



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102487602 A

(43) 申请公布日 2012.06.06

(21) 申请号 201180003551.8

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

(22) 申请日 2011.06.15

代理人 李辉 于靖帅

(30) 优先权数据

2010-191350 2010.08.27 JP

(51) Int. Cl.

A61B 1/00 (2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012.02.27

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2011/063736 2011.06.15

(87) PCT申请的公布数据

W02012/026184 JA 2012.03.01

(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

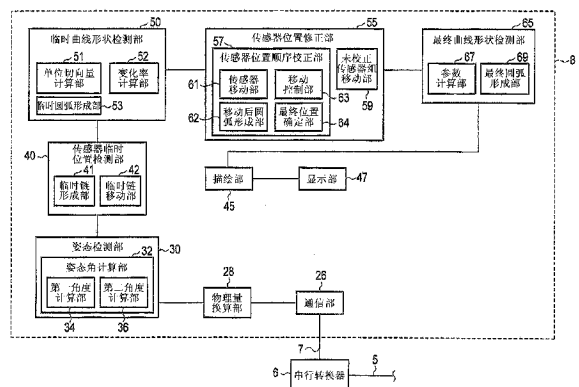
权利要求书 4 页 说明书 27 页 附图 15 页

(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具备:传感器临时位置检测部,其基于各个传感器单元的姿态,将各个所述传感器单元之间假定为尺寸与传感器间尺寸相等的直线状的临时链,来检测各个所述传感器单元的临时位置;以及临时曲线形状检测部,其基于各个所述传感器单元的所述临时位置,用临时圆弧对各个所述传感器单元的所述临时位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的临时曲线形状进行检测。内窥镜形状检测装置具备:传感器位置修正部,其基于各个所述临时圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值,将各个所述传感器单元的位置从所述临时位置修正到最终位置;以及最终曲线形状检测部,其用最终圆弧对各个所述传感器单元的所述最终位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的最终曲线形状进行检测。



1. 一种内窥镜形状检测装置,其具备:

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的测量数据来检测各个所述传感器单元的姿态;

传感器临时位置检测部,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假定为尺寸与所述传感器间尺寸相等的直线状的临时链,来检测各个所述传感器单元的临时位置;

临时曲线形状检测部,其基于由所述传感器临时位置检测部检测到的各个所述传感器单元的所述临时位置,用临时圆弧对各个所述传感器单元的所述临时位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的临时曲线形状进行检测;

传感器位置修正部,其基于由所述临时曲线形状检测部检测到的所述临时曲线形状的各个所述临时圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值,将各个所述传感器单元的位置从所述临时位置修正到最终位置;以及

最终曲线形状检测部,其用最终圆弧对各个所述传感器单元的所述最终位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的最终曲线形状进行检测。

2. 根据权利要求 1 所述的内窥镜形状检测装置,其中,

所述临时曲线形状检测部具备:

单位切向量计算部,其计算各个所述传感器单元的所述临时位置处的单位切向量;

变化率计算部,其基于由所述单位切向量计算部计算出的各个所述单位切向量,计算各个所述传感器单元的所述临时位置之间的所述单位切向量的变化率;以及

临时圆弧形成部,其基于由所述单位切向量计算部计算出的各个所述单位切向量和由所述变化率计算部计算出的各个所述变化率,形成各个所述传感器单元的所述临时位置之间的所述临时圆弧。

3. 根据权利要求 1 所述的内窥镜形状检测装置,其中,

所述传感器位置修正部具备:

传感器位置顺序校正部,其在以最靠基端侧或最靠前端侧的所述传感器单元的中心为原点的全局坐标系中,从离所述全局坐标系的所述原点较近一侧的所述传感器单元起依次进行位置校正,将各个所述传感器单元的位置从位置校正前的校正前位置校正到所述最终位置;以及

未校正传感器组移动部,其每当所述传感器位置顺序校正部进行一个所述传感器单元的位置校正时,使未完成位置校正的所述传感器单元即未校正传感器组平行移动在刚刚的位置校正中作为校正对象的所述传感器单元即刚刚校正对象传感器的从所述校正前位置到所述最终位置的校正量。

4. 根据权利要求 3 所述的内窥镜形状检测装置,其中,

所述传感器位置顺序校正部具备:

传感器移动部,其使作为位置校正的对象的校正对象传感器从所述校正前位置移动一次以上,利用一次移动使所述校正对象传感器从移动前位置移动到移动后位置;以及

移动后圆弧形成部,其每当所述传感器移动部进行一次所述校正对象传感器的移动时,对相对于所述校正对象传感器相邻设置于离所述全局坐标系的所述原点较近一侧的所

述传感器单元即近位侧相邻设置传感器的所述最终位置与所述校正对象传感器的所述移动后位置之间进行曲线插补,形成移动后圆弧。

5. 根据权利要求 4 所述的内窥镜形状检测装置,其中,

所述传感器位置顺序校正部具备:

移动控制部,其将所述传感器移动部控制成重复进行所述校正对象传感器的从所述移动前位置向所述移动后位置的移动的状态,直到通过所述移动后圆弧形成部形成的所述移动后圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值为预定阈值以下为止;以及

最终位置确定部,其将所述传感器移动部的最终一次移动的所述移动后位置确定为所述校正对象传感器的所述最终位置。

6. 根据权利要求 4 所述的内窥镜形状检测装置,其中,

所述传感器位置顺序校正部具备:

移动控制部,其将所述传感器移动部控制成重复进行预定次数的所述校正对象传感器的移动的状态,该移动使得所述移动后圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值比所述近位侧相邻设置传感器的所述最终位置与所述校正对象传感器的所述移动前位置之间进行曲线插补而形成的移动前圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值小;以及

最终位置确定部,其将所述传感器移动部的最终一次移动的所述移动后位置确定为所述校正对象传感器的所述最终位置。

7. 根据权利要求 1 所述的内窥镜形状检测装置,其中,

所述最终曲线形状检测部具备:

参数计算部,其基于各个所述传感器单元的所述最终位置,计算各个所述最终圆弧的参数;以及

最终圆弧形成部,其基于由所述参数计算部计算出的所述参数,通过使用了四元数和参变量的插补函数,相对于所述参变量的变化以等角速度对各个所述传感器单元的所述最终位置之间进行曲线插补,形成所述最终圆弧。

8. 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假定为尺寸与所述传感器间尺寸相等的直线状的临时链,来检测各个所述传感器单元的临时位置;

基于检测到的各个所述传感器单元的所述临时位置,用临时圆弧对各个所述传感器单元的所述临时位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的临时曲线形状进行检测;

基于检测到的所述临时曲线形状的各个所述临时圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值,将各个所述传感器单元的位置从所述临时位置修正到最终位置;以及

用最终圆弧对各个所述传感器单元的所述最终位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的最终曲线形状进行检测。

9. 根据权利要求 8 所述的内窥镜的插入部的形状检测方法,其中,

检测所述临时曲线形状的步骤包括如下步骤:

计算各个所述传感器单元的所述临时位置处的单位切向量；

基于计算出的各个所述单位切向量，计算各个所述传感器单元的所述临时位置之间的所述单位切向量的变化率；以及

基于计算出的各个所述单位切向量和各个所述变化率，形成各个所述传感器单元的所述临时位置之间的所述临时圆弧。

10. 根据权利要求 8 所述的内窥镜的插入部的形状检测方法，其中，

将各个所述传感器单元的位置从所述临时位置修正到所述最终位置的步骤包括如下步骤：

在以最靠基端侧或最靠前端侧的所述传感器单元的中心为原点的全局坐标系中，从离所述全局坐标系的所述原点较近一侧的所述传感器单元起依次进行位置校正，将各个所述传感器单元的位置从位置校正前的校正前位置校正到所述最终位置；以及

每当进行一个所述传感器单元的位置校正时，使未完成位置校正的所述传感器单元即未校正传感器组平行移动在刚刚的位置校正中作为校正对象的所述传感器单元即刚刚校正对象传感器的从所述校正前位置到所述最终位置的校正量。

11. 根据权利要求 10 所述的内窥镜的插入部的形状检测方法，其中，

从离所述全局坐标系的所述原点较近一侧的所述传感器单元起依次进行各个所述传感器单元的位置校正的步骤包括如下步骤：

使作为位置校正的对象的校正对象传感器从所述校正前位置移动一次以上，利用一次移动使所述校正对象传感器从移动前位置移动到移动后位置；以及

每当进行一次所述校正对象传感器的移动时，对相对于所述校正对象传感器相邻设置于离所述全局坐标系的所述原点较近一侧的所述传感器单元即近位侧相邻设置传感器的所述最终位置与所述校正对象传感器的所述移动后位置之间进行曲线插补，形成移动后圆弧。

12. 根据权利要求 11 所述的内窥镜的插入部的形状检测方法，其中，

从离所述全局坐标系的所述原点较近一侧的所述传感器单元起依次进行各个所述传感器单元的位置校正的步骤包括如下步骤：

重复进行所述校正对象传感器的从所述移动前位置向所述移动后位置的移动，直到所形成的所述移动后圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值为预定阈值以下为止；以及

将最终一次移动的所述移动后位置确定为所述校正对象传感器的所述最终位置。

13. 根据权利要求 11 所述的内窥镜的插入部的形状检测方法，其中，

从离所述全局坐标系的所述原点较近一侧的所述传感器单元起依次进行各个所述传感器单元的位置校正的步骤包括如下步骤：

重复进行预定次数的所述校正对象传感器的移动，该移动使得所述移动后圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值比所述近位侧相邻设置传感器的所述最终位置与所述校正对象传感器的所述移动前位置之间进行曲线插补而形成的移动前圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值小；以及

将最终一次移动的所述移动后位置确定为所述校正对象传感器的所述最终位置。

14. 根据权利要求 8 所述的内窥镜的插入部的形状检测方法，其中，

检测所述插入部的最终曲线形状的步骤包括如下步骤：

基于各个所述传感器单元的所述最终位置，计算各个所述最终圆弧的参数；以及

基于计算出的所述参数，通过使用了四元数和参变量的插补函数，相对于所述参变量的变化以等角速度对各个所述传感器单元的所述最终位置之间进行曲线插补，形成所述最终圆弧。

## 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)的内窥镜形状检测装置。在该内窥镜形状检测装置中,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 中公开了如下的内窥镜形状检测装置:根据交流磁场检测配置在内窥镜的插入部中的各个线圈的位置,对检测到的各个线圈的位置之间进行曲线插补。在该内窥镜形状检测装置中,通过用贝塞尔曲线或样条曲线连结检测到的各个线圈的位置来进行曲线插补。通过进行曲线插补检测内窥镜的插入部的曲线形状。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 【专利文献 1】日本特开 2000-175862 号公报

[0007] 【专利文献 2】日本特开 2007-130175 号公报

### 发明内容

[0008] 发明所要解决的课题

[0009] 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。

[0010] 在上述专利文献 2 的内窥镜形状检测装置中,通过用贝塞尔曲线或样条曲线连结检测到的各个线圈的位置来进行曲线插补。但是,在该内窥镜形状检测装置中,没有考虑各个线圈之间的长度方向的尺寸即线圈间尺寸进行曲线插补。因此,不能以高精度检测插入到体腔内的插入部的形状。

[0011] 例如还考虑以下情况:在用样条曲线对检测到的各个线圈的位置进行连结,并检测插入部的临时形状后,根据线圈间尺寸,依次修正检测到的各个线圈的位置。此时,每当进行一个线圈的位置修正时,用样条曲线连结位置修正后的线圈的位置,检测对线圈位置修正前的插入部的检测形状进行了修正的线圈位置修正后的插入部的修正形状。即,每当进行一个线圈的位置修正时,修正插入部的曲线形状整体。此处,线圈间尺寸是线圈与线圈之间的长度方向的尺寸,是插入部的局部参数。即,线圈间尺寸是对插入部的形状产生局部影响的参数,不是对插入部整体的形状产生影响的参数。因此,在通过一个线圈的位置修正对插入部的曲线形状整体进行修正,而不是通过一个线圈的位置修正在位置修正后的线圈附近对传感器位置修正前的插入部的检测形状进行局部修正的结构中,不能以高精度进行

插入部的曲线形状的修正。因此,最终不能以高精度检测插入部的曲线形状。此外,由于通过一个线圈的位置修正对插入部的整体形状进行修正,因此根据样条曲线等的种类而使处理变复杂。

[0012] 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,而装置的结构不会大型化、复杂化,并且处理不会复杂化。

[0013] 用于解决课题的手段

[0014] 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的测量数据来检测各个所述传感器单元的姿态;传感器临时位置检测部,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假定为尺寸与所述传感器间尺寸相等的直线状的临时链,来检测各个所述传感器单元的临时位置;临时曲线形状检测部,其基于由所述传感器临时位置检测部检测到的各个所述传感器单元的所述临时位置,用临时圆弧对各个所述传感器单元的所述临时位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的临时曲线形状进行检测;传感器位置修正部,其基于由所述临时曲线形状检测部检测到的所述临时曲线形状的各个所述临时圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值,将各个所述传感器单元的位置从所述临时位置修正到最终位置;以及最终曲线形状检测部,其用最终圆弧对各个所述传感器单元的所述最终位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的最终曲线形状进行检测。

[0015] 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假定为尺寸与所述传感器间尺寸相等的直线状的临时链,来检测各个所述传感器单元的临时位置;基于检测到的各个所述传感器单元的所述临时位置,用临时圆弧对各个所述传感器单元的所述临时位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的临时曲线形状进行检测;基于检测到的所述临时曲线形状的各个所述临时圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值,将各个所述传感器单元的位置从所述临时位置修正到最终位置;以及用最终圆弧对各个所述传感器单元的所述最终位置之间进行曲线插补,并对所述插入部的最终曲线形状进行检测。

[0016] 发明效果

[0017] 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,并且处理不会复杂化。

## 附图说明

[0018] 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。

[0019] 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。

[0020] 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的框图。

[0021] 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。

[0022] 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。

[0023] 图 6 是示出利用第一实施方式的内窥镜形状检测装置的传感器临时位置检测部检测的各个传感器单元的临时位置的示意图。

[0024] 图 7 是说明第一实施方式的传感器临时位置检测部的临时链移动部中的处理的示意图。

[0025] 图 8 是示出利用第一实施方式的内窥镜形状检测装置的临时曲线形状检测部检测到的内窥镜的插入部的临时曲线形状的示意图。

[0026] 图 9 是示出第一实施方式的利用临时曲线形状检测部检测临时曲线形状的方法的流程图。

[0027] 图 10 是说明第一实施方式的临时曲线形状检测部中的处理的示意图。

[0028] 图 11 是示出利用第一实施方式的内窥镜形状检测装置的传感器位置修正部修正后的各个传感器单元的最终位置的示意图。

[0029] 图 12 是示出第一实施方式的利用传感器位置修正部修正各个传感器单元的位置的方法的流程图。

[0030] 图 13 是说明第一实施方式的传感器位置修正部的传感器位置顺序校正部的处理的示意图。

[0031] 图 14 是说明第一实施方式的传感器位置顺序校正部的传感器移动部以及移动后圆弧形成部中的处理的示意图。

[0032] 图 15 是说明第一实施方式的传感器位置修正部的未校正传感器组移动部中的处理的示意图。

[0033] 图 16 是示出利用第一实施方式的内窥镜形状检测装置的最终曲线形状检测部检测到的内窥镜的插入部的最终曲线形状的示意图。

[0034] 图 17 是示出第一实施方式的利用最终曲线形状检测部检测最终曲线形状的方法的流程图。

[0035] 图 18 是说明第一实施方式的最终曲线形状检测部中的处理的示意图。

[0036] 图 19 是示出本发明的第二实施方式的利用内窥镜形状检测装置的传感器位置修正部修正各个传感器单元的位置的方法的流程图。

## 具体实施方式

[0037] (第 1 实施方式)

[0038] 参照图 1 至图 18 说明本发明的第一实施方式。

[0039] 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。

[0040] 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。

[0041] 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。

[0042] 插入部 11 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。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  $B_i$ 。

[0043] 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。

[0044] 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  $C$  的  $X$  轴方向为磁北方向。

[0045] 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  $\alpha_i$ 、绕  $Y$  轴旋转  $\beta_i$ 、绕  $Z$  轴旋转  $\gamma_i$ ,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  $\alpha_i$  称为俯仰角,将  $\beta_i$  称为滚转角,将  $\gamma_i$  称为偏摆角,将俯仰角  $\alpha_i$ 、滚转角  $\beta_i$ 、偏摆角  $\gamma_i$  这三个角统称为姿态角。姿态角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  分别以从  $X$  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  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  的值,检测传感器单元  $S_i$  的姿态。

[0046] 如图 1 所示,各个传感器单元  $S_i$  的加速度传感器  $A_i$  和地磁传感器  $B_i$  与 I2C 等串行总线 5 连接。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。

[0047] 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。

[0048] 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  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ 。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  $\alpha_i$ 、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  $\beta_i$ 。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  $\gamma_i$ 。

[0049] 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  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ 。

[0050] 在计算姿态角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  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  $\alpha_i$  以及滚转角  $\beta_i$ (步骤 S102)。这里,姿态角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  是按照偏摆角  $\gamma_i$ 、俯仰角  $\alpha_i$ 、滚转角  $\beta_i$  的顺序旋转的 (Z, X, Y) 型。因此,从局部坐标系  $C_i$  向全局坐标系  $C$  的旋转矩阵为

[0051] 【数学式 1】

$$[0052] \quad C_{E_i}^C = R_{Z_i} R_{X_i} R_{Y_i} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i & 0 \\ \sin\gamma_i & \cos\gamma_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix}$$

$$[0053] \quad = \begin{bmatrix} -\sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & \sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \cos\gamma_i \\ \cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \sin\gamma_i & \cos\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & -\cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \sin\gamma_i \\ -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0054] 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

[0055] 【数学式 2】

$$[0056] \quad \dot{a}_{th} = [0 \quad 0 \quad -g]^T \quad (2)$$

[0057] 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

[0058] 【数学式 3】

$$[0059] \quad \dot{a}_{obsi} = [a_{Bi\_X} \quad a_{Bi\_Y} \quad a_{Bi\_Z}]^T \quad (3)$$

[0060] 这里,局部坐标系  $C_i$  是使全局坐标系  $C$  依次旋转偏摆角  $\gamma_i$ 、俯仰角  $\alpha_i$ 、滚转角  $\beta_i$  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

[0061] 【数学式 4】

$$[0062] \quad \dot{a}_{obsi} = \begin{pmatrix} C_{Bi}^G \end{pmatrix}^T \dot{a}_{th} = -g \begin{bmatrix} -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i \\ \sin\alpha_i \\ \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} (4.1) \\ (4.2) \\ (4.3) \end{matrix}$$

[0063] 这里,若对式 (4.1) 的平方和式 (4.3) 的平方进行相加,则为

[0064] 【数学式 5】

$$[0065] \quad a_{Bi\_X}^2 + a_{Bi\_Z}^2 = g^2 \cos^2 \alpha_i (\sin^2 \beta_i + \cos^2 \beta_i) \quad (5),$$

[0066] 得到

[0067] 【数学式 6】

$$[0068] \quad g \cos\alpha_i = \sqrt{a_{Bi\_X}^2 + a_{Bi\_Z}^2} \quad (6)$$

[0069] 进而,通过式 (4.2) 除以式 (6),成为

[0070] 【数学式 7】

$$[0071] \quad \alpha_i = \tan^{-1} \left( \frac{-a_{Bi\_Y}}{\sqrt{a_{Bi\_X}^2 + a_{Bi\_Z}^2}} \right) \quad (7)$$

[0072] 求出局部坐标系  $C_i$  的俯仰角  $\alpha_i$ 。并且,通过式 (4.1) 除以式 (4.3),成为

[0073] 【数学式 8】

$$[0074] \quad \beta_i = \tan^{-1} \left( \frac{-a_{Bi\_X}}{a_{Bi\_Z}} \right) \quad (8)$$

[0075] 求出局部坐标系  $C_i$  的滚转角  $\beta_i$ 。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  $\alpha_i$  及滚转角  $\beta_i$ 。

[0076] 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  $\gamma_i$  (步骤 S103)。这里,使用在步骤 S102 中计算出的俯仰角  $\alpha_i$  和滚转角  $\beta_i$ ,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,进行了 X 轴及 Y 轴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  $\gamma_i$  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  $\gamma_i$  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。在本实施方式中,全局坐标系 C 的 X 轴方向与磁北方向一致。因此, $X'_i$  轴方向成为从磁北方向绕 Z 轴旋转偏摆角  $\gamma_i$  后的方向。

[0077] 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

[0078] 【数学式 9】

$$[0079] \quad \dot{m}_{obsi} = [M_{Xi} \quad M_{Yi} \quad M_{Zi}]^T \quad (9)$$

[0080] 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

[0081] 【数学式 10】

$$[0082] \quad \dot{m}_{obsi}' = R_{xi} R_{yi} \dot{m}_{obsi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{Xi} \\ M_{Yi} \\ M_{Zi} \end{bmatrix}$$

$$[0083] \quad = \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ \sin\alpha_i \sin\beta_i & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \cos\beta_i \\ -\cos\alpha_i \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cos\beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{Xi} \\ M_{Yi} \\ M_{Zi} \end{bmatrix} \quad (10.1)$$

$$[0084] \quad \dot{m}_{obsi}' = [M_{Xi}' \quad M_{Yi}' \quad M_{Zi}']^T \quad (10.2)$$

[0085] 从式 (10.1)、式 (10.2) 得到

[0086] 【数学式 11】

$$[0087] \quad M_{Xi}' = M_{Xi} \cos\beta_i + M_{Zi} \sin\beta_i \quad (11.1)$$

$$[0088] \quad M_{Yi}' = M_{Yi} \cos\alpha_i + \sin\alpha_i (M_{Xi} \sin\beta_i - M_{Zi} \cos\beta_i) \quad (11.2)$$

[0089] 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) 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  $\theta_i$ 。即,成为

[0090] 【数学式 12】

$$[0091] \quad \theta_i = \tan^{-1}(M_{Yi}' / M_{Xi}') \quad (12)$$

[0092] 角度  $\theta_i$  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  $\gamma_i$  后的坐标系。因此,利用式 (12) 求得的角度  $\theta_i$  成为以全局坐标系 C 为基准的局部坐标系  $C_i$  的偏摆角  $\gamma_i$ 。

[0093] 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  $\gamma_i$ 。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

[0094] 【数学式 13】

$$[0095] \quad \mathbf{m}_{th} = [M_x \quad M_y \quad M_z]^T \quad (13)$$

[0096] 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  $\theta$ 。即,成为

[0097] 【数学式 14】

$$[0098] \quad \theta = \tan^{-1}(M_y/M_x) \quad (14)。$$

[0099] 这里,角度  $\theta$  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  $\gamma_i$  后的坐标系。因此,根据式 (12)、式 (14),成为

[0100] 【数学式 15】

$$[0101] \quad \gamma_i = \theta - \theta_i \quad (15),$$

[0102] 求出以全局坐标系 C 为基准的局部坐标系  $C_i$  的偏摆角  $\gamma_i$ 。

[0103] 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  $\gamma_i$ 。姿态检测部 30 基于计算出的姿态角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  的值,对各个传感器单元  $S_i$  的姿态进行检测。

[0104] 如图 3 所示,在姿态检测部 30 上连接着传感器临时位置检测部 40。图 6 是从全局坐标系 C 的 Z 轴的负方向朝向正方向观察利用传感器临时位置检测部 40 检测的各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  时的图。如图 6 所示,传感器临时位置检测部 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  $l$  相等的直线状的临时链  $T_{0,j}$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ),来检测各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$ 。这里,从基端侧起第  $k$  个临时链  $T_{0,k}$  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  $S_k$  之间的临时链  $T_{0,k}$ 。传感器临时位置检测部 40 具备:形成各个临时链  $T_{0,j}$  的临时链形成部 41;以及临时链移动部 42,其使临时链形成部 41 所形成的各个临时链  $T_{0,j}$  平行移动。通过临时链移动部 42,各个临时链  $T_{0,j}$  平行移动成与邻接的临时链  $T_{0,j-1}$ 、 $T_{0,j+1}$  的临时链边界连续的状态。由此,形成将各个传感器单元  $S_i$  之间假定为直线状的临时链  $T_{0,j}$  的临时线形形状 71。

[0105] 这里,对利用传感器临时位置检测部 40 检测各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  的方法进行说明。在检测各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  (步骤 S104) 时,首先,基于在步骤 S102、S103 中计算出的姿态角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  的值,临时链形成部 41 形成直线形状的各个临时链  $T_{0,j}$ 。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  $k$  个临时链  $T_{0,k}$  的形成进行说明。

[0106] 使用以  $k-1$  置换了式 (7)、式 (8)、式 (12) (或式 (15)) 中的  $i$  的式子,在步骤 S102、S103 中计算局部坐标系  $C_{k-1}$  (即临时链  $T_{0,k}$ ) 的姿态角  $\alpha_{k-1}$ 、 $\beta_{k-1}$ 、 $\gamma_{k-1}$ 。使用该姿态角  $\alpha_{k-1}$ 、 $\beta_{k-1}$ 、 $\gamma_{k-1}$  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  $l$ ,求出从传感器单元  $S_{k-1}$  朝向传感器单元  $S_k$  的向量。这里,从传感器单元  $S_{k-1}$  朝向传感器单元  $S_k$  的向量为

[0107] 【数学式 16】

$$[0108] \quad \dot{\mathbf{l}}_k = [l_{xk} \quad l_{yk} \quad l_{zk}]^T = l C_{Bk-1}^G \dot{\mathbf{f}}_{yk-1} = l \begin{bmatrix} -\sin\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \cos\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \sin\alpha_{k-1} \end{bmatrix} \quad (16.1)$$

$$[0109] \quad \dot{\mathbf{f}}_{yk-1} = [0 \quad 1 \quad 0]^T \quad (16.2)$$

[0110] 在式 (16.1) 中, 通过将局部坐标系  $C_{k-1}$  的原点处的长度方向即  $Y_{k-1}$  轴方向的单位向量与用式 (1) 计算出的旋转矩阵相乘, 计算出将局部坐标系  $C_{k-1}$  的原点处的  $Y_{k-1}$  轴方向的单位向量分别分解到全局坐标系  $C$  的  $X$  轴方向、 $Y$  轴方向、 $Z$  轴方向后的分量。即,  $l_{xk}$ 、 $l_{yk}$ 、 $l_{zk}$  是将局部坐标系  $C_{k-1}$  中的朝向  $Y_{k-1}$  轴方向的大小为  $l$  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。利用在式 (16.1) 中计算出的向量形成临时链  $T_{0,k}$ 。

[0111] 另外, 对于临时链  $T_{0,k}$  以外的临时链  $T_{0,j}$ , 也利用临时链形成部 41 同样形成。即, 使用以  $j$  置换了式 (16.1)、式 (16.2) 中的  $k$  的式子, 求出从临时链  $T_{0,j}$  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  $S_{j-1}$  向临时链  $T_{0,j}$  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  $S_j$  的向量。进而, 利用从传感器单元  $S_{j-1}$  向传感器单元  $S_j$  的向量形成临时链  $T_{0,j}$ 。即, 临时链形成部 41 将临时链  $T_{0,j}$  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, 来形成临时链  $T_{0,j}$ 。

[0112] 此外, 传感器间尺寸  $l$  优选为 50mm 左右。通过加长传感器间尺寸  $l$ , 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  $l$  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  $l$  相等的直线状的临时链  $T_{0,j}$  的情况下, 也能够减小插入部 11 的形状检测时的误差。

[0113] 进而, 临时链移动部 42 使通过临时链形成部 41 形成的各个临时链  $T_{0,j}$  平行移动成与邻接的临时链  $T_{0,j-1}$ 、 $T_{0,j+1}$  的临时链边界连续的状态。图 7 是说明临时链移动部 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  $k$  个临时链  $T_{0,k}$  的移动进行说明。

[0114] 如图 7 所示, 在利用临时链移动部 42 进行临时链  $T_{0,k}$  的移动之前的状态下, 到与临时链  $T_{0,k}$  的基端侧邻接的临时链  $T_{0,k-1}$  为止完成移动, 形成临时链移动完成部 73。在进行临时链  $T_{0,k}$  的移动时, 临时链移动部 42 使临时链  $T_{0,k}$  平行移动从原点到临时链移动完成部 73 的前端 (即传感器单元  $S_{k-1}$  的临时位置  $P_{0,k-1}$ ) 的移动量。即, 使临时链  $T_{0,k}$  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, 成为临时链  $T_{0,k-1}$  与临时链  $T_{0,k}$  的链边界连续的状态。

[0115] 另外, 对于临时链  $T_{0,k}$  以外的临时链  $T_{0,j}$ , 也利用临时链移动部 42 同样进行移动。即, 在进行临时链  $T_{0,j}$  的移动时, 临时链移动部 42 使临时链  $T_{0,j}$  平行移动从原点到临时链移动完成部 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, 成为临时链  $T_{0,j}$  和与临时链  $T_{0,j}$  的基端侧 (离全局坐标系  $C$  的原点较近的一侧) 邻接的临时链  $T_{0,j-1}$  的临时链边界连续的状态。其中, 关于临时链  $T_{0,1}$ , 由于临时链  $T_{0,1}$  的基端为全局坐标系  $C$  的原点, 所以不进行移动。所有临时链  $T_{0,j}$  的移动完成, 由此如图 6 所示, 形成将各个传感器单元  $S_i$  之间假定为直线状的临时链  $T_{0,j}$  的临时线形形状 71。将临时线形形状 71 中

的各个传感器单元  $S_i$  的位置检测为各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  (步骤 S104)。

[0116] 如图 3 所示, 传感器临时位置检测部 40 与临时曲线形状检测部 50 连接。临时曲线形状检测部 50 将由传感器临时位置检测部 40 检测到的各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间利用临时圆弧  $L_{0,j}$  进行曲线插补, 并对临时曲线形状 75 进行检测。图 8 是从全局坐标系 C 的 Z 轴的负方向朝向正方向观察利用临时曲线形状检测部 50 检测到的内窥镜 10 的插入部 11 的临时曲线形状 75 时的图。如图 8 所示, 通过临时曲线形状检测部 50 对图 8 的虚线所示的临时线形形状 71 的各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间进行曲线插补。由此, 形成各个临时圆弧  $L_{0,j}$ , 检测到图 8 的实线所示的临时曲线形状 75。

[0117] 临时曲线形状检测部 50 具备: 单位切向量计算部 51, 其计算各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  处的单位切向量; 变化率计算部 52, 其基于由单位切向量计算部 51 计算出的单位切向量, 计算各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间的单位切向量的变化率; 以及临时圆弧形成部 53, 其基于由单位切向量计算部 51 计算出的单位切向量和由变化率计算部 52 计算出的变化率, 形成各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间的临时圆弧  $L_{0,j}$ 。在所有的传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间进行曲线插补, 形成所有的临时圆弧  $L_{0,j}$ , 从而检测到临时曲线形状 75。

[0118] 这里, 说明利用临时曲线形状检测部 50 对由传感器临时位置检测部 40 检测到的各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间进行曲线插补并对临时曲线形状 75 进行检测的方法。如图 4 所示, 临时曲线形状检测部 50 用临时圆弧  $L_{0,j}$  对在步骤 S104 中检测到的各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间进行曲线插补, 并对临时曲线形状 75 进行检测 (步骤 S105)。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 相等的直线状的临时链  $T_{0,j}$  的情况下, 插入部 11 的形状检测时的误差也变小。但是, 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。因此, 进行各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间的曲线插补较为重要。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, 通过将各个传感器单元  $S_i$  之间的形状假定为半径为  $R_{0,j}$  (曲率  $1/R_{0,j}$ ) 的临时圆弧  $L_{0,j}$  来进行曲线插补, 形成与实际的插入部 11 的曲线形状的误差较小的临时曲线形状 75。

[0119] 在对临时曲线形状 75 进行检测时, 临时曲线形状检测部 50 按照各个传感器单元  $S_i$  的各个临时位置  $P_{0,i}$  之间依次进行曲线插补, 形成临时圆弧  $L_{0,j}$ 。这里, 对利用临时曲线形状检测部 50 进行各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间的曲线插补的方法进行说明。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  $S_k$  之间的曲线插补进行说明。即, 临时位置  $P_{0,k-1}$  与临时位置  $P_{0,k}$  之间成为作为插补对象的插补对象临时位置间。

[0120] 图 9 是示出利用临时曲线形状检测部 50 检测临时曲线形状 75 的方法的流程图。图 10 是说明临时曲线形状检测部 50 中的处理的图。如图 9 和图 10 所示, 在利用临时曲线形状检测部 50 进行传感器单元  $S_{k-1}$  的临时位置  $P_{0,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的临时位置  $P_{0,k}$  之间即插补对象的传感器间的曲线插补时, 首先, 单位切向量计算部 51 计算传感器单元  $S_{k-1}$  的临时位置  $P_{0,k-1}$  处的单位切向量和传感器单元  $S_k$  的临时位置  $P_{0,k}$  处的单位切向量 (步骤 S111)。传感器单元  $S_{k-1}$  的临时位置  $P_{0,k-1}$  处的单位切向量为

[0121] 【数学式 17】

$$[0122] \quad \Delta \dot{P}_{0,k} = \dot{P}_{0,k} - \dot{P}_{0,k-1} \quad (17.1)$$

$$[0123] \quad \Delta L_{0,k} = |\Delta \dot{P}_{0,k}| \quad (17.2)$$

$$[0124] \quad \dot{e}_{0,k} = \left. \frac{d\dot{P}}{dL} \right|_{0,k} = \frac{\Delta \dot{P}_{0,k}}{\Delta L_{0,k}} \quad (17.3)$$

[0125] 即,临时位置  $P_{0,k-1}$  处的单位切向量是从临时位置  $P_{0,k-1}$  到临时位置  $P_{0,k}$  的向量的单位向量。使用以  $k+1$  置换了式 (17.1)、式 (17.2)、式 (17.3) 中的  $k$  的式子求出传感器单元  $S_k$  的临时位置  $P_{0,k}$  处的单位切向量。即,临时位置  $P_{0,k}$  处的单位切向量是从临时位置  $P_{0,k}$  到临时位置  $P_{0,k+1}$  的向量的单位向量。

[0126] 并且,变化率计算部 52 基于由单位切向量计算部 51 计算出的单位切向量,计算传感器单元  $S_{k-1}$  的临时位置  $P_{0,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的临时位置  $P_{0,k}$  之间的单位切向量的变化率(步骤 S112)。首先,临时位置  $P_{0,k-1}$  与临时位置  $P_{0,k}$  之间的单位切向量的变化率向量用下式求出:

[0127] 【数学式 18】

$$[0128] \quad \dot{\lambda}_{0,k} = \left. \frac{d^2\dot{P}}{dL^2} \right|_{0,k} = \frac{d\dot{e}}{dL} \Big|_{0,k} = \frac{\dot{e}_{0,k+1} - \dot{e}_{0,k}}{\Delta L_{0,k}} \quad (18.1)$$

$$[0129] \quad \Delta \bar{L}_{0,k} = \frac{\Delta L_{0,k+1} - \Delta L_{0,k}}{2} \quad (18.2)$$

[0130] 并且,用式 (18.1)、式 (18.2) 求出的变化率向量的大小为临时位置  $P_{0,k-1}$  与临时位置  $P_{0,k}$  之间的单位切向量的变化率。

[0131] 并且,临时圆弧形部 53 基于由单位切向量计算部 51 计算出的单位切向量和由变化率计算部 52 计算出的变化率,形成传感器单元  $S_{k-1}$  的临时位置  $P_{0,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的临时位置  $P_{0,k}$  之间的临时圆弧  $L_{0,k}$  (步骤 S113)。这里,在步骤 S112 中计算出的临时位置  $P_{0,k-1}$  与临时位置  $P_{0,k}$  之间的单位切向量的变化率为临时圆弧  $L_{0,k}$  的曲率  $1/R_{0,k}$ 。临时圆弧  $L_{0,k}$  的半径  $R_{0,k}$  是曲率  $1/R_{0,k}$  的倒数,因此临时圆弧  $L_{0,k}$  的半径  $R_{0,k}$  为

[0132] 【数学式 19】

$$[0133] \quad R_{0,k} = \frac{1}{|\dot{\lambda}_{0,k}|} \quad (19)$$

[0134] 此外,临时圆弧  $L_{0,k}$  的中心  $O_{0,k}$  在全局坐标 C 中的位置通过下式求出:

[0135] 【数学式 20】

$$[0136] \quad O_{0,k} = \dot{P}_{0,k-1} + R_{0,k}^2 \dot{\lambda}_{0,k} \quad (20)$$

[0137] 并且,使用临时位置  $P_{0,k-1}$  处的单位切向量和临时位置  $P_{0,k}$  处的单位切向量,通过下式求出临时圆弧  $L_{0,k}$  的中心角  $\varphi_{0,k}$ :

[0138] 【数学式 21】

$$[0139] \quad \phi_{0,k} = \cos^{-1} \frac{\Delta \dot{P}_{0,k} \cdot \Delta \dot{P}_{0,k+1}}{|\Delta \dot{P}_{0,k}| |\Delta \dot{P}_{0,k+1}|} = \cos^{-1}(\dot{e}_{0,k} \cdot \dot{e}_{0,k+1}) \quad (21)$$

[0140] 使用这些参数,形成临时位置  $P_{0,k-1}$  与临时位置  $P_{0,k}$  之间的临时圆弧  $L_{0,k}$ 。

[0141] 另外,关于临时圆弧  $L_{0,k}$  以外的临时圆弧  $L_{0,j}$ ,也同样通过对临时位置  $P_{0,j-1}$  与临时位置  $P_{0,j}$  之间进行曲线插补来形成。即,在形成临时圆弧  $L_{0,j}$  时,首先,单位切向量计算部 51 计算位于插补对象临时位置间的基端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)的传感器单元  $S_{j-1}$  的临时位置  $P_{0,j-1}$  处的单位切向量以及位于插补对象临时位置间的前端侧(离全局坐标系 C 的原点较远的一侧)的传感器单元  $S_j$  的临时位置  $P_{0,j}$  处的单位切向量。传感器单元  $S_{j-1}$  的临时位置  $P_{0,j-1}$  处的单位切向量使用以  $j$  置换了式 (17.1)、式 (17.2)、式 (17.3) 中的  $k$  的式子求出,是从临时位置  $P_{0,j-1}$  到临时位置  $P_{0,j}$  的向量的单位向量。此外,传感器单元  $S_j$  的临时位置  $P_{0,j}$  处的单位切向量使用以  $j+1$  置换了式 (17.1)、式 (17.2)、式 (17.3) 中的  $k$  的式子求出,是从临时位置  $P_{0,j}$  到临时位置  $P_{0,j+1}$  的向量的单位向量。由此,计算各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  处的单位切向量(步骤 S111)。

[0142] 并且,变化率计算部 52 基于由单位切向量计算部 51 计算出的单位切向量,计算传感器单元  $S_{j-1}$  的临时位置  $P_{0,j-1}$  与传感器单元  $S_j$  的临时位置  $P_{0,j}$  之间即插补对象临时位置间的单位切向量的变化率。临时位置  $P_{0,j-1}$  与临时位置  $P_{0,j}$  之间的单位切向量的变化率用以  $j$  置换了式 (18.1)、式 (18.2) 中的  $k$  的式子求出。由此,计算各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间的单位切向量的变化率(步骤 S112)。

[0143] 并且,临时圆弧形成部 53 基于由单位切向量计算部 51 计算出的单位切向量和由变化率计算部 52 计算出的变化率,形成传感器单元  $S_{j-1}$  的临时位置  $P_{0,j-1}$  与传感器单元  $S_j$  的临时位置  $P_{0,j}$  之间即插补对象临时位置间的临时圆弧  $L_{0,j}$ 。这里,使用以  $j$  置换了式 (19)、式 (20)、式 (21) 中的  $k$  的式子,求出临时圆弧  $L_{0,j}$  的半径  $R_{0,j}$ 、中心  $O_{0,j}$  和中心角  $\phi_{0,j}$ 。由此,形成各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间的临时圆弧  $L_{0,j}$ (步骤 S113)。在所有的传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间进行曲线插补,形成所有的临时圆弧  $L_{0,j}$ ,从而检测到临时曲线形状 75。

[0144] 如图 3 所示,临时曲线形状检测部 50 与对各个传感器单元  $S_i$  的位置进行修正的传感器位置修正部 55 连接。传感器位置修正部 55 基于由临时曲线形状检测部 50 检测到的临时曲线形状 75 的各个临时圆弧  $L_{0,j}$  的弧长  $R_{0,j}\phi_{0,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值,对各个传感器单元  $S_i$  的位置进行修正。这里,将临时圆弧  $L_{0,j}$  的弧长  $R_{0,j}\phi_{0,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值设为能量  $E_{0,j}$ 。图 11 是从全局坐标 C 的 Z 轴的负方向朝向正方向观察被传感器位置修正部 55 修正后的各个传感器单元  $S_i$  的位置的图。如图 11 所示,利用传感器位置修正部 55 将各个传感器单元  $S_i$  从临时位置  $P_{0,i}$  修正到最终位置  $P_{F,i}$ 。

[0145] 传感器位置修正部 55 具有从基端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)的传感器单元  $S_i$  依次进行位置校正的传感器位置顺序校正部 57。在利用传感器位置顺序校正部 57 进行各个传感器单元  $S_i$  的位置校正前的状态下,将各个传感器单元  $S_i$  从临时位置  $P_{0,i}$  移动到校正前位置  $Q_{0,i}$ (具体将后述。)。传感器位置顺序校正部 57 将各个传感器单元  $S_i$  的位置从校正前位置  $Q_{0,i}$  校正到最终位置  $P_{F,i}$ 。此外,传感器位置修正部 55 具有未校正传感器组移动部 59,每当由传感器位置顺序校正部 57 进行一个传感器单元  $S_i$  的位置校正

时,该未校正传感器组移动部 59 使未完成位置校正的传感器单元  $S_i$  即未校正传感器组 77 平行移动。通过传感器位置顺序校正部 57 进行所有传感器单元  $S_i$  的从校正前位置  $Q_{0,i}$  到最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正。这里,校正前位置  $Q_{0,i}$  是通过传感器位置顺序校正部 57 进行位置校正之前的各个传感器单元  $S_i$  的位置。未校正传感器组移动部 59 使未校正传感器组 77 平行移动在传感器位置顺序校正部 57 刚刚进行的位置校正中作为校正对象的传感器单元  $S_i$  即刚刚校正对象传感器 79 从校正前位置  $Q_{0,i}$  到最终位置  $P_{F,i}$  的校正量。由此,未校正传感器组 77 从平行移动前位置  $U_{a-1,i}$  ( $a = 1, 2, \dots$ ) 平行移动到平行移动后位置  $U_{a,i}$ 。这里,  $a$  表示由未校正传感器组移动部 59 平行移动各个传感器单元  $S_i$  的次数。各个传感器单元  $S_i$  的利用未校正传感器组移动部 59 的第 1 次平行移动的平行移动前位置  $U_{0,i}$  与临时位置  $P_{0,i}$  一致。各个传感器单元  $S_i$  通过未校正传感器组移动部 59 平行移动 ( $i-1$ ) 次。各个传感器单元  $S_i$  的利用未校正传感器组移动部 59 的第 ( $i-1$ ) 次平行移动的平行移动后位置  $U_{i-1,i}$  与校正前位置  $Q_{0,i}$  一致。如上所述,通过利用传感器位置顺序校正部 57 的位置校正和利用未校正传感器组移动部 59 的平行移动,将各个传感器单元  $S_i$  的位置从临时位置  $P_{0,i}$  修正到最终位置  $P_{F,i}$ 。

【0146】 传感器位置顺序校正部 57 具有使作为位置校正的对象的校正对象传感器 81 从位置校正前的校正前位置  $Q_{0,i}$  移动一次以上的传感器移动部 61。通过利用传感器移动部 61 的一次移动,校正对象传感器 81 从移动前位置  $Q_{t-1,i}$  ( $t = 1, 2, \dots$ ) 移动到移动后位置  $Q_{t,i}$ 。这里,  $t$  表示由传感器移动部 61 移动各个传感器单元  $S_i$  的次数。此外,传感器位置顺序校正部 57 具有移动后圆弧形形成部 62,每当通过传感器移动部 61 进行一次校正对象传感器 81 的移动时,该移动后圆弧形形成部 62 对相对于校正对象传感器 81 而相邻设置于基端侧(离全局坐标系  $C$  的原点较近的一侧)的传感器单元  $S_i$  即近位侧相邻设置传感器 82 的最终位置  $P_{F,i}$  与校正对象传感器 81 的移动后位置  $Q_{t,i}$  之间进行曲线插补。利用移动后圆弧形形成部 62 对近位侧相邻设置传感器 82 的最终位置  $P_{F,i}$  与校正对象传感器 81 的移动后位置  $Q_{t,i}$  之间进行曲线插补,由此形成移动后圆弧  $L_{t,j}$ 。

【0147】 传感器位置顺序校正部 57 具有移动控制部 63,该移动控制部 63 将传感器移动部 61 控制成重复进行校正对象传感器 81 的从移动前位置  $Q_{t-1,i}$  向移动后位置  $Q_{t,i}$  的移动的状态,直到通过移动后圆弧形形成部 62 形成的移动后圆弧  $L_{t,j}$  的弧长  $R_{t,j}\phi_{t,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值为预定阈值以下为止。这里,将移动后圆弧  $L_{t,j}$  的弧长  $R_{t,j}\phi_{t,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值设为能量  $E_{t,j}$ 。此外,传感器位置顺序校正部 57 具有将通过传感器移动部 61 的最终一次(例如第  $F$  次)移动的移动后位置  $Q_{F,i}$  确定为校正对象传感器 81 的最终位置  $P_{F,i}$  的最终位置确定部 64。传感器移动部 61、移动后圆弧形形成部 62、移动控制部 63、最终位置确定部 64 中的详细处理将在后面叙述。

【0148】 这里,对利用传感器位置修正部 55 修正各个传感器单元  $S_i$  的位置的方法进行说明。如图 4 所示,传感器位置修正部 55 基于由临时曲线形状检测部 50 检测到的临时曲线形状 75 的各个临时圆弧  $L_{0,j}$  的弧长  $R_{0,j}\phi_{0,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值,对各个传感器单元  $S_i$  的位置进行修正(步骤 S106)。即,基于用下式求出的能量  $E_{0,j}$ ,修正各个传感器单元  $S_i$  的位置:

【0149】 【数学式 22】

$$【0150】 E_{0,j} = |R_{0,j}\phi_{0,j}^{-1}| \quad (22)。$$

[0151] 由此,将各个传感器单元  $S_i$  从临时位置  $P_{0,i}$  修正到最终位置  $P_{F,i}$ 。

[0152] 如前所述,通过临时曲线形状检测部 50 形成与实际的插入部 11 的曲线形状的误差较少的临时曲线形状 75。但是,在临时曲线形状检测部 50 中,没有考虑传感器间尺寸  $I$  而进行各个传感器单元  $S_i$  之间的曲线插补。此外,各个传感器单元  $S_i$  的测量数据由于噪声等具有误差。因此,考虑传感器间尺寸  $I$ ,基于各个临时圆弧  $L_{0,j}$  的弧长  $R_{0,j}\phi_{0,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值,对各个传感器单元  $S_i$  的位置进行修正较为重要。

[0153] 图 12 是示出利用传感器位置修正部 55 修正各个传感器单元  $S_i$  的位置的方法的流程图。图 13 是说明传感器位置顺序校正部 57 的处理的图。如图 12 所示,在修正各个传感器单元  $S_i$  的位置时,通过传感器位置顺序校正部 57 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  $S_i$  依次进行各个传感器单元  $S_i$  的从位置校正前的校正前位置  $Q_{0,i}$  向最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正。这里,校正前位置  $Q_{0,i}$  是通过传感器位置顺序校正部 57 进行位置校正之前的各个传感器单元  $S_i$  的位置,是各个传感器单元  $S_i$  从临时位置  $P_{0,i}$  通过未校正传感器组移动部 59 平行移动  $(i-1)$  次后的位置。传感器位置顺序校正部 57 开始进行未校正传感器组 77 中的最靠基端侧的传感器单元  $S_i$  的位置校正(步骤 S121)。即,如图 13 所示,在到传感器单元  $S_{k-1}$  为止已经完成了从校正前位置  $Q_{0,i}$  到最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正的情况下,通过传感器位置顺序校正部 57 开始进行未校正传感器组 77 中的最靠基端侧的传感器单元  $S_k$  的向最终位置  $P_{F,k}$  的位置校正。即,传感器单元  $S_k$  成为作为位置校正的对象的校正对象传感器 81。另外,在以下的说明中,对从基端侧起第  $(k+1)$  个传感器单元  $S_k$  的位置校正进行说明。

[0154] 如图 13 所示,在开始进行作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  的位置校正时,到传感器单元  $S_{k-1}$  为止已经完成了从校正前位置  $Q_{0,i}$  到最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正。此时,传感器单元  $S_k$  位于校正前位置  $Q_{0,k}$ 。在该状态下,通过传感器移动部 61 将传感器单元  $S_k$  从位置  $Q_{0,k}$  移动到位置  $Q_{1,k}$ (步骤 S122),并进行传感器单元  $S_k$  的第一次移动。此时,位置  $Q_{0,k}$  是移动前位置,位置  $Q_{1,k}$  是移动后位置。进行 1 次以上的传感器移动部 61 对传感器单元  $S_k$  的移动。图 14 是说明传感器移动部 61 和移动后圆弧形形成部 62 中的处理的图。如图 14 所示,在第  $s$  次的移动中,将作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  从移动前位置  $Q_{s-1,k}$  移动到移动后位置  $Q_{s,k}$ 。即,通过传感器移动部 61 的一次移动,将传感器单元  $S_k$  从移动前位置  $Q_{t-1,k}$  移动到移动后位置  $Q_{t,k}$ (步骤 S122)。

[0155] 并且,每当通过传感器移动部 61 进行一次传感器单元  $S_k$  的移动时,移动后圆弧形形成部 62 对相对于传感器单元  $S_k$  相邻设置于基端侧的传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{t,k}$  之间进行曲线插补,由此形成移动后圆弧  $L_{t,k}$ (步骤 S123)。如图 14 所示,在第  $s$  次的移动后,对传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{s,k}$  之间进行曲线插补,由此形成移动后圆弧  $L_{s,k}$ 。此处,传感器单元  $S_{k-1}$  是相对于作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  相邻设置于离全局坐标系  $C$  的原点较近一侧的近位侧相邻设置传感器 82。

[0156] 在传感器单元  $S_k$  的第  $s$  次移动后形成移动后圆弧  $L_{s,k}$  时,计算传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  处的单位切向量和传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{s,k}$  处的单位切向量。传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  处的单位切向量为

[0157] 【数学式 23】

$$[0158] \quad \Delta \dot{P}_{S,k} = \dot{Q}_{S,k} - \dot{P}_{F,k-1} \quad (23.1)$$

$$[0159] \quad \Delta L_{S,k} = |\Delta \dot{P}_{S,k}| \quad (23.2)$$

$$[0160] \quad \dot{e}_{S,k} = \left. \frac{d\dot{P}}{dL} \right|_{S,k} = \frac{\Delta \dot{P}_{S,k}}{\Delta L_{S,k}} \quad (23.3)$$

[0161] 即,最终位置  $P_{F,k-1}$  处的单位切向量是从最终位置  $P_{F,k-1}$  到移动后位置  $Q_{S,k}$  的向量的单位向量。此外,在计算移动后位置  $Q_{S,k}$  处的单位切向量时,假定将相对于作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  相邻设置于离全局坐标系  $C$  的原点较远一侧的远位侧相邻设置传感器 83 即传感器单元  $S_{k+1}$  配置于位置  $Q'_{S,k+1}$ 。这里,从移动后位置  $Q_{S,k}$  到位置  $Q'_{S,k+1}$  的向量的方向和大小与从传感器单元  $S_k$  的临时位置  $P_{0,k}$  到传感器单元  $S_{k+1}$  的临时位置  $P_{0,k+1}$  的向量相同。传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{S,k}$  处的单位向量为

[0162] 【数学式 24】

$$[0163] \quad \Delta \dot{P}'_{S,k+1} = \dot{Q}'_{S,k+1} - \dot{Q}_{S,k} \quad (24.1)$$

$$[0164] \quad \Delta L'_{S,k+1} = |\Delta \dot{P}'_{S,k+1}| \quad (24.2)$$

$$[0165] \quad \dot{e}'_{S,k+1} = \left. \frac{d\dot{P}'}{dL'} \right|_{S,k+1} = \frac{\Delta \dot{P}'_{S,k+1}}{\Delta L'_{S,k+1}} \quad (24.3)$$

[0166] 即,移动后位置  $Q_{S,k}$  处的单位切向量为从移动后位置  $Q_{S,k}$  到传感器单元  $S_{k+1}$  的位置  $Q'_{S,k+1}$  的向量的单位向量。因此,移动后位置  $Q_{S,k}$  处的单位切向量的方向与在式 (17.1) ~ 式 (17.3) 中将  $k$  替换成  $k+1$  而得到的单位切向量相同。

[0167] 并且,基于利用式 (23.1) ~ 式 (23.3)、式 (24.1) ~ 式 (24.3) 计算出的单位切向量,计算传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{S,k}$  之间的单位切向量的变化率。首先,最终位置  $P_{F,k-1}$  与移动后位置  $Q_{S,k}$  之间的单位切向量的变化率向量用下式求出:

[0168] 【数学式 25】

$$[0169] \quad \dot{\lambda}_{S,k} = \left. \frac{d^2\dot{P}}{dL^2} \right|_{S,k} = \left. \frac{d\dot{e}}{dL} \right|_{S,k} = \frac{\dot{e}'_{S,k+1} - \dot{e}_{S,k}}{\Delta L_{S,k}} \quad (25.1)$$

$$[0170] \quad \overline{\Delta L}_{S,k} = \frac{\Delta L'_{S,k+1} - \Delta L_{S,k}}{2} \quad (25.2)$$

[0171] 并且,用式 (25.1)、式 (25.2) 求出的变化率向量的大小为最终位置  $P_{F,k-1}$  与移动后位置  $Q_{S,k}$  之间的单位切向量的变化率。

[0172] 并且,基于利用式 (23.1) ~ 式 (23.3)、式 (24.1) ~ 式 (24.3) 计算出的单位切向量以及利用式 (25.1)、式 (25.2) 计算出的变化率,形成传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{S,k}$  之间的移动后圆弧  $L_{S,k}$ 。这里,用式 (25.1)、式 (25.2) 计算出的最终位置  $P_{F,k-1}$  与移动后位置  $Q_{S,k}$  之间的单位切向量的变化率为移动后圆弧  $L_{S,k}$  的曲率  $1/R_{S,k}$ 。移动后圆弧  $L_{S,k}$  的半径  $R_{S,k}$  是曲率  $1/R_{S,k}$  的倒数,因此移动后圆弧  $L_{S,k}$  的半径  $R_{S,k}$  为

[0173] 【数学式 26】

$$[0174] \quad R_{s,k} = \frac{1}{|\dot{\lambda}_{s,k}|} \quad (26)$$

[0175] 此外,移动后圆弧  $L_{s,k}$  的中心  $O_{s,k}$  在全局坐标 C 中的位置通过下式求出:

[0176] 【数学式 27】

$$[0177] \quad O_{s,k} = \dot{P}_{F,k-1} + R_{s,k} \dot{\lambda}_{s,k} \quad (27)$$

[0178] 并且,使用最终位置  $P_{F,k-1}$  处的单位切向量和移动后位置  $Q_{s,k}$  处的单位切向量,通过下式求出移动后圆弧  $L_{s,k}$  的中心角  $\phi_{s,k}$ :

[0179] 【数学式 28】

$$[0180] \quad \phi_{s,k} = \cos^{-1} \frac{\Delta \dot{P}_{s,k} \cdot \Delta \dot{P}'_{s,k+1}}{|\Delta \dot{P}_{s,k}| |\Delta \dot{P}'_{s,k+1}|} = \cos^{-1} (\dot{e}_{s,k} \cdot \dot{e}'_{s,k}) \quad (28)$$

[0181] 使用这些参数,形成最终位置  $P_{F,k-1}$  与移动后位置  $Q_{s,k}$  之间的移动后圆弧  $L_{s,k}$ 。

[0182] 另外,对在传感器单元  $S_k$  的第  $s$  次移动后形成移动后圆弧  $L_{s,k}$  的处理进行了说明,但是关于传感器单元  $S_k$  的第  $s$  次以外的移动后,使用在式 (23.1) ~ 式 (28) 中用  $t$  置换了  $s$  后的式子,也同样地形成传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{t,k}$  之间的移动后圆弧  $L_{t,k}$ 。

[0183] 并且,在形成移动后圆弧  $L_{t,k}$  后,通过移动控制部 63 计算移动后圆弧  $L_{t,k}$  的弧长  $R_{t,k} \phi_{t,k}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值 (步骤 S124)。这里,将移动后圆弧  $L_{t,k}$  的弧长  $R_{t,k} \phi_{t,k}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值设为能量  $E_{t,k}$ ,并用下式给出:

[0184] 【数学式 29】

$$[0185] \quad E_{t,k} = |R_{t,k} \phi_{t,k} - I| \quad (29)$$

[0186] 在能量  $E_{t,k}$  大于预定阈值的情况下 (步骤 S124- 否),返回步骤 S122,传感器移动部 61 使传感器单元  $S_k$  从位置  $Q_{t,k}$  进一步移动。在传感器单元  $S_k$  的第  $s$  次移动后能量  $E_{s,k}$  大于预定阈值的情况下,通过传感器移动部 61 进行第  $(s+1)$  次的移动。通过第  $(s+1)$  次的移动,传感器单元  $S_k$  从移动前位置  $Q_{s,k}$  移动到移动后位置  $Q_{s+1,k}$ 。如上所述,传感器移动部 61 被移动控制部 63 控制成重复进行作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  的从移动前位置  $Q_{t-1,k}$  向移动后位置  $Q_{t,k}$  的移动的状态,直到能量  $E_{t,k}$  为预定阈值以下为止。

[0187] 在能量  $E_{t,k}$  为预定阈值以下的情况下 (步骤 S124- 是),进入下一步骤。并且,最终位置确定部 64 将通过传感器移动部 61 对传感器单元  $S_k$  的最终一次 (例如第  $F$  次) 移动的移动后位置  $Q_{F,k}$  确定为作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  (步骤 S125)。如上所述,传感器单元  $S_k$  的从校正前位置  $Q_{0,k}$  到最终位置  $P_{F,k}$  的位置校正完成。

[0188] 另外,关于传感器单元  $S_k$  以外的传感器单元  $S_i$ ,也通过传感器位置顺序校正部 57 与传感器单元  $S_k$  同样地进行向最终位置  $P_{i,k}$  的位置校正。即,通过传感器移动部 61 将传感器单元  $S_i$  从移动前位置  $Q_{t-1,i}$  移动到移动后位置  $Q_{t,i}$  (步骤 S122)。并且,每当通过传感器移动部 61 进行一次传感器单元  $S_i$  的移动时,通过移动后圆弧形成部 62 对相对于传感器单元  $S_i$  相邻设置于基端侧的近位侧相邻设置传感器 82 即传感器单元  $S_{i-1}$  的最终位置  $P_{F,i-1}$  与传感器单元  $S_i$  的移动后位置  $Q_{t,i}$  之间进行曲线插补,形成移动后圆弧  $L_{t,j}$  (步骤 S123)。

[0189] 并且,在形成移动后圆弧  $L_{t,j}$  后,通过移动控制部 63 计算移动后圆弧  $L_{t,j}$  的弧长

$R_{t,j}\phi_{t,j}$ 与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值即能量  $E_{t,j}$  (步骤 S124)。在能量  $E_{t,j}$  大于预定阈值的情况下 (步骤 S124- 否), 返回步骤 S122, 传感器移动部 61 使传感器单元  $S_i$  从位置  $Q_{t,i}$  进一步移动。在能量  $E_{t,j}$  为预定阈值以下的情况下 (步骤 S124- 是), 进入下一步骤。并且, 最终位置确定部 64 将通过传感器移动部 61 对传感器单元  $S_i$  的最终一次移动的移动后位置  $Q_{F,i}$  确定为作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  (步骤 S125)。如上所述, 传感器单元  $S_i$  的从校正前位置  $Q_{0,i}$  到最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正完成。

[0190] 并且, 每当由传感器位置顺序校正部 57 进行一个传感器单元  $S_i$  的位置校正时, 通过未校正传感器组移动部 59 使未完成位置校正的传感器单元  $S_i$  即未校正传感器组 77 平行移动 (步骤 S126)。图 15 是说明未校正传感器组移动部 59 中的处理的图。如图 15 所示, 在通过传感器位置顺序校正部 57 完成了传感器单元  $S_k$  的从校正前位置  $Q_{0,k}$  到最终位置  $P_{F,k}$  的位置校正的状态下, 传感器单元  $S_{k+1} \sim S_N$  成为未完成位置校正的未校正传感器组 77。此外, 传感器单元  $S_k$  成为在传感器位置顺序校正部 57 刚刚进行的位置校正中作为校正对象的刚刚校正对象传感器 79。

[0191] 在该状态下, 未校正传感器组移动部 59 使未校正传感器组 77 平行移动作为刚刚校正对象传感器 79 的传感器单元  $S_k$  的从校正前位置  $Q_{0,k}$  到最终位置  $P_{F,k}$  的校正量。由此, 未校正传感器组 77 的各个传感器单元  $S_i$  从平行移动前位置  $U_{k-1,i}$  移动到平行移动后位置  $U_{k,i}$ 。这里, 未校正传感器组 77 的各个传感器单元  $S_i$  的平行移动前位置  $U_{k-1,i}$  是通过未校正传感器组移动部 59 将各个传感器单元  $S_i$  从临时位置  $P_{0,i}$  移动  $(k-1)$  后的位置, 在此次的平行移动中, 未校正传感器组 77 的各个传感器单元  $S_i$  由未校正传感器组移动部 59 平行移动了  $k$  次。此外, 传感器单元  $S_{k+1}$  的平行移动后位置  $U_{k,k+1}$  与校正前位置  $Q_{0,k+1}$  一致, 从传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  到传感器单元  $S_{k+1}$  的平行移动后位置  $U_{k,k+1}$  的向量的方向和大小与从传感器单元  $S_k$  的临时位置  $P_{0,k}$  到传感器单元  $S_{k+1}$  的临时位置  $P_{0,k+1}$  的向量相同。

[0192] 另外, 即使在传感器单元  $S_k$  以外的传感器单元  $S_i$  的向最终位置  $P_{F,k}$  的位置校正已完成的状况下, 也与传感器单元  $S_k$  同样, 平行移动未校正传感器组 77。即, 未校正传感器组移动部 59 使未校正传感器组 77 平行移动通过传感器位置顺序校正部 57 将刚刚校正对象传感器 79 从校正前位置  $Q_{0,i}$  校正到最终位置  $P_{F,i}$  的校正量 (步骤 S126)。由此, 未校正传感器组 77 从平行移动前位置  $U_{a-1,i}$  平行移动到平行移动后位置  $U_{a,i}$ 。

[0193] 并且, 如图 12 所示, 确认是否对所有的传感器单元  $S_i$  完成了位置校正 (步骤 S127)。在对所有的传感器单元  $S_i$  完成了位置校正的情况下 (步骤 S127- 是), 进入下一步骤。在没有对所有的传感器单元  $S_i$  完成位置校正的情况下 (步骤 S127- 否), 返回步骤 S121, 通过传感器位置顺序校正部 57 进行未校正传感器组 77 中的最靠基端侧的传感器单元  $S_i$  的位置校正。即, 在对所有的传感器单元  $S_i$  完成位置校正之前, 重复进行步骤 S121 ~ S126。如上所述, 通过利用传感器位置顺序校正部 57 的从校正前位置  $Q_{0,i}$  到最终位置  $P_{F,i}$  位置的位置校正和利用未校正传感器组移动部 59 的平行移动, 将各个传感器单元  $S_i$  的位置从临时位置  $P_{0,i}$  修正到最终位置  $P_{F,i}$ 。

[0194] 如图 3 所示, 传感器位置修正部 55 与最终曲线形状检测部 65 连接。最终曲线形状检测部 65 用最终圆弧  $L_{F,j}$  对各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补, 并对插入部 11 的最终曲线形状 85 进行检测。图 16 是从全局坐标系  $C$  的  $Z$  轴的负方向朝向正方向观察利用最终曲线形状检测部 65 检测到的内窥镜 10 的插入部 11 的最终曲线形状 85

时的图。如图 16 所示,通过最终曲线形状检测部 65 对各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补。由此,形成各个最终圆弧  $L_{F,j}$ ,检测到最终曲线形状 85。

[0195] 最终曲线形状检测部 65 具有基于各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  计算各个最终圆弧  $L_{F,j}$  的参数的参数计算部 67、和基于由参数计算部 67 计算出的参数形成最终圆弧  $P_{F,i}$  的最终圆弧形成部 69。最终圆弧形成部 69 通过使用了四元数 (quaternion) 和参变量  $t$  的插补函数  $L_{F,j}(t)$ ,相对于参变量  $t$  的变化以等角速度对各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补,形成最终圆弧  $L_{F,j}$ 。

[0196] 在最终曲线形状检测部 65 上连接着描绘部 45。通过描绘部 45 描绘由最终曲线形状检测部 65 检测到的全局坐标系  $C$  中的插入部 11 的最终曲线形状 85。手术操作者能够用显示部 47 确认通过描绘部 45 描绘的最终曲线形状 85。

[0197] 这里,说明利用最终曲线形状检测部 65 对由传感器位置修正部 55 进行了位置修正后的各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补并对最终曲线形状 85 进行检测的方法。如图 4 所示,最终曲线形状检测部 65 用最终圆弧  $L_{F,j}$  对在步骤 S106 中进行了位置修正后的各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补,并对最终曲线形状 85 进行检测 (步骤 S107)。由此,考虑传感器间尺寸  $I$  进行各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间的曲线插补,从而检测到检测精度高的最终曲线形状 85。

[0198] 在对最终曲线形状 85 进行检测时,最终曲线形状检测部 65 按照各个传感器单元  $S_i$  的各个最终位置  $P_{F,i}$  之间依次进行曲线插补,形成最终圆弧  $L_{F,j}$ 。这里,对利用最终曲线形状检测部 65 进行各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间的曲线插补的方法进行说明。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  $S_k$  之间的曲线插补进行说明。即,最终位置  $P_{F,k-1}$  与最终位置  $P_{F,k}$  之间成为作为插补对象的插补对象最终位置间。

[0199] 图 17 是示出利用最终曲线形状检测部 65 检测最终曲线形状 85 的方法的流程图。图 18 是说明最终曲线形状检测部 65 中的处理的图。如图 17 和图 18 所示,在通过最终曲线形状检测部 65 进行传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  之间即插补对象的最终位置间的曲线插补时,首先,通过参数计算部 67 基于最终位置  $P_{F,k-1}$  和最终位置  $P_{F,k}$ ,计算最终圆弧  $L_{F,k}$  的参数 (步骤 S131)。

[0200] 此时,计算传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  处的单位切向量和传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  处的单位切向量。传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  处的单位切向量为

[0201] 【数学式 30】

$$[0202] \quad \Delta \dot{P}_{F,k} = \dot{P}_{F,k} - \dot{P}_{F,k-1} \quad (30.1)$$

$$[0203] \quad \Delta L_{F,k} = |\Delta \dot{P}_{F,k}| \quad (30.2)$$

$$[0204] \quad \dot{e}_{F,k} = \frac{d\dot{P}}{dL} \Big|_{F,k} = \frac{\Delta \dot{P}_{F,k}}{\Delta L_{F,k}} \quad (30.3)$$

[0205] 即,最终位置  $P_{F,k-1}$  处的单位切向量是从最终位置  $P_{F,k-1}$  到最终位置  $P_{F,k}$  的向量的单位向量。使用以  $k+1$  置换了式 (30.1)、式 (30.2)、式 (30.3) 中的  $k$  的式子求出传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  处的单位切向量。即,最终位置  $P_{F,k}$  处的单位切向量是从最终位置  $P_{F,k}$  到最终位置  $P_{F,k+1}$  的向量的单位向量。

[0206] 并且,基于最终位置  $P_{F,k-1}$  和  $P_{F,k}$  处的单位切向量,计算传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  之间的单位切向量的变化率。首先,最终位置  $P_{F,k-1}$  与最终位置  $P_{F,k}$  之间的单位切向量的变化率向量用下式求出:

[0207] 【数学式 31】

$$[0208] \quad \dot{\lambda}_{F,k} = \frac{d^2 \dot{p}}{dL^2} \Big|_{F,k} = \frac{d\dot{e}}{dL} \Big|_{F,k} = \frac{\dot{e}_{F,k+1} - \dot{e}_{F,k}}{\Delta L_{F,k}} \quad (31.1)$$

$$[0209] \quad \bar{\Delta L}_{F,k} = \frac{\Delta L_{F,k+1} - \Delta L_{F,k}}{2} \quad (31.2)$$

[0210] 并且,用式 (31.1)、式 (31.2) 求出的变化率向量的大小为最终位置  $P_{F,k-1}$  与最终位置  $P_{F,k}$  之间的单位切向量的变化率。

[0211] 并且,基于利用式 (30.3) ~ 式 (31.2) 计算出的单位切向量和变化率,计算传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  之间的最终圆弧  $L_{F,k}$  的参数。这里,最终圆弧  $L_{F,k}$  的半径  $R_{F,k}$  是使用式 (31.1)、式 (31.2) 计算出的变化率  $k$  的倒数,因此成为

[0212] 【数学式 32】

$$[0213] \quad R_{F,k} = \frac{1}{|\dot{\lambda}_{F,k}|} \quad (32)$$

[0214] 此外,最终圆弧  $L_{F,k}$  的中心  $O_{F,k}$  在全局坐标  $C$  中的位置通过下式求出:

[0215] 【数学式 33】

$$[0216] \quad O_{F,k} = \dot{P}_{F,k-1} + R_{F,k}^2 \dot{\lambda}_{F,k} \quad (33)$$

[0217] 并且,最终圆弧  $L_{F,k}$  的中心角  $\phi_{F,k}$  通过下式求出:

[0218] 【数学式 34】

$$[0219] \quad \phi_{F,k} = \cos^{-1} \frac{\Delta \dot{P}_{F,k} \cdot \Delta \dot{P}_{F,k+1}}{|\Delta \dot{P}_{F,k}| |\Delta \dot{P}_{F,k+1}|} = \cos^{-1} (\dot{e}_{F,k} \cdot \dot{e}_{F,k+1}) \quad (34)$$

[0220] 另外,关于最终圆弧  $L_{F,k}$  以外的最终圆弧  $L_{F,j}$ ,使用以  $j$  置换了式 (30.1) ~ 式 (34) 中的  $k$  后的式子,与最终圆弧  $L_{F,k}$  同样地,也通过参数计算部 67 计算最终圆弧  $L_{F,j}$  的参数。即,基于各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$ ,计算各个最终圆弧  $L_{F,j}$  的参数 (步骤 S131)。

[0221] 并且,最终圆弧形成部 69 基于由参数计算部 67 计算出的最终圆弧  $L_{F,j}$  的参数,对各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补,形成最终圆弧  $L_{F,j}$  (步骤 S132)。通过使用了四元数 (quaternion) 和参变量的插补函数进行最终圆弧  $L_{F,j}$  的形成。

[0222] 这里,四元数是对复数进行扩展后的数,用下式表现:

[0223] 【数学式 35】

$$[0224] \quad q = w + xi + yj + zk \quad (35)$$

[0225] 式 (35) 的  $i, j, k$  表示虚数单位,满足下式的关系:

[0226] 【数学式 36】

$$[0227] \quad i^2 = j^2 = k^2 = -1 \quad (36.1)$$

[0228]  $ij = k$  (36.2)

[0229]  $ji = -k$  (36.3)

[0230]  $jk = i$  (36.4)

[0231]  $kj = -i$  (36.5)

[0232]  $ki = j$  (36.6)

[0233]  $ik = -j$  (36.7)。

[0234] 如图 18 所示,在形成传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  之间的最终圆弧  $L_{F,k}$  的情况下,在全局坐标系  $C$  中,计算从最终圆弧  $L_{F,k}$  的中心  $O_{F,k}$  到传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  的向量。从中心  $O_{F,k}$  到最终位置  $P_{F,k-1}$  的向量为

[0235] 【数学式 37】

[0236]  $\vec{q}_{1,k}=(x_{1,k},y_{1,k},z_{1,k})$  (37)

[0237] 此外,在全局坐标系  $C$  中,计算从最终圆弧  $L_{F,k}$  的中心  $O_{F,k}$  到传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k}$  的向量。从中心  $O_{F,k}$  到最终位置  $P_{F,k}$  的向量为

[0238] 【数学式 38】

[0239]  $\vec{q}_{2,k}=(x_{2,k},y_{2,k},z_{2,k})$  (38)

[0240] 用式 (37) 计算出的向量通过四元数表现为

[0241] 【数学式 39】

[0242]  $q_{1,k} = x_{1,k}i + y_{1,k}j + z_{1,k}k$  (39)。

[0243] 同样,用式 (38) 计算出的向量通过四元数表现为

[0244] 【数学式 40】

[0245]  $q_{2,k} = x_{2,k}i + y_{2,k}j + z_{2,k}k$  (40)。

[0246] 即,计算出的向量的全局坐标系  $C$  的  $X$  轴方向分量为四元数的虚数  $i$  的分量。同样,向量的全局坐标系  $C$  的  $Y$  轴方向分量为四元数的虚数  $j$  的分量,向量的全局坐标系  $C$  的  $Z$  轴方向分量为四元数的虚数  $k$  的分量。

[0247] 并且,使用式 (39)、式 (40) 的四元数,定义以下函数  $L'_{F,k}(t)$ 。函数  $L'_{F,k}(t)$  为

[0248] 【数学式 41】

[0249]  $L'_{F,k}(t) = q_{1,k}\sin(1-t)\phi_{F,k} + q_{2,k}\sin t\phi_{F,k}$  ( $0 \leq t \leq 1$ ) (41)。

[0250] 这里,  $t$  是参变量。为了归一化而在式 (41) 的两边除以  $\sin\phi_{F,k}$  时,成为

[0251] 【数学式 42】

[0252]  $L_{F,k}(t) = q_{1,k} \frac{\sin(1-t)\phi_{F,k}}{\sin\phi_{F,k}} + q_{2,k} \frac{\sin t\phi_{F,k}}{\sin\phi_{F,k}}$  ( $0 \leq t \leq 1$ ) (42)

[0253] 从而计算出插补函数  $L_{F,k}(t)$ 。

[0254] 并且,通过在插补函数  $L_{F,k}(t)$  中使  $t$  从 0 变化到 1,对传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  之间进行曲线插补,形成最终圆弧  $L_{F,k}$ 。此时,相对于参变量  $t$  的变化以等角速度对最终位置  $P_{F,k-1}$  与最终位置  $P_{F,k}$  之间进行曲线插补。例如,在  $t$  从 0 变化到 0.1 之间被插补的距离  $d_1$  与  $t$  从 0.5 变化到 0.6 之间被插补的距离  $d_2$  相同(参照图 18)。因此,在对最终位置  $P_{F,k-1}$  与最终位置  $P_{F,k}$  之间进行插补时,不需要考虑角速

度的变化,因此形成最终圆弧  $L_{F,k}$  的处理单纯化。

[0255] 另外,关于最终圆弧  $L_{F,k}$  以外的最终圆弧  $L_{F,j}$ ,也使用插补函数  $L_{F,j}(t)$  形成。使用以  $j$  置换了式 (37) ~ 式 (42) 中的  $k$  的式子计算插补函数  $L_{F,j}(t)$ 。此时,也相对于插补函数  $L_{F,j}(t)$  的参变量  $t$  的变化以等角速度对各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补。通过形成所有的最终圆弧  $L_{F,j}$ ,检测到内窥镜 10 的插入部 11 的最终曲线形状 85。

[0256] 如图 4 所示,在通过最终曲线形状检测部 65 检测最终曲线形状 85 时,确认内窥镜形状检测装置 1 的检查是否已完成(步骤 S108)。在检查未完成的情况下(步骤 S108-否),返回步骤 S101,进行下一个静止状态下的内窥镜 10 的插入部 11 的形状检测。在检查已完成的情况下(步骤 S108-是),内窥镜 10 的插入部 11 的形状检测结束。

[0257] 因此,在上述结构的内窥镜形状检测装置 1 及使用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,由传感器临时位置检测部 40 根据各个传感器单元  $S_i$  的姿态来检测各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$ 。并且,临时曲线形状检测部 50 用临时圆弧  $L_{0,j}$  对各个传感器单元  $S_i$  的临时位置  $P_{0,i}$  之间进行曲线插补,对临时曲线形状 75 进行检测。并且,传感器位置修正部 55 基于临时曲线形状 75 的各个临时圆弧  $L_{0,j}$  的弧长  $R_{0,j}\phi_{0,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值,对各个传感器单元  $S_i$  的位置进行修正。此外,最终曲线形状检测部 65 用最终圆弧  $L_{F,j}$  对进行了位置修正的各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补,并对最终曲线形状 85 进行检测。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 的最终曲线形状 85,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。

[0258] 此外,在通过传感器位置顺序校正部 57 对各个传感器单元  $S_i$  的位置进行校正时,传感器移动部 61 将传感器单元  $S_i$  从移动前位置  $Q_{t-1,i}$  移动到移动后位置  $Q_{t,i}$ 。并且,每当通过传感器移动部 61 进行一次传感器单元  $S_i$  的移动时,通过移动后圆弧形成部 62 对相对于传感器单元  $S_i$  相邻设置于基端侧的传感器单元  $S_{i-1}$  的最终位置  $P_{F,i-1}$  与传感器单元  $S_i$  的移动后位置  $Q_{t,i}$  之间进行曲线插补,形成移动后圆弧  $L_{t,j}$ 。并且,在形成移动后圆弧  $L_{t,j}$  后,通过移动控制部 63 计算移动后圆弧  $L_{t,j}$  的弧长  $R_{t,j}\phi_{t,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值即能量  $E_{t,j}$ 。在能量  $E_{t,j}$  大于预定阈值的情况下,传感器移动部 61 使传感器单元  $S_i$  从位置  $Q_{t,i}$  进一步移动。在能量  $E_{t,j}$  在预定阈值以下的情况下,最终位置确定部 64 将通过传感器移动部 61 对传感器单元  $S_i$  的最终一次移动的移动后位置  $Q_{F,i}$  确定为作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$ 。即,重复传感器移动部 61 对传感器单元  $S_i$  的移动,直到能量  $E_{t,j}$  为预定阈值以下为止。如上所述,由于基于各个传感器单元  $S_i$  之间的实际尺寸即传感器间尺寸  $I$ ,进行传感器位置顺序校正部 57 对各个传感器单元  $S_i$  的位置校正,因此能够检测与实际的插入部 11 的形状的误差较小的最终曲线形状 85。由此,能够以高精度对插入部 11 的最终曲线形状 85 进行检测。

[0259] 此外,在通过传感器位置修正部 55 对传感器单元  $S_i$  的位置进行修正时,仅相对于传感器单元  $S_i$  相邻设置于基端侧的传感器单元  $S_{i-1}$  与传感器单元  $S_i$  之间的形状受影响,将临时圆弧  $L_{0,j}$  修正为最终圆弧  $L_{F,j}$ 。即,不是每当进行一个传感器单元  $S_i$  的位置修正时,就修正插入部 11 的形状整体的结构。这里,传感器间尺寸  $I$  是各个传感器单元  $S_i$  在长度方向

的尺寸,是插入部 11 的局部参数。即,传感器间尺寸 I 不是对插入部 11 整体的形状产生影响的参数,而是对插入部 11 的形状产生局部影响的参数。因此,通过一个传感器单元  $S_i$  的位置修正,在位置修正后的传感器单元  $S_i$  附近对插入部 11 的形状进行局部修正,因此能够以高精度进行从临时圆弧  $L_{0,j}$  到最终圆弧  $L_{F,j}$  的修正。由此,能够以高精度对插入部 11 的最终曲线形状 85 进行检测。此外,由于通过一个传感器单元  $S_i$  的位置修正,仅在位置修正后的传感器单元  $S_i$  附近对插入部 11 的形状进行局部修正,因此能够使修正插入部 11 的形状的处理单纯化。

[0260] 此外,在最终曲线形状检测部 65 中,通过在插补函数  $L_{F,j}(t)$  中使  $t$  从 0 变化到 1,对各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补,形成各个最终圆弧  $L_{F,j}$ 。此时,相对于参变量  $t$  的变化以等角速度对各个传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$  之间进行曲线插补。因此,在对各个最终位置  $P_{F,i}$  之间进行插补时,不需要考虑角速度的变化,因此能够使形成各个最终圆弧  $L_{F,j}$  的处理单纯化。

[0261] 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 的最终曲线形状 85 进行检测。

[0262] (第 2 实施方式)

[0263] 接着,参照图 19 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。

[0264] 与第一实施方式同样,本实施方式的传感器位置修正部 55 具有:传感器位置顺序校正部 57,其从基端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)的传感器单元  $S_i$  依次进行各个传感器单元  $S_i$  的从校正前位置  $Q_{0,i}$  向最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正;以及未校正传感器组移动部 59,其每当传感器位置顺序校正部 57 进行一个传感器单元  $S_i$  的位置校正时,使未完成位置校正的传感器单元  $S_i$  即未校正传感器组 77 平行移动。

[0265] 与第一实施方式同样,传感器位置顺序校正部 57 具有使作为位置校正的对象的校正对象传感器 81 从校正前位置  $Q_{0,i}$  移动一次以上的传感器移动部 61。通过利用传感器移动部 61 的一次移动,校正对象传感器 81 从移动前位置  $Q_{t-1,i}$  移动到移动后位置  $Q_{t,i}$ 。此外,传感器位置顺序校正部 57 具有移动后圆弧形成部 62,每当通过传感器移动部 61 进行一次校正对象传感器 81 的移动时,移动后圆弧形成部 62 对相对于校正对象传感器 81 相邻设置于基端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)的传感器单元  $S_i$  即近位侧相邻设置传感器 82 的最终位置  $P_{F,i-1}$  与校正对象传感器 81 的移动后位置  $Q_{t,i}$  之间进行曲线插补。在移动后圆弧形成部 62 中对近位侧相邻设置传感器 82 的最终位置  $P_{F,i-1}$  与校正对象传感器 81 的移动后位置  $Q_{t,i}$  之间进行曲线插补,由此形成移动后圆弧  $L_{t,j}$ 。

[0266] 传感器位置顺序校正部 57 具有移动控制部 63,该移动控制部 63 将传感器移动部 61 控制成重复进行预定次数的校正对象传感器 81 的移动的状态,该移动使得移动后圆弧  $L_{t,j}$  的弧长  $R_{t,j}\phi_{t,j}$  与传感器间尺寸 I 之间的差的绝对值比对近位侧相邻设置传感器 82 的最终位置  $P_{F,i-1}$  与校正对象传感器 81 的移动前的移动前位置  $Q_{t-1,i}$  之间进行曲线插补而形成

的移动前圆弧  $L_{t-1,j}$  的弧长  $R_{t-1,j}\phi_{t-1,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值小。这里,将移动前圆弧  $L_{t-1,j}$  的弧长  $R_{t-1,j}\phi_{t-1,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值设为能量  $E_{t-1,j}$ 。同样,将移动后圆弧  $L_{t,j}$  的弧长  $R_{t,j}\phi_{t,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值设为能量  $E_{t,j}$ 。此外,传感器位置顺序校正部 57 具有将通过传感器移动部 61 的最终一次移动的移动后位置  $Q_{F,i}$  确定为校正对象传感器 81 的最终位置  $P_{F,i}$  的最终位置确定部 64。

[0267] 这里,对利用传感器位置修正部 55 修正各个传感器单元  $S_i$  的位置的方法进行说明。与第一实施方式同样,传感器位置修正部 55 基于由临时曲线形状检测部 50 检测到的临时曲线形状 75 的各个临时圆弧  $L_{0,j}$  的弧长  $R_{0,j}\phi_{0,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值,对各个传感器单元  $S_i$  的位置进行修正(图 4 的步骤 S106)。即,基于用式 (22) 求出的能量  $E_{0,j}$ ,对各个传感器单元  $S_i$  的位置进行修正。由此,将各个传感器单元  $S_i$  从临时位置  $P_{0,i}$  修正到最终位置  $P_{F,i}$ 。

[0268] 图 19 是示出利用传感器位置修正部 55 修正各个传感器单元  $S_i$  的位置的方法的流程图。如图 19 所示,与第一实施方式同样,在修正各个传感器单元  $S_i$  的位置时,通过传感器位置顺序校正部 57 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  $S_i$  依次进行各个传感器单元  $S_i$  的从校正前位置  $Q_{0,i}$  向最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正。传感器位置顺序校正部 57 开始进行未校正传感器组 77 中的最靠基端侧的传感器单元  $S_i$  的位置校正(步骤 S141)。即,在到传感器单元  $S_{k-1}$  为止已经完成了从校正前位置  $Q_{0,i}$  到最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正的情况下,通过传感器位置顺序校正部 57 开始未校正传感器组 77 中的最靠基端侧的传感器单元  $S_k$  的向最终位置  $P_{F,k}$  的位置校正。此时,传感器单元  $S_k$  成为作为位置校正的对象的校正对象传感器 81。另外,在以下的说明中,对从基端侧起第  $(k+1)$  个传感器单元  $S_k$  的位置校正进行说明。

[0269] 在开始进行作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  的位置校正时,到传感器单元  $S_{k-1}$  为止已经完成了向最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正。此时,传感器单元  $S_k$  位于校正前位置  $Q_{0,k}$ 。在该状态下,通过传感器移动部 61 将传感器单元  $S_k$  从位置  $Q_{0,k}$  移动到位置  $Q_{1,k}$ (步骤 S142),并进行传感器单元  $S_k$  的第一次移动。进行 1 次以上的传感器移动部 61 对传感器单元  $S_k$  的移动。并且,在第  $s$  次的移动中,将作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  从移动前位置  $Q_{s-1,k}$  移动到移动后位置  $Q_{s,k}$ 。即,通过传感器移动部 61 的一次移动,将传感器单元  $S_k$  从移动前位置  $Q_{t-1,k}$  移动到移动后位置  $Q_{t,k}$ (步骤 S142)。

[0270] 并且,每当通过传感器移动部 61 进行一次传感器单元  $S_k$  的移动时,移动后圆弧形成部 62 对相对于传感器单元  $S_k$  相邻设置于基端侧的传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{t,k}$  之间进行曲线插补,形成移动后圆弧  $L_{t,k}$ (步骤 S143)。在第  $s$  次的移动后,对传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{s,k}$  之间进行曲线插补,形成移动后圆弧  $L_{s,k}$ 。此处,传感器单元  $S_{k-1}$  是相对于作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  相邻设置于离全局坐标系  $C$  的原点较近一侧的近位侧相邻设置传感器 82。

[0271] 在传感器单元  $S_k$  的第  $s$  次的移动后形成移动后圆弧  $L_{s,k}$  时,与第一实施方式同样地使用式 (23.1) ~ 式 (28) 计算移动后圆弧  $L_{s,k}$  的参数。并且使用计算出的参数,形成最终位置  $P_{F,k-1}$  与移动后位置  $Q_{s,k}$  之间的移动后圆弧  $L_{s,k}$ 。

[0272] 另外,对在传感器单元  $S_k$  的第  $s$  次移动后形成移动后圆弧  $L_{s,k}$  的处理进行了说明,

但是关于传感器单元  $S_k$  的第  $s$  次以外的移动后,使用在式 (23.1) ~ 式 (28) 中用  $t$  置换了  $s$  后的式子,也同样地形成传感器单元  $S_{k-1}$  的最终位置  $P_{F,k-1}$  与传感器单元  $S_k$  的移动后位置  $Q_{t,k}$  之间的移动后圆弧  $L_{t,k}$ 。

[0273] 传感器移动部 61 被移动控制部 63 控制成进行校正对象传感器 81 的移动的状态,该移动使得移动后圆弧  $L_{t,k}$  的弧长  $R_{t,k}\phi_{t,k}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值比对近位侧相邻设置传感器 82 的最终位置  $P_{F,k-1}$  与校正对象传感器 81 的移动前的移动前位置  $Q_{t-1,k}$  之间进行曲线插补而形成的移动前圆弧  $L_{t-1,k}$  的弧长  $R_{t-1,k}\phi_{t-1,k}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值小。这里,将移动后圆弧  $L_{t,k}$  的弧长  $R_{t,k}\phi_{t,k}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值设为能量  $E_{t,k}$ ,并与第一实施方式同样地用式 (29) 给出。此外,将移动前圆弧  $L_{t-1,k}$  的弧长  $R_{t-1,k}\phi_{t-1,k}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值设为能量  $E_{t-1,k}$ ,并用以  $t-1$  置换了式 (29) 中的  $t$  的式子给出。即,传感器移动部 61 进行作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  的移动以变为移动后的能量  $E_{t,k}$  比移动前的能量  $E_{t-1,k}$  小的状态 (步骤 S142)。另外,例如传感器单元  $S_k$  的通过第  $s$  次移动的移动前圆弧  $L_{s-1,k}$  与传感器单元  $S_k$  的通过第  $(s-1)$  次移动的移动后圆弧  $L_{s-1,k}$  是相同的圆弧。使用在式 (23.1) ~ 式 (28) 中以  $s-1$  置换了  $s$  后的式子,形成传感器单元  $S_k$  的通过第  $s$  次移动的移动前圆弧  $L_{s-1,k}$ 。

[0274] 并且,移动控制部 63 判断是否进行了预定次数的作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  的移动 (步骤 S144)。在没有进行预定次数的传感器单元  $S_k$  的移动的情况下 (步骤 S144- 否),返回步骤 S122,传感器移动部 61 使传感器单元  $S_k$  从位置  $Q_{t,k}$  进一步移动。此时,在传感器单元  $S_k$  的第  $s$  次的移动后,通过传感器移动部 61 进行第  $(s+1)$  次的移动。通过第  $(s+1)$  次的移动,传感器单元  $S_k$  从移动前位置  $Q_{s,k}$  移动到移动后位置  $Q_{s+1,k}$ 。如上所述,传感器移动部 61 被移动控制部 63 控制成重复进行预定次数的作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  的从移动前位置  $Q_{t-1,k}$  向移动后位置  $Q_{t,k}$  的移动的状态。

[0275] 在进行了预定次数的传感器单元  $S_k$  的移动的情况下 (步骤 S144- 是),进入下一步骤。并且,最终位置确定部 64 将通过传感器移动部 61 对传感器单元  $S_k$  的最终一次 (例如第  $F$  次) 移动的移动后位置  $Q_{F,k}$  确定为作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_k$  的最终位置  $P_{F,k}$  (步骤 S145)。如上所述,传感器单元  $S_k$  的向最终位置  $P_{F,k}$  的位置修正完成。

[0276] 另外,关于传感器单元  $S_k$  以外的传感器单元  $S_i$ ,也通过传感器位置顺序校正部 57 与传感器单元  $S_k$  同样地进行向最终位置  $P_{i,k}$  的位置校正。即,通过传感器移动部 61 将传感器单元  $S_i$  从移动前位置  $Q_{t-1,i}$  移动到移动后位置  $Q_{t,i}$  (步骤 S142)。并且,每当通过传感器移动部 61 进行一次传感器单元  $S_i$  的移动时,通过移动后圆弧形成部 62 对相对于传感器单元  $S_i$  相邻设置于基端侧的传感器单元  $S_{i-1}$  的最终位置  $P_{F,i-1}$  与传感器单元  $S_i$  的移动后位置  $Q_{t,i}$  之间进行曲线插补,形成移动后圆弧  $L_{t,j}$  (步骤 S143)。传感器移动部 61 进行传感器单元  $S_i$  的移动,以变为移动后圆弧  $L_{t,j}$  的弧长  $R_{t,j}\phi_{t,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值比移动前圆弧  $L_{t-1,j}$  的弧长  $R_{t-1,j}\phi_{t-1,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值小的状态 (步骤 S142)。即,进行作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_i$  的移动以变为移动后的能量  $E_{t,j}$  比移动前的能量  $E_{t-1,j}$  小的状态。

[0277] 并且,在形成了移动后圆弧  $L_{t,j}$  后,判断是否通过移动控制部 63 进行了预定次数的传感器单元  $S_i$  的移动 (步骤 S144)。在没有进行预定次数的传感器单元  $S_i$  的移动的情况下 (步骤 S144- 否),返回步骤 S142,传感器移动部 61 使传感器单元  $S_i$  从位置  $Q_{t,i}$  进一

步移动。在进行了预定次数的传感器单元  $S_i$  的移动的情况下（步骤 S144- 是），进入下一步骤。并且，最终位置确定部 64 将通过传感器移动部 61 对传感器单元  $S_i$  的最终一次移动的移动后位置  $Q_{F,i}$  确定为作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$ （步骤 S145）。如上所述，传感器单元  $S_i$  的向最终位置  $P_{F,i}$  的位置校正完成。

[0278] 并且，与第一实施方式同样，每当由传感器位置顺序校正部 57 进行一个传感器单元  $S_i$  的位置校正时，通过未校正传感器组移动部 59 使没有进行位置校正的传感器单元  $S_i$  即未校正传感器组 77 平行移动（步骤 S146）。未校正传感器组移动部 59 中的处理与第一实施方式相同，因此省略详细说明。

[0279] 并且，确认是否对所有的传感器单元  $S_i$  完成了位置校正（步骤 S147）。在对所有的传感器单元  $S_i$  完成了位置校正的情况下（步骤 S147- 是），进入下一步骤。在没有对所有的传感器单元  $S_i$  完成位置校正的情况下（步骤 S147- 否），返回步骤 S141，通过传感器位置顺序校正部 57 进行未校正传感器组 77 中的最靠基端侧的传感器单元  $S_i$  的位置校正。即，在对所有的传感器单元  $S_i$  完成位置校正之前，重复进行步骤 S141 ~ S146。

[0280] 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，除了与第一实施方式相同的效果以外，还发挥以下的效果。即，在内窥镜形状检测装置 1 中，通过传感器位置顺序校正部 57 对各个传感器单元  $S_i$  的位置进行校正时，传感器移动部 61 将传感器单元  $S_i$  从移动前位置  $Q_{t-1,i}$  移动到移动后位置  $Q_{t,i}$ 。并且，每当通过传感器移动部 61 进行一次传感器单元  $S_i$  的移动时，通过移动后圆弧形部 62 对相对于传感器单元  $S_i$  相邻设置于基端侧的传感器单元  $S_{i-1}$  的最终位置  $P_{F,i-1}$  与传感器单元  $S_i$  的移动后位置  $Q_{t,i}$  之间进行曲线插补，形成移动后圆弧  $L_{t,j}$ 。传感器移动部 61 进行作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_i$  的移动，以变为移动后圆弧  $L_{t,j}$  的弧长  $R_{t,j}\phi_{t,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值比移动前圆弧  $L_{t-1,j}$  的弧长  $R_{t-1,j}\phi_{t-1,j}$  与传感器间尺寸  $I$  之间的差的绝对值小的状态。并且，在形成了移动后圆弧  $L_{t,j}$  后，判断是否通过移动控制部 63 进行了预定次数的传感器单元  $S_i$  的移动。在没有进行预定次数的传感器单元  $S_i$  的移动的情况下，传感器移动部 61 使传感器单元  $S_i$  从位置  $Q_{t,i}$  进一步移动。在进行了预定次数的传感器单元  $S_i$  的移动的情况下，最终位置确定部 64 将通过传感器移动部 61 对传感器单元  $S_i$  的最终一次移动的移动后位置  $Q_{F,i}$  确定为作为校正对象传感器 81 的传感器单元  $S_i$  的最终位置  $P_{F,i}$ 。即，重复传感器移动部 61 对传感器单元  $S_i$  的移动，直到进行预定次数的传感器单元  $S_i$  的移动为止。如上所述，基于各个传感器单元  $S_i$  之间的实际尺寸即传感器间尺寸  $I$ ，进行传感器位置顺序校正部 57 对各个传感器单元  $S_i$  的位置校正，因此能够检测与实际的插入部 11 的形状的误差较小的最终曲线形状 85。由此，能够以高精度对插入部 11 的最终曲线形状 85 进行检测。

[0281] （变形例）

[0282] 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，各个局部坐标系  $C_i$  只要是以传感器单元  $S_i$  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，替代式 (16. 1)、式 (16. 2)，使用

[0283] 【数学式 43】

$$[0284] \quad \mathbf{i}_k = [l_{xk} \quad l_{yk} \quad l_{zk}]^T = 1C_{B_{k-1}}^G \hat{\mathbf{i}}_{xk-1} = 1 \begin{bmatrix} -\sin\gamma_{k-1} \cdot \sin\alpha_{k-1} \cdot \sin\beta_{k-1} + \cos\beta_{k-1} \cdot \cos\gamma_{k-1} \\ \cos\gamma_{k-1} \cdot \sin\alpha_{k-1} \cdot \sin\beta_{k-1} + \cos\beta_{k-1} \cdot \sin\gamma_{k-1} \\ -\cos\alpha_{k-1} \cdot \sin\beta_{k-1} \end{bmatrix} \quad (43.1)$$

$$[0285] \quad \hat{\mathbf{i}}_{xk-1} = [1 \quad 0 \quad 0]^T \quad (43.2)$$

[0286] 同样,当  $Z_i$  轴是长度方向轴时,替代式 (16. 1)、式 (16. 2),使用

[0287] 【数学式 44】

$$[0288] \quad \mathbf{i}_k = [l_{xk} \quad l_{yk} \quad l_{zk}]^T = 1C_{B_{k-1}}^G \hat{\mathbf{i}}_{zk-1} = 1 \begin{bmatrix} \sin\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \cdot \cos\beta_{k-1} + \sin\beta_{k-1} \cdot \cos\gamma_{k-1} \\ -\cos\gamma_{k-1} \cdot \sin\alpha_{k-1} \cdot \cos\beta_{k-1} + \sin\beta_{k-1} \cdot \sin\gamma_{k-1} \\ \cos\alpha_{k-1} \cdot \cos\beta_{k-1} \end{bmatrix} \quad (44.1)$$

$$[0289] \quad \hat{\mathbf{i}}_{zk-1} = [0 \quad 0 \quad 1]^T \quad (44.2)$$

[0290] 这里,式 (43. 2) 的向量是局部坐标系  $C_{k-1}$  的原点处的长度方向即  $X_{k-1}$  轴方向的单位向量,式 (44. 2) 的向量是局部坐标系  $C_{k-1}$  的原点处的长度方向即  $Z_{k-1}$  轴方向的单位向量。

[0291] 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,只要为这样的坐标系即可: $X$  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) 所示的重力加速度矢量的全局坐标系  $C$  的  $X$  轴方向分量、 $Y$  轴方向分量、 $Z$  轴方向分量为

[0292] 【数学式 45】

$$[0293] \quad \hat{\mathbf{a}}_{th} = [-g \quad 0 \quad 0]^T \quad (45)$$

[0294] 在第一实施方式中,姿态角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  是按照偏摆角  $\gamma_i$ 、俯仰角  $\alpha_i$ 、滚转角  $\beta_i$  的顺序旋转的 ( $Z, X, Y$ ) 型,但在该情况下,改变姿态角  $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$  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  $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ 。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  $\alpha_i$ 。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  $\alpha_i$ 、 $\gamma_i$ 。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  $\beta_i$ 。

[0295] 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,临时链形成部 41 使用以  $j+1$  置换了式 (16. 1)、式 (16. 2) 中的  $k$  的式子,求出从临时链  $T_{0,j}$  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  $S_j$  向临时链  $T_{0,j}$  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  $S_{j-1}$  的向量。进而,利用从传感器单元  $S_j$  向传感器单元  $S_{j-1}$  的向量形成临时链  $T_{0,j}$ 。即,临时链形成部 41 将临时链  $T_{0,j}$  假定为,沿着前端侧的传感器单元  $S_j$  的中心处的长度方向,从前端侧 (离全局坐标系  $C$  的原点较近的一侧) 的传感器单元  $S_j$  的中心延伸设置到基端侧 (离全局坐标系  $C$  的原点较远的一侧) 的传感器单元  $S_{j-1}$  的中心,来形成临时链  $T_{0,j}$ 。并且,在利用传感器位置修正部 55 的传感器位置顺序校正部 57 进

行各个传感器单元  $S_i$  的位置校正时,从前端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)的传感器单元  $S_i$  依次进行位置校正。此时,与校正对象传感器 81 的前端侧(离全局坐标系 C 的原点较近的一侧)相邻设置的传感器单元  $S_i$  成为近位侧相邻设置传感器 82。

[0296] 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。

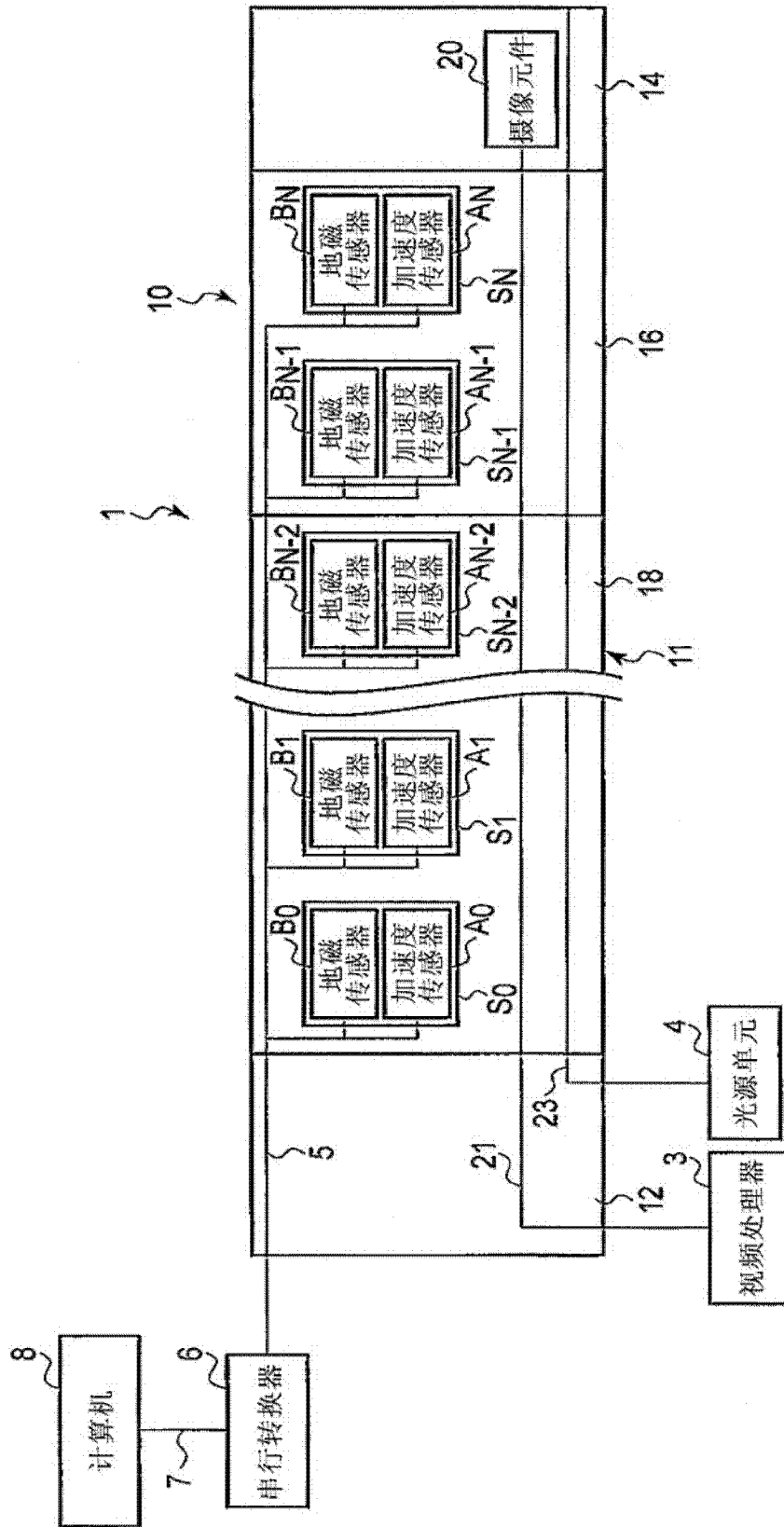


图 1

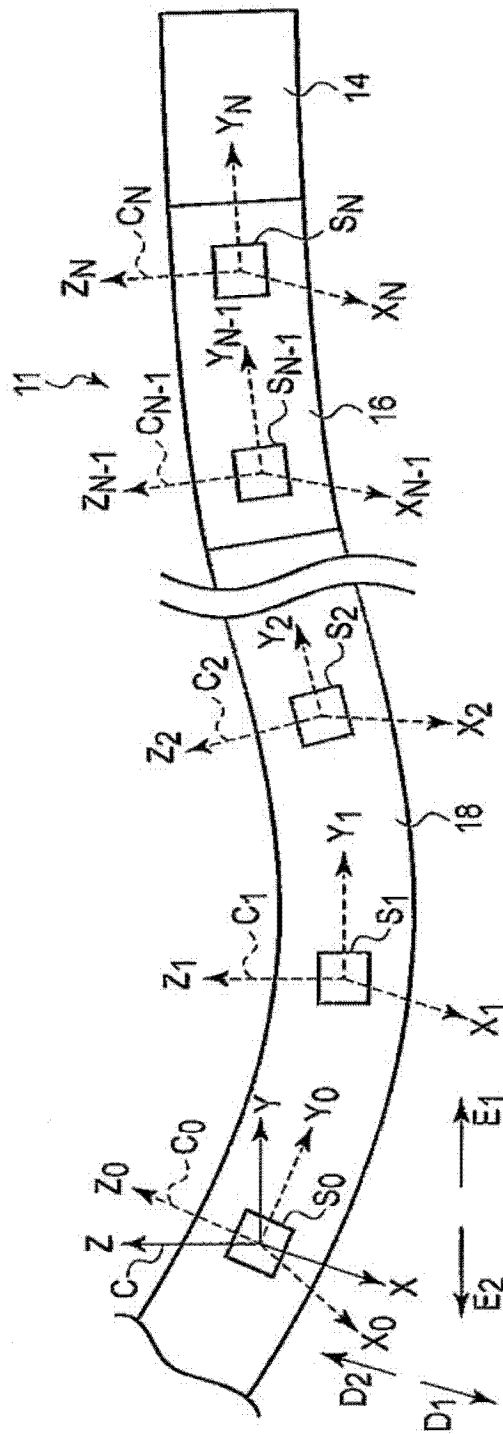


图 2

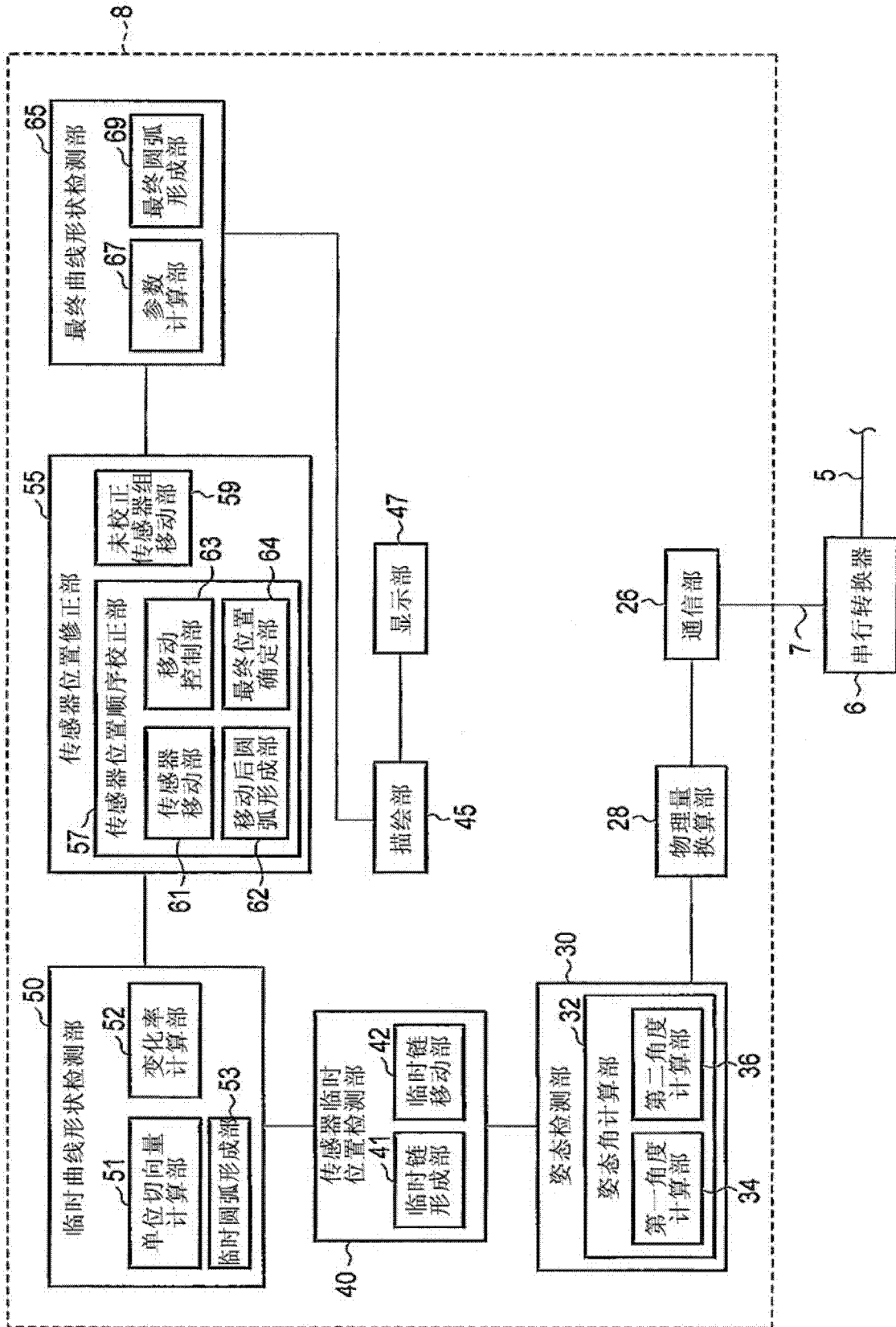


图 3

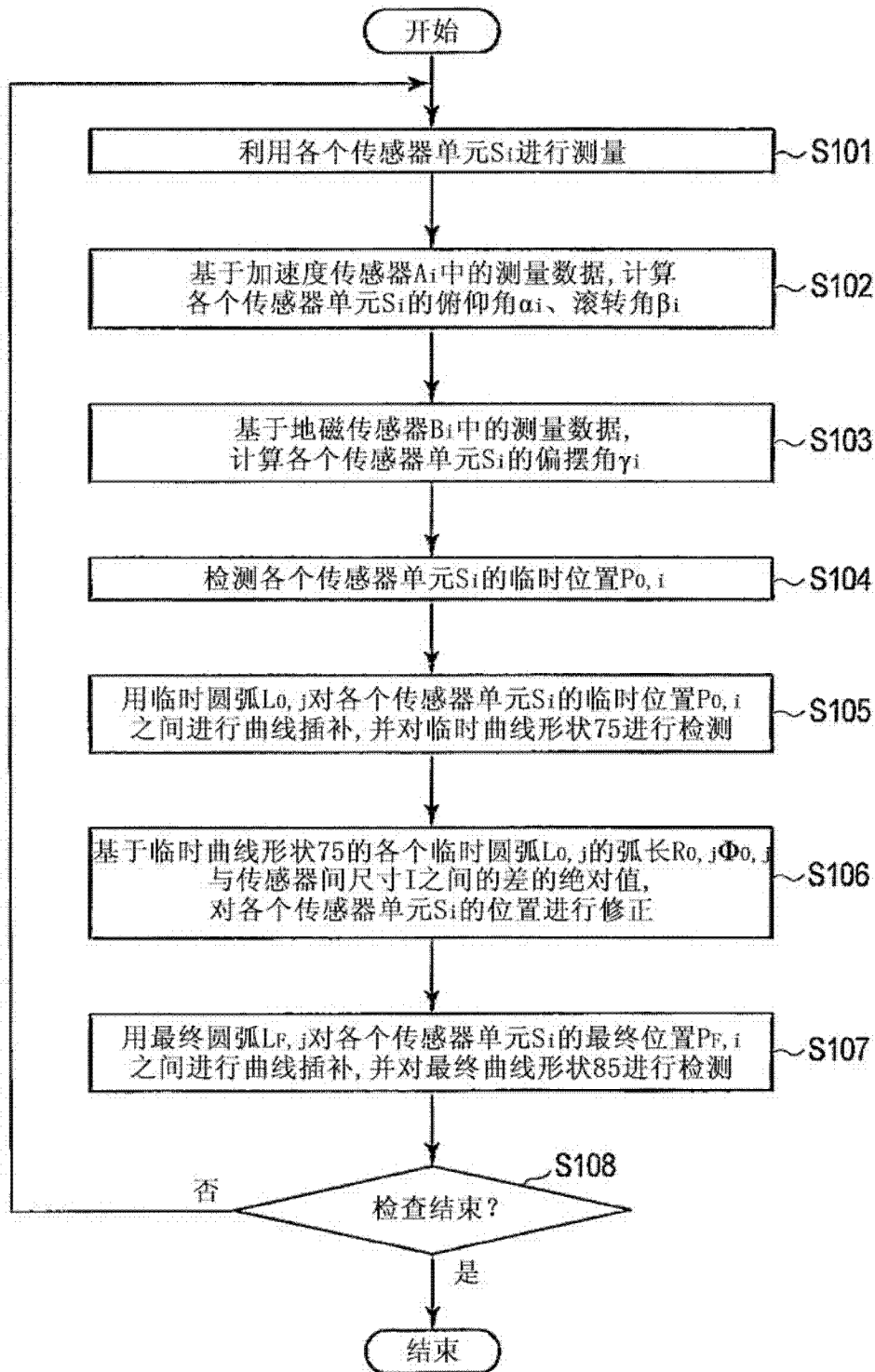


图 4

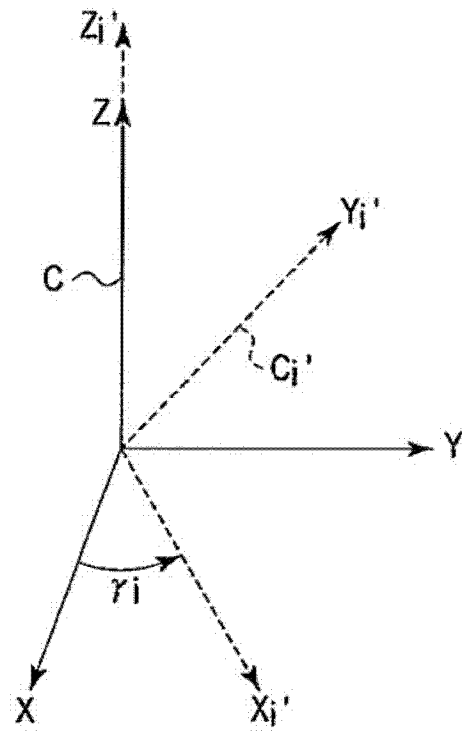


图 5

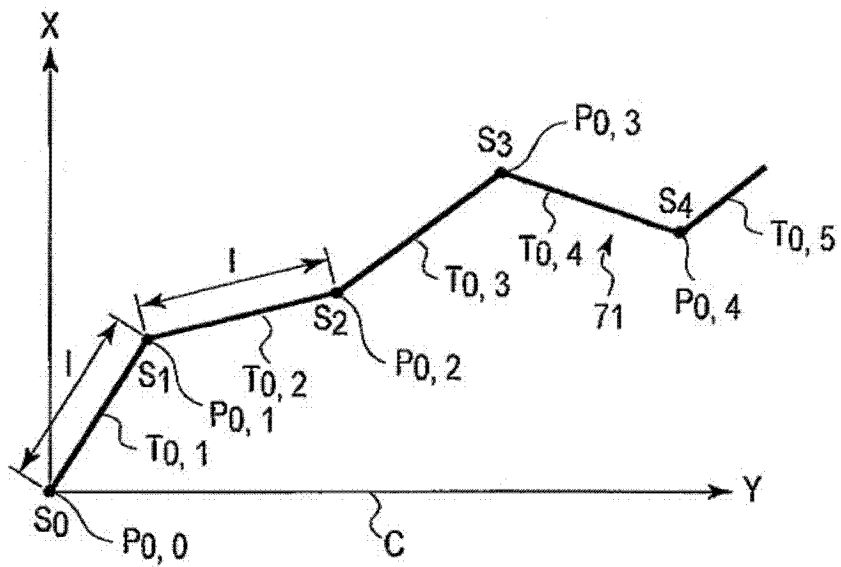


图 6

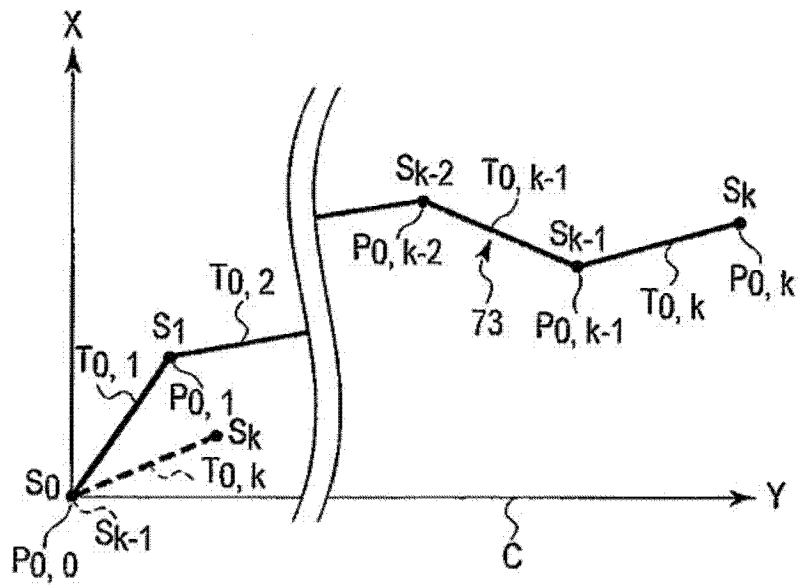


图 7

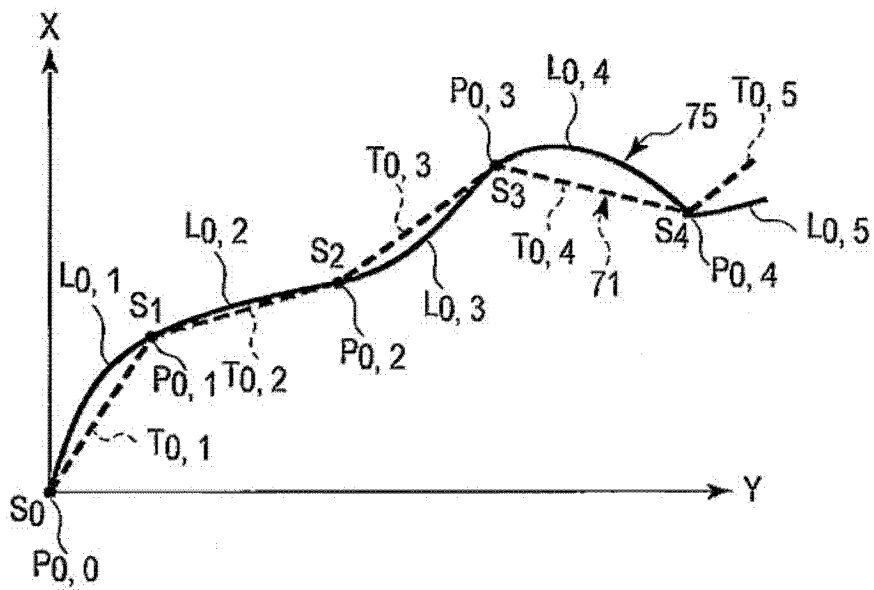


图 8

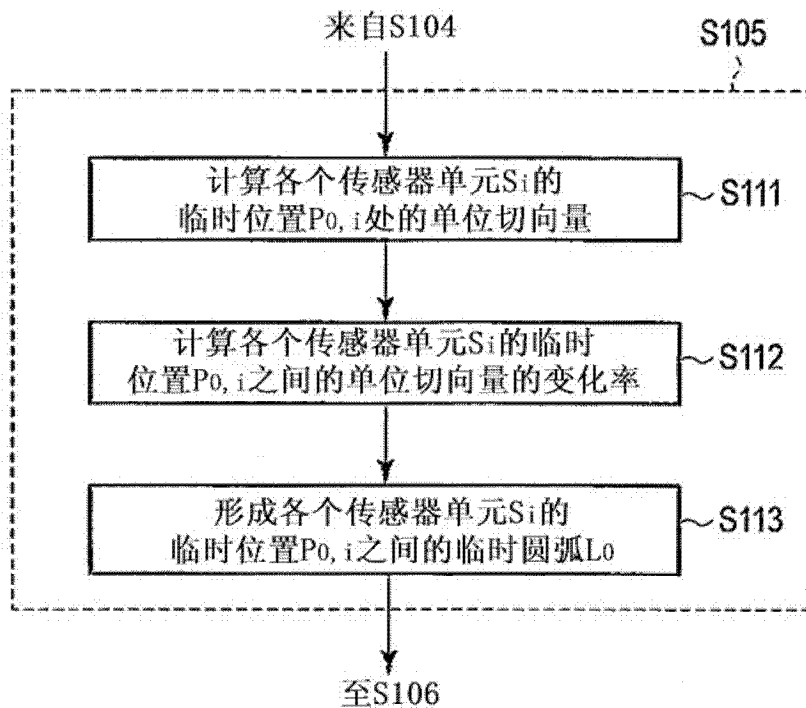


图 9

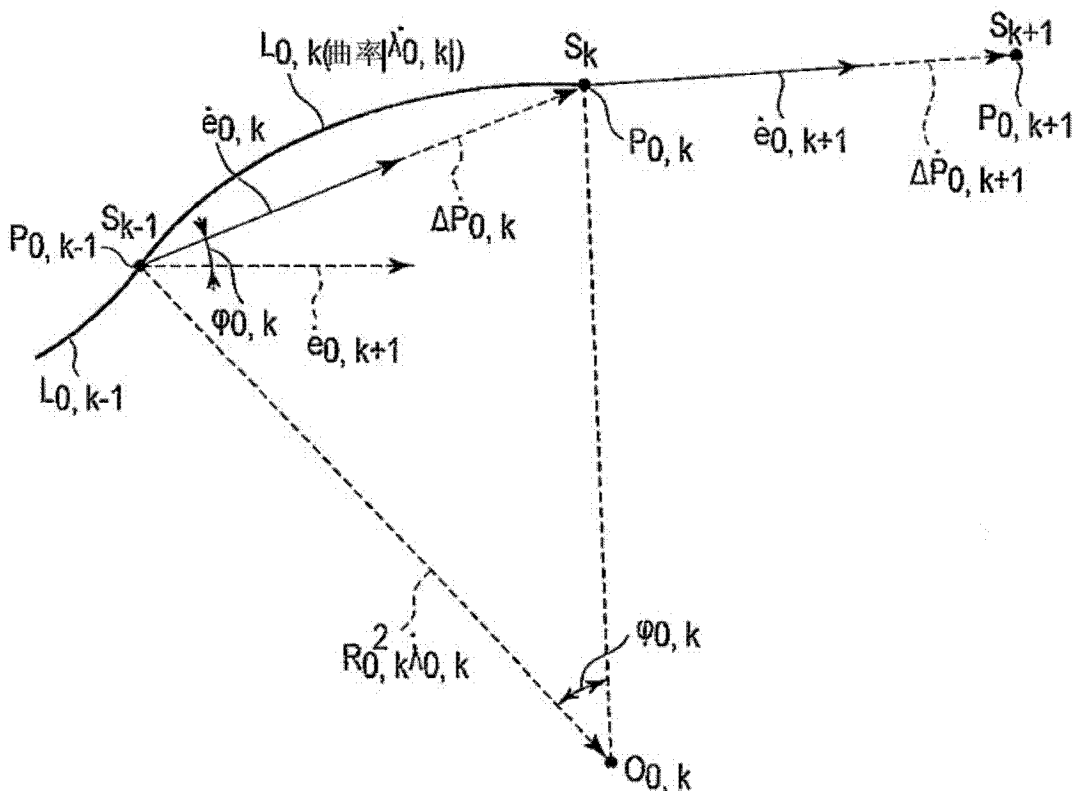


图 10

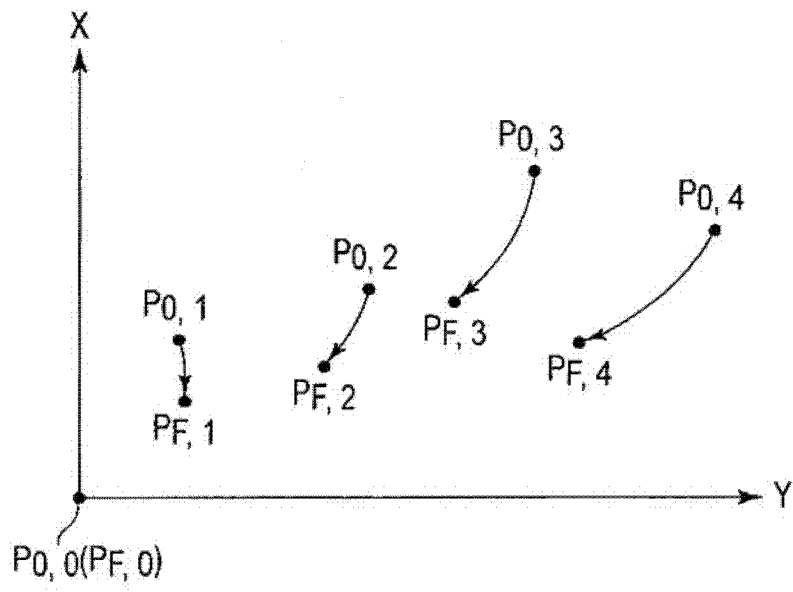


图 11

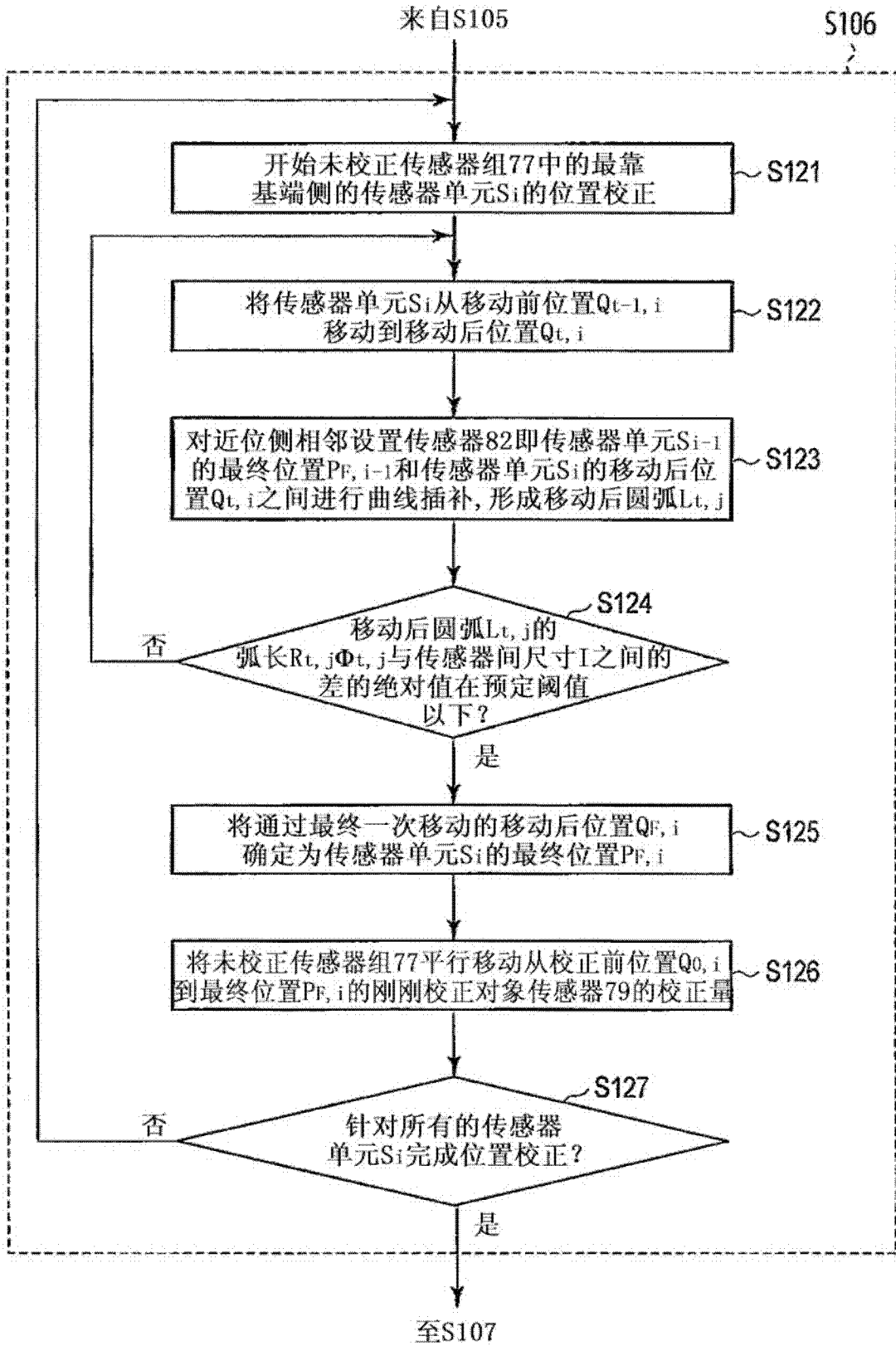


图 12

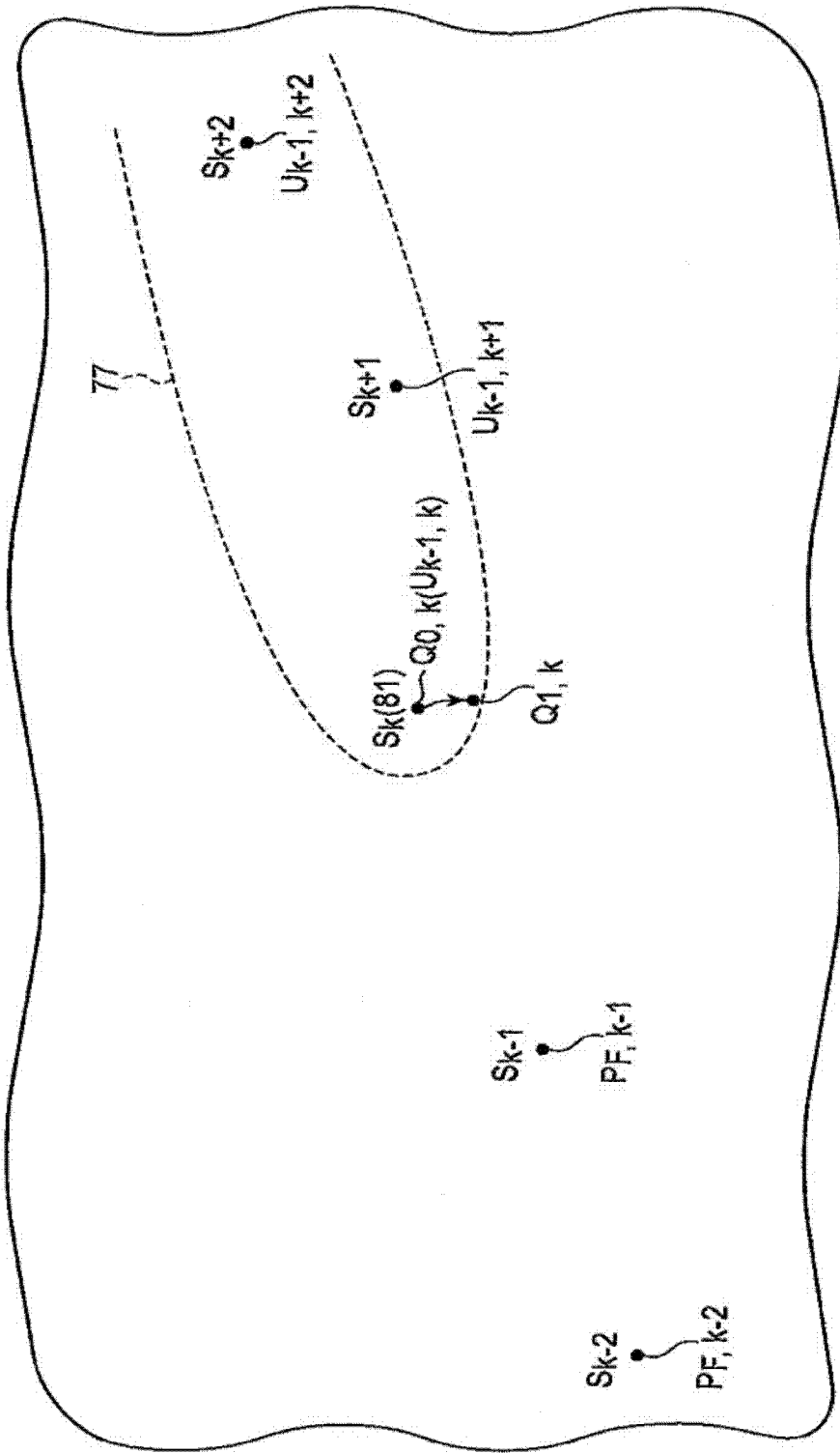


图 13

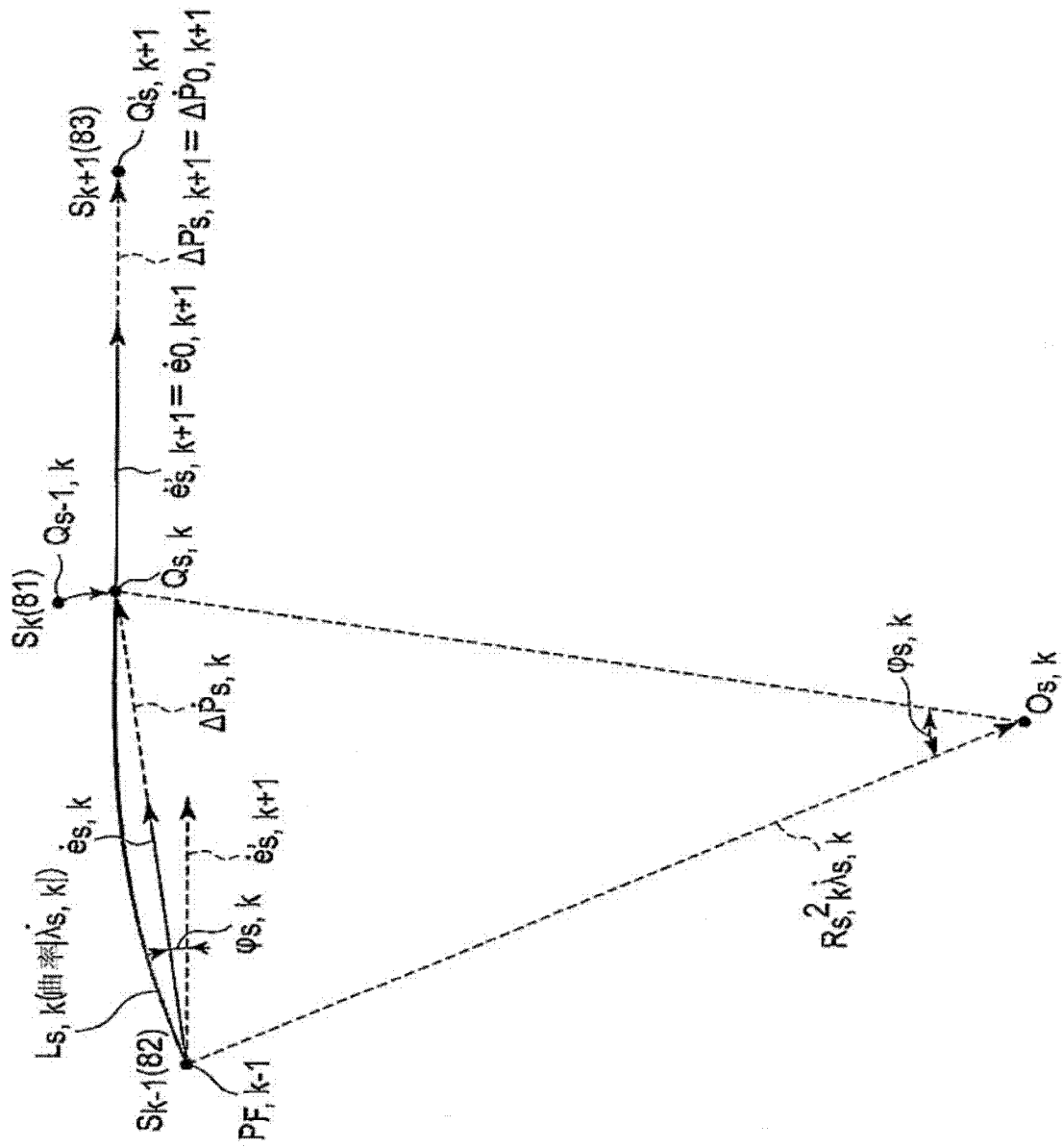


图 14

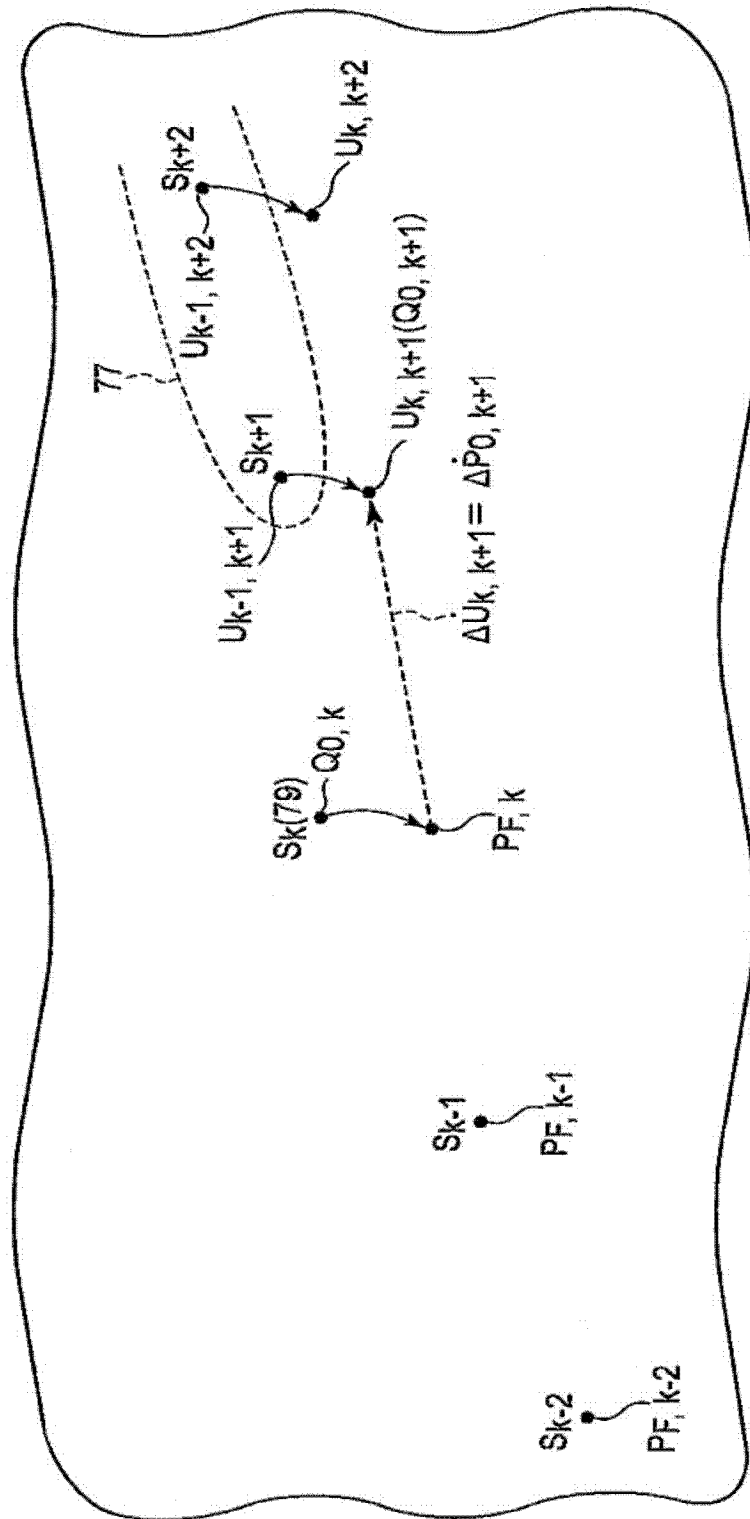


图 15

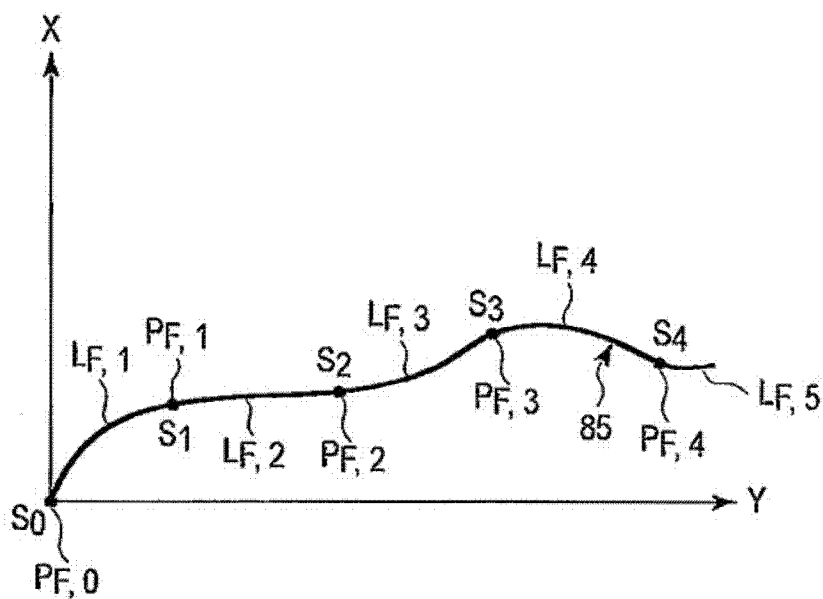


图 16

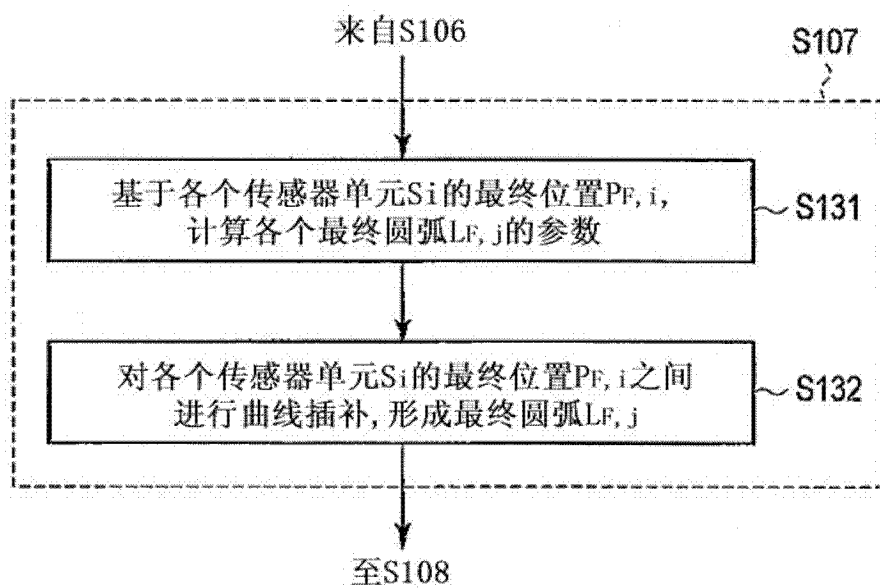


图 17

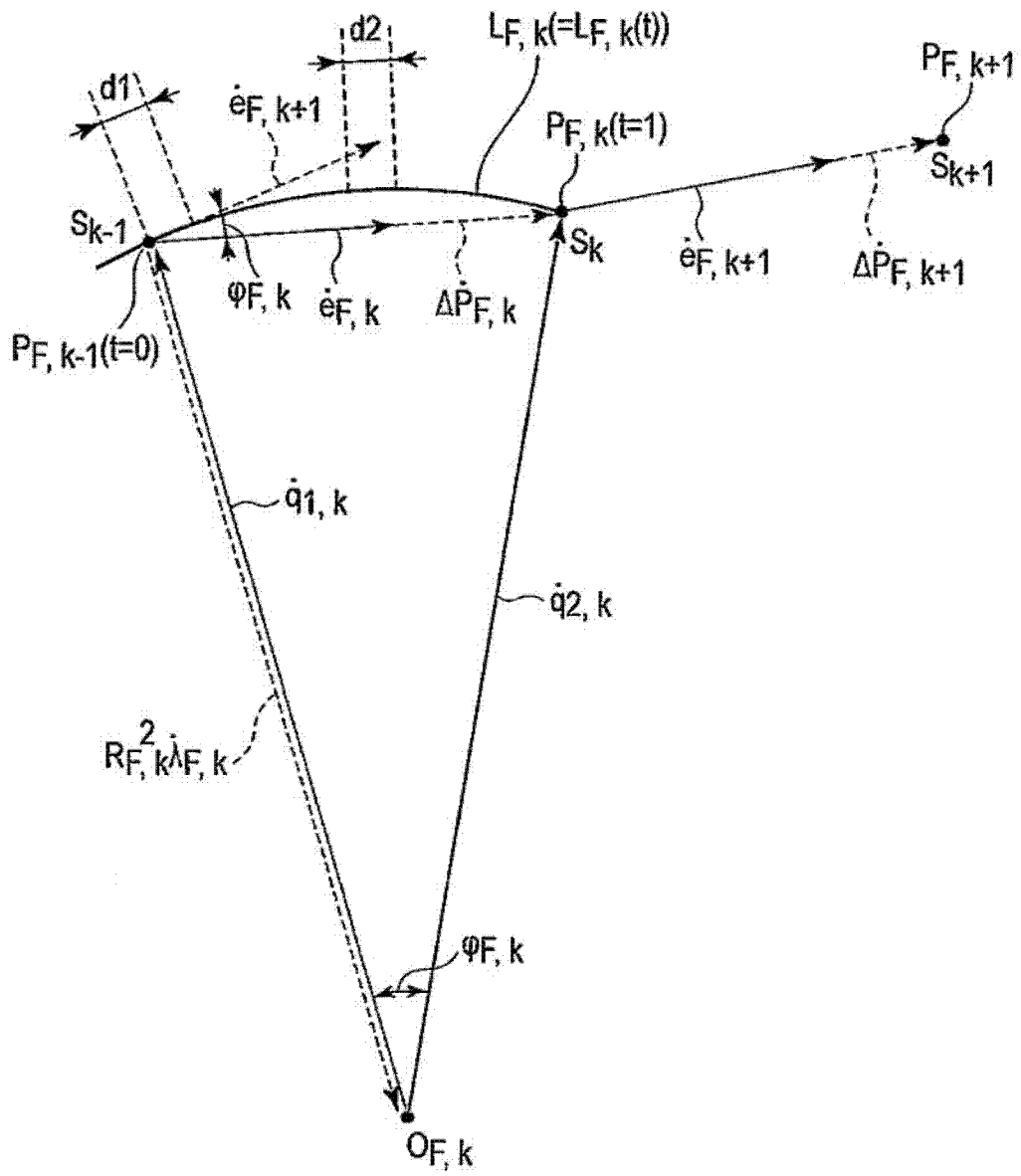


图 18

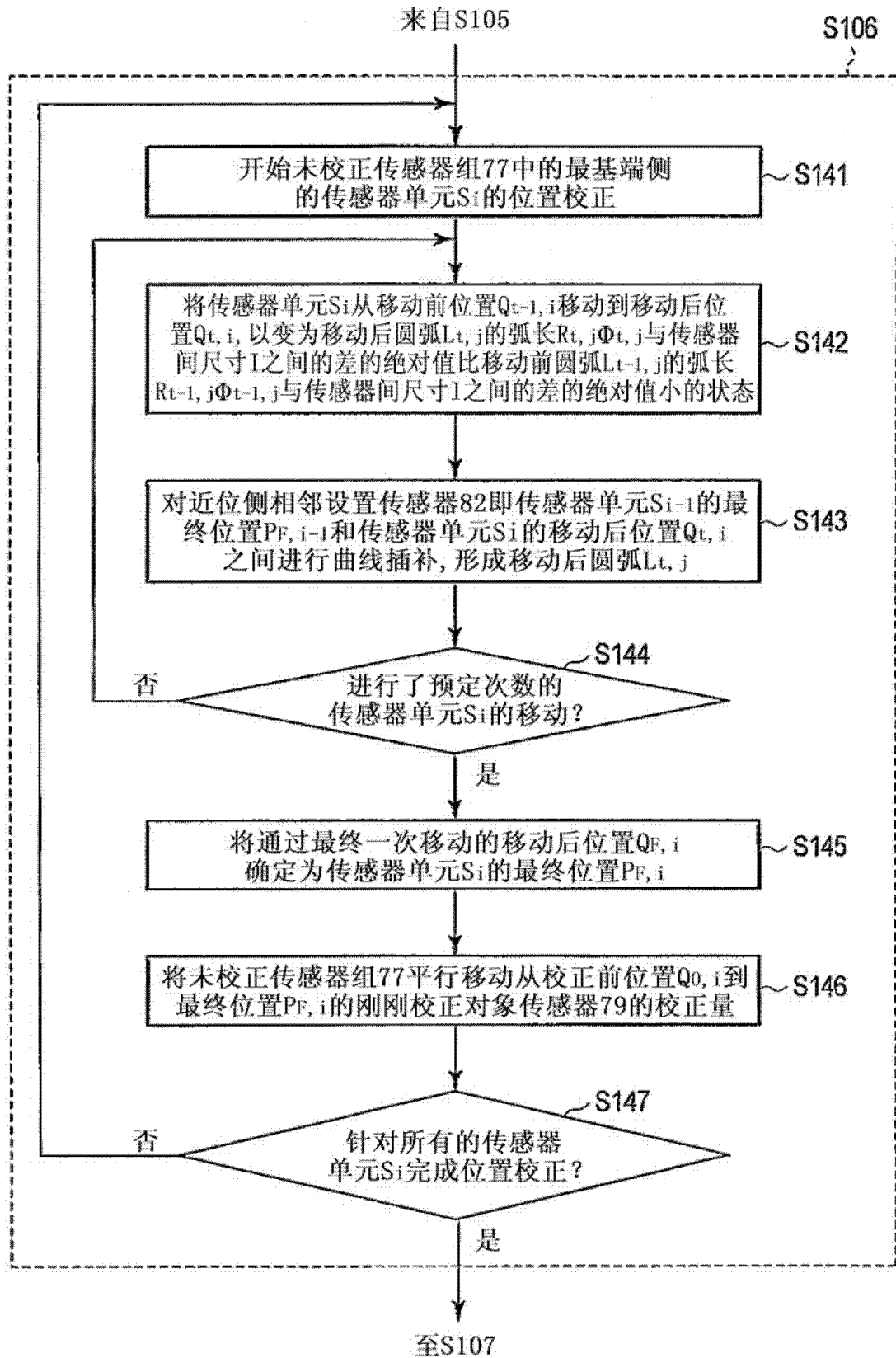


图 19

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	<a href="#">CN102487602A</a>	公开(公告)日	2012-06-06
申请号	CN201180003551.8	申请日	2011-06-15
[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		
CPC分类号	A61B5/065 A61B1/0051		
代理人(译)	李辉		
优先权	2010191350 2010-08-27 JP		
其他公开文献	CN102487602B		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

内窥镜形状检测装置具备：传感器临时位置检测部，其基于各个传感器单元的姿态，将各个所述传感器单元之间假定为尺寸与传感器间尺寸相等的直线状的临时链，来检测各个所述传感器单元的临时位置；以及临时曲线形状检测部，其基于各个所述传感器单元的所述临时位置，用临时圆弧对各个所述传感器单元的所述临时位置之间进行曲线插补，并对所述插入部的临时曲线形状进行检测。内窥镜形状检测装置具备：传感器位置修正部，其基于各个所述临时圆弧的弧长与所述传感器间尺寸之间的差的绝对值，将各个所述传感器单元的位置从所述临时位置修正到最终位置；以及最终曲线形状检测部，其用最终圆弧对各个所述传感器单元的所述最终位置之间进行曲线插补，并对所述插入部的最终曲线形状进行检测。

