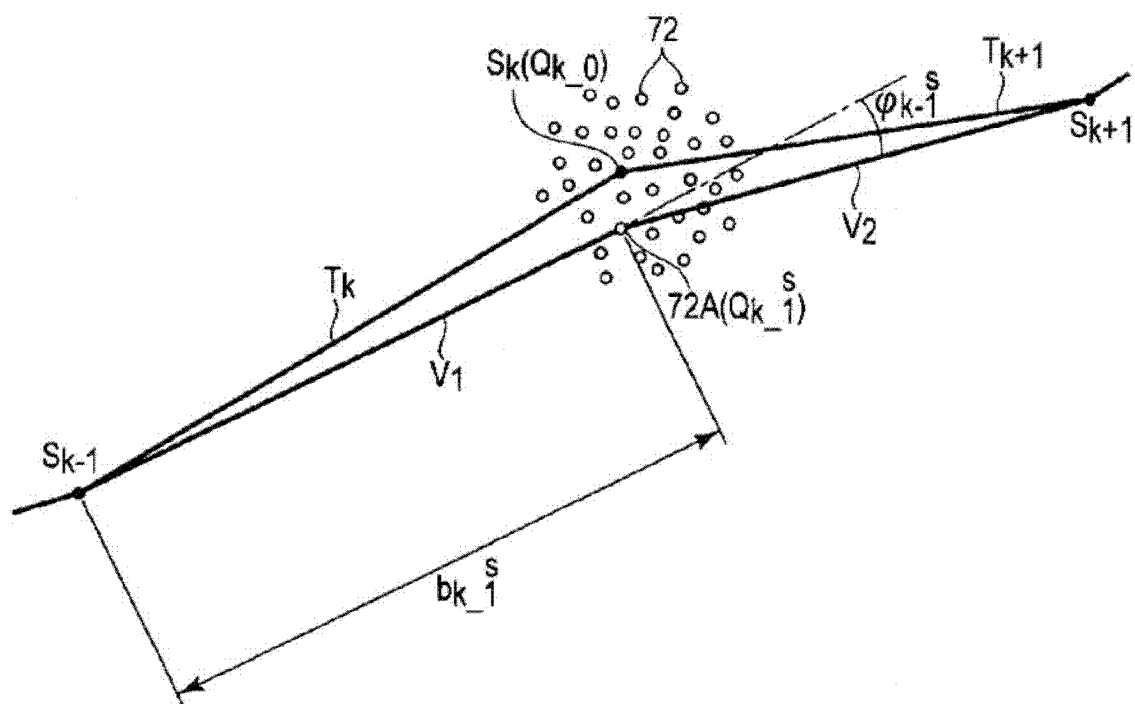


图 11

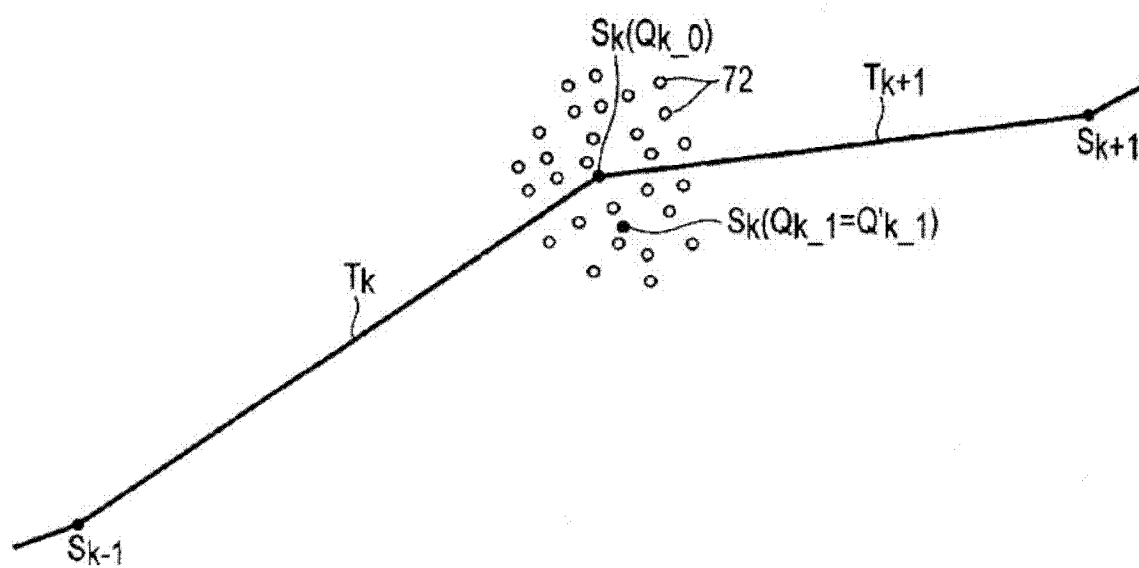


图 12

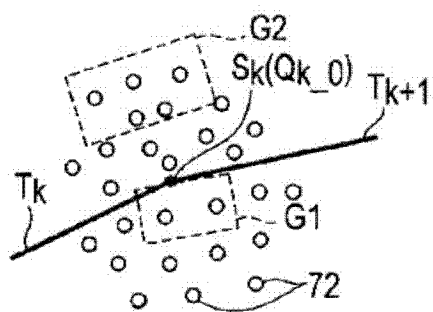


图 13A

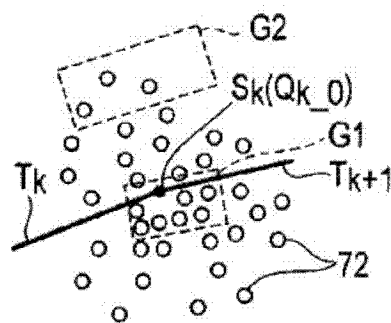


图 13B

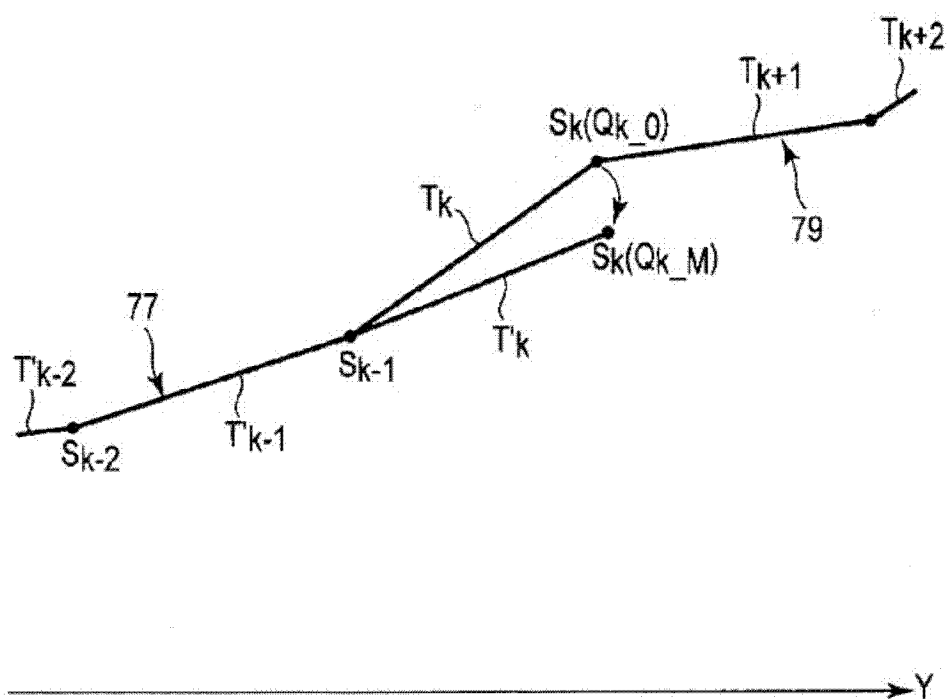


图 14

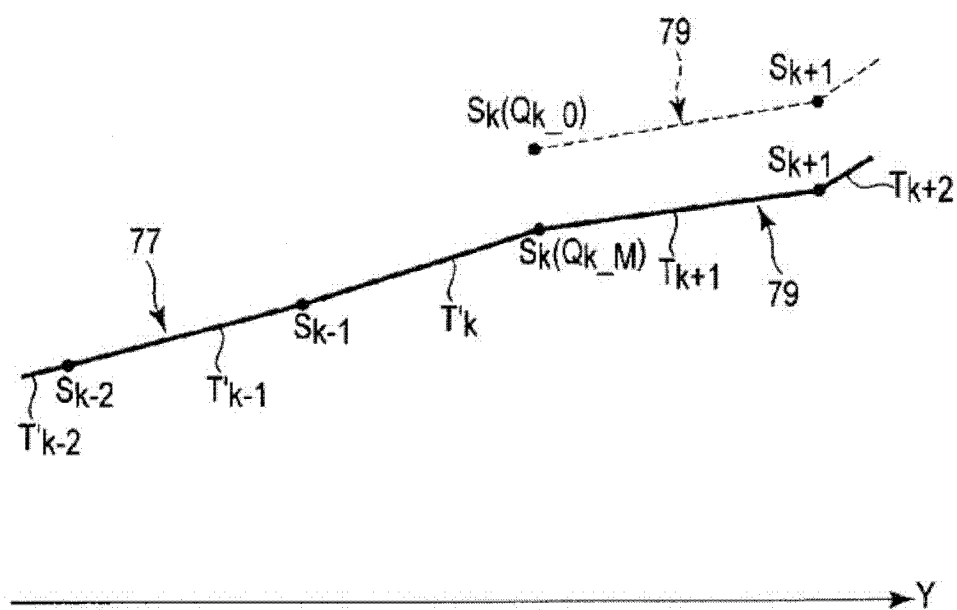


图 15

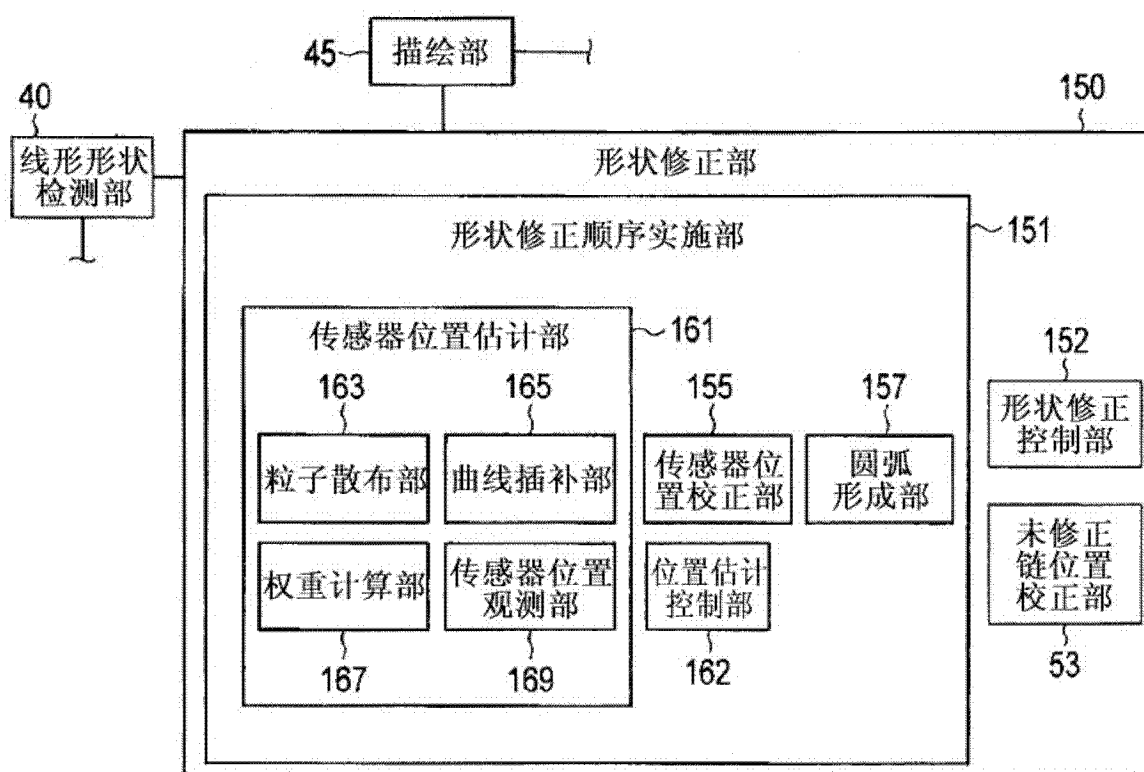


图 16

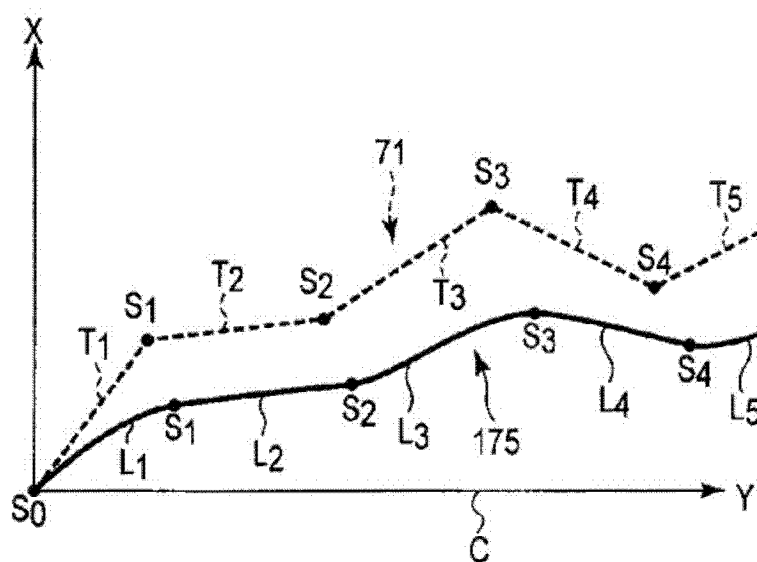


图 17

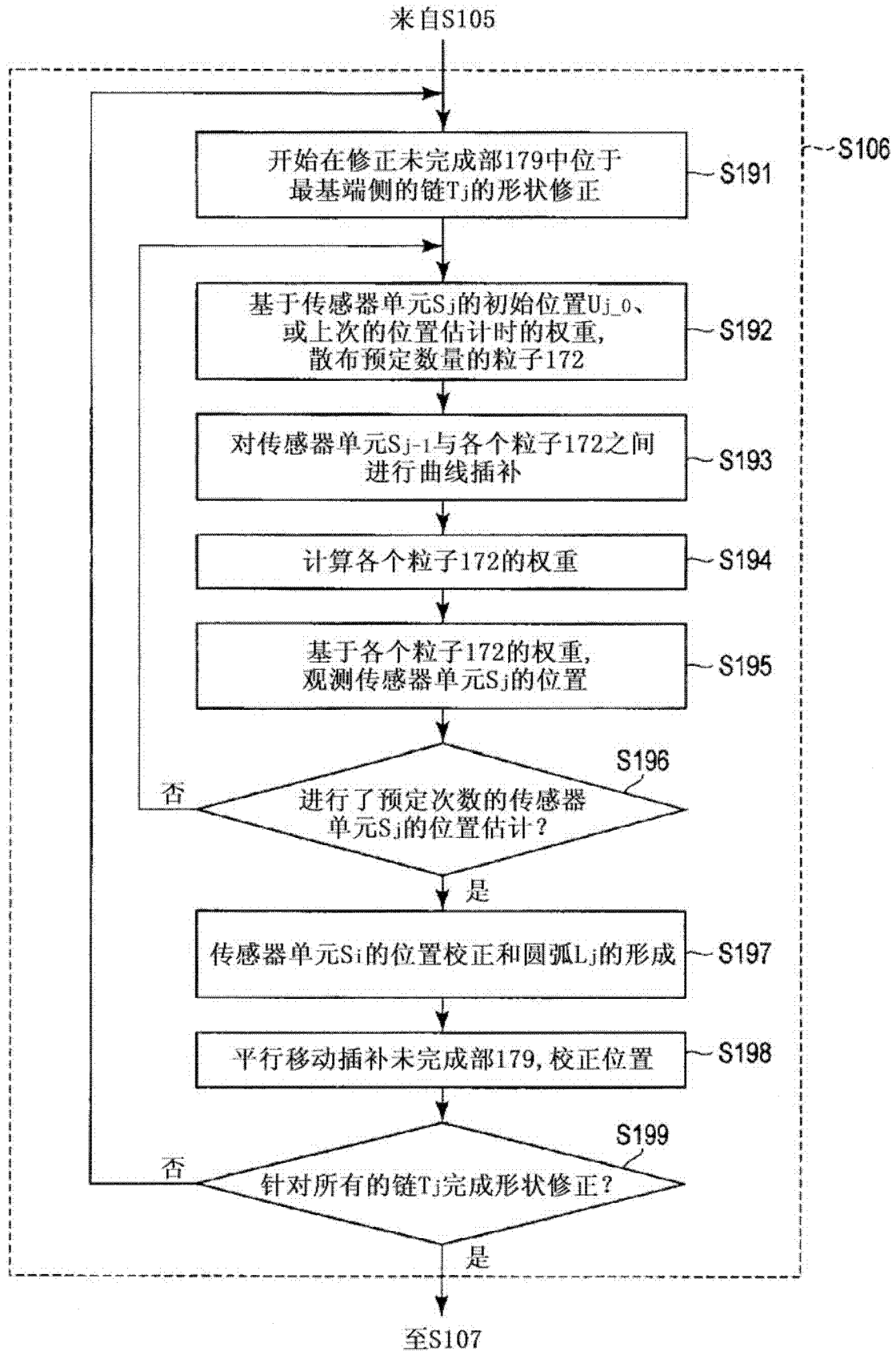


图 18

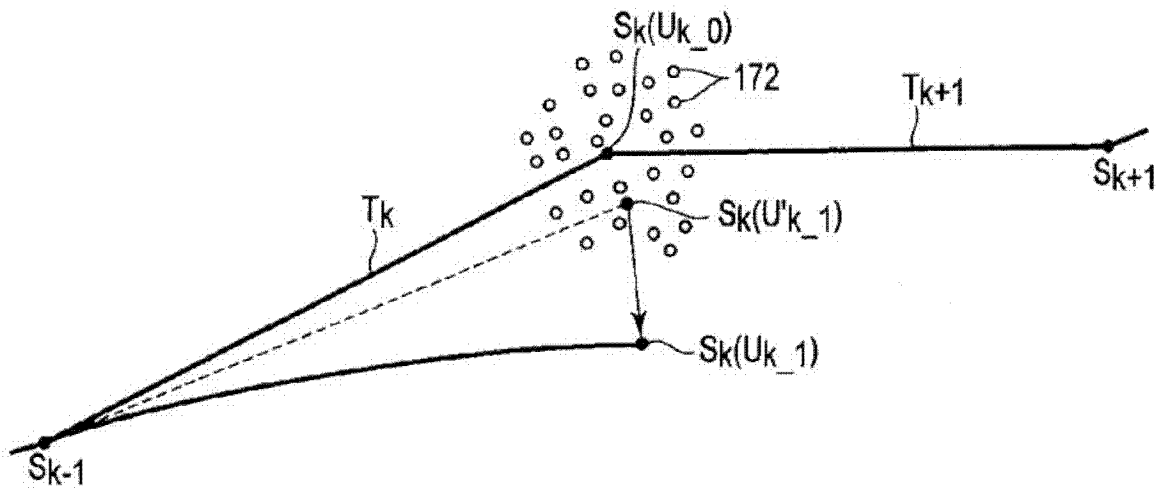


图 21

专利名称(译)	内窥镜形状检测装置及内窥镜的插入部的形状检测方法		
公开(公告)号	CN102573603A	公开(公告)日	2012-07-11
申请号	CN201180003553.7	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)	奥林巴斯医疗株式会社		
当前申请(专利权)人(译)	奥林巴斯医疗株式会社		
[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	A61B1/00147 A61B2562/043 A61B5/067 A61B1/005 A61B5/1077 A61B5/065 A61B5/1076 G06T7/208 A61B5/6852		
代理人(译)	李辉		
优先权	2010125153 2010-05-31 JP		
其他公开文献	CN102573603B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

内窥镜形状检测装置(1)具备：姿态检测部(30)，其基于传感器单元(Si)中的测量数据来检测各个所述传感器单元(Si)的姿态；以及线形形状检测部(40)，其基于由所述姿态检测部(30)检测到的各个所述传感器单元(Si)的姿态，将各个所述传感器单元(Si)之间的形状假定为尺寸与所述传感器间尺寸(l)相等的直线状的链(Tj)，来检测所述内窥镜(10)的所述插入部(11)的检测线形形状(71)。并且，内窥镜形状检测装置(1)具备：形状修正部(50、150)，其使用粒子滤波器对各个所述传感器单元(Si)的至少位置进行校正，检测对由所述线形形状检测部(40)检测到的所述检测线形形状(71)进行修正后的修正形状(75、175)。

