



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 (61); 以及

曲线形状检测部 (50、70), 其将各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 之间的形状假定为弧长与所述传感器间尺寸 (I) 相等的圆弧 ( $L_j$ ), 来对由所述线形形状检测部 (40) 检测到的所述检测线形形状 (61) 进行曲线插补, 并对检测曲线形状 (65、81) 进行检测。

2. 根据权利要求 1 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述曲线形状检测部 (50、70) 具备:

曲线插补部 (51、71), 其针对各个所述链 ( $T_j$ ) 进行所述曲线插补, 形成各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 之间的所述圆弧 ( $L_j$ ); 以及

插补控制部 (52、72), 其将所述曲线插补部 (51、71) 控制为对所有的所述链 ( $T_j$ ) 进行所述曲线插补的状态。

3. 根据权利要求 2 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述曲线插补部 (51、71) 具备:

法线形成部 (55、75), 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, 形成第一插补法线 ( $N_{k-1}$ ) 和第二插补法线 ( $N_k$ ), 所述第一插补法线 ( $N_{k-1}$ ) 通过由所述曲线插补部 (51、71) 进行所述曲线插补的对象的所述链 ( $T_j$ ) 即插补对象链 ( $T_k$ ) 的离所述全局坐标 (C) 的所述原点较近一侧的端部即第一端点, 并与所述插补对象链 ( $T_k$ ) 垂直, 所述第二插补法线 ( $N_k$ ) 通过所述插补对象链 ( $T_k$ ) 的离所述全局坐标 (C) 的所述原点较远一侧的端部即第二端点, 并垂直于与所述插补对象链 ( $T_k$ ) 的离所述全局坐标 (C) 的所述原点较远一侧邻接的所述链 ( $T_j$ ) 即插补对象邻接链 ( $T_{k+1}$ );

中心确定部 (57、77), 其计算由所述法线形成部 (55、75) 形成的所述第一插补法线 ( $N_{k-1}$ ) 与所述第二插补法线 ( $N_k$ ) 的交点, 或者计算所述第一插补法线 ( $N_{k-1}$ ) 与所述第二插补法线 ( $N_k$ ) 之间的距离最小的两点的中间点, 并将所述交点或所述中间点确定为所述圆弧 ( $L_k$ ) 的中心 ( $O_k$ ); 以及

圆弧形成部 (59、79), 其形成所述圆弧 ( $L_k$ ), 该圆弧 ( $L_k$ ) 的半径 ( $R_k$ ) 与所述中心 ( $O_k$ ) 和所述插补对象链 ( $T_k$ ) 的所述第一端点之间的距离相同, 并且该圆弧以所述插补对象链 ( $T_k$ ) 的所述第一端点为起点。

4. 根据权利要求 2 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述曲线形状检测部 (50) 具备圆弧位置校正部 (53), 该圆弧位置校正部 (53) 使通过所述曲线插补部 (51) 形成的各个所述圆弧 ( $L_j$ ) 平行移动为与邻接的所述圆弧 ( $L_{j-1}$ 、 $L_{j+1}$ ) 的圆弧边界连续的状态, 对所述圆弧 ( $L_j$ ) 的位置进行校正。

5. 根据权利要求 2 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述曲线插补部 (71) 是插补顺序实施部 (71), 该插补顺序实施部 (71) 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, 从离所述全局坐标系 (C) 的所述原点较近一侧的所述链 ( $T_j$ ) 起依次进行所述曲线插补, 形成所述圆弧 ( $L_j$ ),

所述曲线形状检测部 (70) 具备未插补链位置校正部 (73), 该未插补链位置校正部 (73) 每当所述插补顺序实施部 (71) 进行一个所述链 ( $T_j$ ) 的所述曲线插补时, 使由未进行曲线插补的所述链 ( $T_j$ ) 即未插补链构成的插补未完成部 (85) 平行移动为与由通过所述曲线插补形成的所述圆弧 ( $L_j$ ) 构成的插补完成部 (83) 边界连续的状态, 对所述插补未完成部 (85) 的位置进行校正。

6. 根据权利要求 1 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 具备:

加速度传感器 ( $A_i$ ), 其在以所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的中心为原点并且 X 轴、Y 轴、Z 轴中的任意一个轴是轴方向与所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的所述中心处的所述内窥镜 (10) 的长度方向一致的长度方向轴的局部坐标系 ( $C_i$ ) 中, 测量所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 的所述原点处的加速度的三个轴方向分量; 以及

地磁传感器 ( $B_i$ ), 其在所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 中, 测量所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 的所述原点处的地磁的三个轴方向分量。

7. 根据权利要求 6 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述姿态检测部 (30) 具备姿态角计算部 (32), 该姿态角计算部 (32) 以全局坐标系 (C) 为基准, 计算各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 的绕铅垂方向轴及绕各水平方向轴的旋转角即三个姿态角 ( $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ ), 所述全局坐标系 (C) 以最靠基端侧或最靠前端侧的所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的中心为原点, 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所述铅垂方向轴, 所述铅垂方向轴以外的两个轴是配置于水平面上的所述水平方向轴。

8. 根据权利要求 7 所述的内窥镜形状检测装置 (1), 其中,

所述姿态角计算部 (32) 具备:

第一角度计算部 (34), 其基于由所述加速度传感器 ( $A_i$ ) 测量到的加速度数据, 计算各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 相对于所述全局坐标系 (C) 的绕各个所述水平方向轴的两个所述姿态角 ( $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ ); 以及

第二角度计算部 (36), 其基于由所述地磁传感器 ( $B_i$ ) 测量到的地磁数据, 计算各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 相对于所述全局坐标系 (C) 的绕所述铅垂方向轴的所述姿态角 ( $\gamma_i$ )。

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 (61); 以及

将各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 之间的形状假定为弧长与所述传感器间尺寸 ( $I$ ) 相等的圆弧 ( $L_j$ ), 来对检测到的所述检测线形形状 (61) 进行曲线插补, 形成检测曲线形状 (65、81)。

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,

对所述检测线形形状 (61) 进行曲线插补, 形成检测曲线形状的步骤 (65、81) 包括如下步骤:

对所有的所述链 ( $T_j$ ) 进行如下处理: 针对各个所述链 ( $T_j$ ) 进行所述曲线插补, 形成各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 之间的所述圆弧 ( $L_j$ )。

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,

针对各个所述链 ( $T_j$ ) 进行所述曲线插补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 ( $S_1$ 、 $S_N$ ) 的中心为原点的全局坐标系 (C) 中, 形成第一插补法线 ( $N_{k-1}$ ) 和第二插补法线 ( $N_k$ ), 所述第一插补法线 ( $N_{k-1}$ ) 通过进行所述曲线插补的对象的所述链 ( $T_j$ ) 即插补对象链 ( $T_k$ ) 的离所述全局坐标 (C) 的所述原点较近一侧的端部即第一端点, 并与所述插补对象链 ( $T_k$ ) 垂直, 所述第二插补法线 ( $N_k$ ) 通过所述插补对象链的离所述全局坐标的所述原点较远一侧的端部即第二端点, 并垂直于与所述插补对象链 ( $T_k$ ) 的离所述全局坐标 (C) 的所述原点较远一侧邻接的所述链 ( $T_j$ ) 即插补对象邻接链 ( $T_{k+1}$ );

计算所形成的所述第一插补法线 ( $N_{k-1}$ ) 与所述第二插补法线 ( $N_k$ ) 的交点, 或者计算所述第一插补法线 ( $N_{k-1}$ ) 与所述第二插补法线 ( $N_k$ ) 之间的距离最小的两点的中间点, 并将所述交点或所述中间点确定为所述圆弧 ( $L_k$ ) 的中心 ( $O_k$ ); 以及

形成所述圆弧 ( $L_k$ ), 该圆弧 ( $L_k$ ) 的半径 ( $R_k$ ) 与所述中心 ( $O_k$ ) 和所述插补对象链 ( $T_k$ ) 的所述第一端点之间的距离相同, 并且该圆弧以所述插补对象链 ( $T_k$ ) 的第一端点为起点。

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,

对所述检测线形形状 (61) 进行曲线插补, 形成检测曲线形状 (65) 的步骤包括如下步骤:

使针对各个所述链 ( $T_j$ ) 进行所述曲线插补而形成的各个所述圆弧 ( $L_j$ ) 平行移动为与邻接的所述圆弧 ( $L_{j-1}$ 、 $L_{j+1}$ ) 的圆弧边界连续的状态, 对所述圆弧 ( $L_j$ ) 的位置进行校正。

13. 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,

针对各个所述链 ( $T_j$ ) 进行所述曲线插补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 ( $S_1$ 、 $S_N$ ) 的中心为原点的全局坐标系 (C) 中, 从离所述全局坐标系 (C) 的所述原点较近一侧的所述链 ( $T_j$ ) 起依次进行所述曲线插补, 形成所述圆弧 ( $L_j$ );

对所述检测线形形状 (61) 进行曲线插补, 形成检测曲线形状 (81) 的步骤包括如下步骤: 每当进行一个所述链 ( $T_j$ ) 的所述曲线插补时, 使由未进行所述曲线插补的所述链 ( $T_j$ ) 即未插补链构成的插补未完成部 (85) 平行移动为与由通过所述曲线插补形成的所述圆弧 ( $L_j$ ) 构成的插补完成部 (83) 边界连续的状态, 对所述插补未完成部 (85) 的位置进行校正。

14. 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,

利用各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 进行测量的步骤包括如下步骤:

利用各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 所具备的加速度传感器 ( $A_i$ ), 在以所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的中心为原点并且 X 轴、Y 轴、Z 轴中的任意一个轴是轴方向与所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的所述

中心处的所述内窥镜 (10) 的长度方向一致的局部坐标系 ( $C_i$ ) 中, 测量所述原点处的加速度的三个轴方向分量; 以及

利用各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 所具备的地磁传感器 ( $B_i$ ), 在所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 中, 测量所述原点处的地磁的三个轴方向分量。

15. 根据权利要求 14 所述的所述内窥镜 (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 ( $S_i$ ) 的姿态进行检测的步骤包括如下步骤:

以全局坐标系 (C) 为基准, 计算各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 的绕铅垂方向轴及绕各水平方向轴的旋转角即三个姿态角 ( $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ ), 所述全局坐标系 (C) 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, 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所述铅垂方向轴, 所述铅垂方向轴以外的两个轴是配置于水平面上的所述水平方向轴。

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

计算绕所述铅垂方向轴及绕各所述水平方向轴的三个姿态角 ( $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 、 $\gamma_i$ ) 的步骤包括如下步骤:

基于由所述加速度传感器 ( $A_i$ ) 测量到的加速度数据, 计算各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 相对于所述全局坐标系 (C) 的绕各所述水平方向轴的两个所述姿态角 ( $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ ); 以及

基于由所述地磁传感器 ( $B_i$ ) 测量到的地磁数据, 计算各个所述传感器单元 ( $S_i$ ) 的所述局部坐标系 ( $C_i$ ) 相对于所述全局坐标系 (C) 的绕所述铅垂方向轴的所述姿态角 ( $\gamma_i$ )。

## 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;以及曲线形状检测部,其将各个所述传感器单元之间的形状假定为弧长与所述传感器间尺寸相等的圆弧,来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曲线插补,并对检测曲线形状进行检测。

[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所述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;以及将各个所述传感器单元之间的形状假定为弧长与所述传感器间尺寸相等的圆弧,来对检测到的所述检测线形形状进行曲线插补,形成检测曲线形状。

[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曲线形状检测部检测的检测曲线形状的示意图。

[0028] 图9是示出利用第一实施方式的曲线形状检测部对检测曲线形状进行检测的方法的流程图。

[0029] 图10是说明第一实施方式的曲线形状检测部的曲线插补部中的处理的示意图。

[0030] 图 11 是说明第一实施方式的曲线形状检测部的圆弧位置校正部中的处理的示意图。

[0031] 图 12 是示出本发明的第二实施方式的内窥镜形状检测装置的计算机的结构的框图。

[0032] 图 13 是示出利用第二实施方式的内窥镜形状检测装置的曲线形状检测部对检测曲线形状进行检测的方法的流程图。

[0033] 图 14 是说明第二实施方式的曲线形状检测部的插补顺序实施部中的处理的示意图。

[0034] 图 15 是说明第二实施方式的曲线形状检测部的未插补链位置校正部中的处理的示意图。

[0035] 图 16 是本发明的第一变形例的内窥镜形状检测装置的计算机的结构的框图。

[0036] 图 17 是示出第一变形例的检测内窥镜的插入部在运动状态下的形状的方法的流程图。

## 具体实施方式

[0037] (第一实施方式)

[0038] 参照图 1 至图 11 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。

[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 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。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。

[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, 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  $B_i$  中, 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。

[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, 从全局坐标系  $C$  向局部坐标系  $C_i$  的旋转矩阵为

[0051] 【数学式 1】

$$[0052] \quad C_{Bi}^G = R_{Zi} R_{Xi} R_{Yi} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i & 0 \\ \sin\gamma_i & \cos\gamma_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_i & -\sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta_i & 0 & \sin\beta_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta_i & 0 & \cos\beta_i \end{bmatrix}$$

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

[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

[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  $A_i$  所测量的加速度矢量的局部坐标系  $C_i$  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】

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

$$(4.2)$$

$$(4.3)$$

[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,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  $C'_i$  结果是使全局坐标系 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。这里,由于全局坐标系 C 的 X 轴方向与磁北方向一致,所以  $X'_i$  轴方向成为从全局坐标系 C 的 X 轴方向绕 Z 轴旋转偏摆角  $\gamma_i$  后的方向。

[0077] 地磁传感器  $B_i$  所测量的地磁矢量的局部坐标系  $C_i$  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】

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

[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  $B_i$  所测量的地磁矢量的校正坐标系  $C'_i$  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)，使用地磁矢量的校正坐标系  $C'_i$  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。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

[0094] 【数学式 13】

$$[0095] \quad \dot{m}_{th} = [E_X \quad E_Y \quad E_Z]^T \quad (13)$$

[0096] 地磁矢量的全局坐标系  $C$  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)，使用地磁矢量的全局坐标系  $C$  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】

$$[0098] \quad \theta = \tan^{-1}(E_Y / E_X) \quad (14)$$

[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 61 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 61。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。

[0105] 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 61 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 61。

[0106] 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 61 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 61 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,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。

[0107] 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  $\alpha_{k-1}$ 、 $\beta_{k-1}$ 、 $\gamma_{k-1}$ 。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  $I$ ,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

[0108] 【数学式 16】

$$[0109] \quad \mathbf{l}_k = [l_{xk} \quad l_{yk} \quad l_{zk}]^T = l C_{Bk-1}^G \mathbf{e}_{yk-1} = l \begin{bmatrix} -\sin\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \cos\gamma_{k-1} \cdot \cos\alpha_{k-1} \\ \sin\alpha_{k-1} \end{bmatrix} \quad (16.1)$$

$$[0110] \quad \mathbf{e}_{yk-1} = [0 \quad 1 \quad 0]^T \quad (16.2)。$$

[0111] 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  $Y_{k-1}$  轴方向的单位矢量。通过将单位矢量  $\mathbf{e}_{yk-1}$  与用式 (1) 计算出的旋转矩阵相乘,分别计算出单位矢量  $\mathbf{e}_{yk-1}$  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  $I$  的矢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  $T_k$ 。

[0112] 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  $T_j$ 。

[0113] 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。

[0114] 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。

[0115] 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 63。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 63 的前端的移动量。即，使链  $T_k$  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。

[0116] 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 63 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。

[0117] 如图 3 所示，线形形状检测部 40 与曲线形状检测部 50 连接。图 8 是从全局坐标系 C 的 Z 轴的正方向观察利用曲线形状检测部 50 检测到的内窥镜 10 的插入部 11 的检测曲线形状 65 时的图。如图 8 所示，曲线形状检测部 50 将各个传感器单元  $S_i$  之间的形状假定为弧长与传感器间尺寸 I 相等的圆弧  $L_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ )，对检测线形形状 61 进行曲线插补。通过进行曲线插补，来形成检测曲线形状 65。这里，从基端侧起第 k 个圆弧  $L_k$  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  $S_k$  之间的圆弧。

[0118] 曲线形状检测部 50 具备：针对各个链  $T_j$  进行曲线插补而形成圆弧  $L_j$  的曲线插补部 51；将曲线插补部 51 控制为对所有链  $T_j$  进行曲线插补的状态的插补控制部 52；以及圆弧位置校正部 53，其使通过曲线插补部 51 形成的各个圆弧  $L_j$  平行移动，以对圆弧  $L_j$  的位置进行校正。通过圆弧位置校正部 53，各个圆弧  $L_j$  平行移动为与邻接的圆弧  $L_{j-1}$ 、圆弧  $L_{j+1}$  的圆弧边界连续的状态。

[0119] 如图 3 所示，曲线插补部 51 具备法线形成部 55、中心确定部 57 以及圆弧形形成部 59。关于法线形成部 55、中心确定部 57 以及圆弧形形成部 59 的详细情况在后面进行描述。

[0120] 在曲线形状检测部 50 上连接着描绘部 45。由曲线形状检测部 50 形成的在全局坐标系 C 中的插入部 11 的检测曲线形状 65 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 描绘出的检测曲线形状 65。

[0121] 这里，说明利用曲线形状检测部 50 对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 61 进行曲线插补并对检测曲线形状 65 进行检测的方法。如图 4 所示，曲线形状检测部

50 将各个传感器单元  $S_i$  之间的形状假定为弧长与传感器间尺寸  $I$  相等的圆弧  $L_j$ , 来进行检测线形形状 61 的曲线插补, 并估计检测曲线形状 65 (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, 也能够减小插入部 11 的形状检测时的误差。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, 进行检测线形形状 61 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, 通过将传感器单元  $S_i$  之间的形状假定为半径为  $R_j$  (曲率  $1/R_j$ ) 的圆弧  $L_j$  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检测曲线形状 65。

[0122] 在进行检测线形形状 61 的曲线插补并对检测曲线形状 65 进行检测时, 曲线插补部 51 对各个链  $T_j$  进行曲线插补, 形成圆弧  $L_j$ 。这里, 对利用曲线插补部 51 进行链  $T_j$  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、从基端侧起第  $k$  个链  $T_k$  的曲线插补进行说明。

[0123] 图 9 是示出利用曲线形状检测部 50 从检测线形形状 61 对检测曲线形状 65 进行检测的方法的流程图。图 10 是说明曲线插补部 51 中的处理的图。如图 10 所示, 在利用曲线插补部 51 进行插补对象即链 (插补对象链)  $T_k$  的曲线插补之前的状态下, 传感器单元  $S_k$  位于点  $Q'_k$ 。如图 9 和图 10 所示, 利用曲线插补部 51 进行链 (插补对象链)  $T_k$  的曲线插补时, 首先, 法线形成部 55 形成: 第一插补法线  $N_{k-1}$ , 其通过链  $T_k$  的基端 (第一端点) 并与链  $T_k$  垂直; 以及第二插补法线  $N_k$ , 其通过链  $T_k$  的前端 (第二端点) 并垂直于与链  $T_k$  的前端侧邻接的链 (插补对象邻接链)  $T_{k+1}$  (步骤 S111)。即, 能够利用与链  $T_k$  的方向矢量垂直这样的条件以及通过传感器单元 (第一端点)  $S_{k-1}$  这样的条件来求出第一插补法线  $N_{k-1}$ 。同样, 能够利用与链  $T_{k+1}$  的方向矢量垂直这样的条件以及通过传感器单元 (第二端点)  $S_k$  这样的条件来求出第二插补法线  $N_k$ 。

[0124] 进而, 中心确定部 57 计算第一插补法线  $N_{k-1}$  与第二插补法线  $N_k$  的交点  $O_k$ , 并将该交点  $O_k$  确定为圆弧  $L_k$  的中心 (步骤 S112)。在第一插补法线  $N_{k-1}$  与第二插补法线  $N_k$  不相交的情况下, 计算第一插补法线  $N_{k-1}$  与第二插补法线  $N_k$  的距离最小的两点的中间点  $O_k$ 。计算中间点  $O_k$  时, 首先求出与第一插补法线  $N_{k-1}$  和第二插补法线  $N_k$  双方垂直的直线 (未图示) 的方程式。进而, 求出该直线与第一插补法线  $N_{k-1}$  的交点以及该直线与第二插补法线  $N_k$  的交点, 两个交点的中间点成为中间点  $O_k$ 。进而, 将中间点  $O_k$  确定为圆弧  $L_k$  的中心  $O_k$  (步骤 S112)。

[0125] 进而, 圆弧形部 59 形成圆弧  $L_k$  (步骤 S113)。圆弧  $L_k$  具有与中心确定部 57 所确定的中心  $O_k$  和链 (插补对象链)  $T_k$  的基端 (第一端点) 之间的距离相同的半径  $R_k$ 。即, 圆弧  $L_k$  具有曲率  $1/R_k$ 。此外, 圆弧  $L_k$  是以链  $T_k$  的基端 (第一端点) 为起点的弧长与传感器间尺寸  $I$  相等的圆弧  $L_k$ 。圆弧  $L_k$  的前端  $Q_k$  位于曲线插补后的传感器单元  $S_k$  的位置。即, 利用链  $T_k$  的曲线插补, 传感器单元  $S_k$  的位置从点  $Q'_k$  移动到点  $Q_k$ 。如上所述, 进行链  $T_k$  的曲线插补。

[0126] 另外, 对于链  $T_k$  以外的链  $T_j$ , 也利用曲线插补部 51 同样地进行曲线插补。即, 在进行链 (插补对象链)  $T_j$  的曲线插补时, 法线形成部 55 形成: 第一插补法线  $N_{j-1}$ , 其通过链  $T_j$  的基端 (离全局坐标系  $C$  的原点较近的一侧的端部) 即第一端点, 并与链  $T_j$  垂直; 以及

第二插补法线  $N_j$ , 其通过链  $T_j$  的前端 (离全局坐标系  $C$  的原点较远的一侧的端部) 即第二端点, 并垂直于与链  $T_j$  的前端侧 (离全局坐标系  $C$  的原点较远的一侧) 邻接的链 (插补对象邻接链)  $T_{j+1}$  (步骤 S111)。进而, 中心确定部 57 计算第一插补法线  $N_{j-1}$  与第二插补法线  $N_j$  的交点  $O_j$ 、或者计算第一插补法线  $N_{j-1}$  与第二插补法线  $N_j$  的距离最小的两点的中间点  $O_j$ , 并将该交点  $O_j$  或中间点  $O_j$  确定为圆弧  $L_j$  的中心  $O_j$  (步骤 S112)。进而, 圆弧形部 59 形成圆弧  $L_j$  (步骤 S113), 该圆弧  $L_j$  的半径  $R_j$  与中心  $O_j$  和链 (插补对象链)  $T_j$  的基端之间的距离相同, 且以链  $T_j$  的基端为起点的弧长与传感器间尺寸  $I$  相等。

[0127] 进而, 如图 9 所示, 插补控制部 52 确认对所有的链  $T_j$  的曲线插补是否完成 (步骤 S114)。在所有的链  $T_j$  的曲线插补完成的情况下, 进入下一步骤 (步骤 S114- 是)。在所有的链  $T_j$  的曲线插补并未完成的情况下, 返回步骤 S111 (步骤 S114- 否), 利用曲线插补部 51, 对未完成曲线插补的链  $T_j$  进行曲线插补。即, 曲线插补部 51 被控制为进行步骤 S111 ~ S113 的状态, 直到对所有的链  $T_j$  (本实施方式中为  $N$  根) 完成曲线插补为止。

[0128] 当曲线插补部 51 对所有的链  $T_j$  进行曲线插补时, 圆弧位置校正部 53 使通过曲线插补部 51 形成的各个圆弧  $L_j$  平行移动成与邻接的圆弧  $L_{j-1}$ 、 $L_{j+1}$  的圆弧边界连续的状态, 来校正圆弧  $L_j$  的位置 (步骤 S115)。图 11 是说明圆弧位置校正部 53 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  $k$  个圆弧  $L_k$  的位置校正进行说明。

[0129] 如图 11 所示, 在利用圆弧位置校正部 53 进行圆弧  $L_k$  的位置校正之前的状态下, 到与圆弧  $L_k$  的基端侧邻接的圆弧  $L_{k-1}$  为止完成位置校正, 形成圆弧位置校正完成部 67。在进行圆弧  $L_k$  的位置校正时, 圆弧位置校正部 53 使圆弧  $L_k$  平行移动从位置校正前的圆弧  $L_k$  的基端到圆弧位置校正完成部 67 的前端的移动量。即, 使圆弧  $L_k$  从图 11 中的虚线所示的位置平行移动到图 11 中的实线所示的位置。由此, 成为圆弧  $L_{k-1}$  与圆弧  $L_k$  的圆弧边界连续的状态, 圆弧  $L_k$  的位置被校正。

[0130] 另外, 对于圆弧  $L_k$  以外的圆弧  $L_j$ , 也利用圆弧位置校正部 53 同样校正位置。即, 在进行圆弧  $L_j$  的位置校正时, 圆弧位置校正部 53 使圆弧  $L_j$  平行移动从位置校正前的圆弧  $L_j$  的基端到圆弧位置校正完成部 67 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, 成为圆弧  $L_j$  和与圆弧  $L_j$  的基端侧 (离全局坐标系  $C$  的原点较近的一侧) 邻接的链圆弧  $L_{j-1}$  的圆弧边界连续的状态, 圆弧  $L_j$  的位置被校正。其中, 关于圆弧  $L_1$ , 由于圆弧  $L_1$  的基端为全局坐标系  $C$  的原点, 所以不进行位置的校正。

[0131] 如图 4 所示, 当曲线形状检测部 50 的检测线形形状 61 的曲线插补完成、形成检测曲线形状 65 时, 确认内窥镜形状装置 1 的检查是否完成 (步骤 S107)。在检查未完成的情况下 (步骤 S107- 否), 返回步骤 S101, 对下一个静止状态下的内窥镜 10 的插入部 11 的形状进行检测。在检查完成的情况下 (步骤 S107- 是), 内窥镜 10 的插入部 11 的形状检测结束。

[0132] 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, 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 61。进而, 曲线形状检测部 50 进行检测线形形状 61 的曲线插补, 并对检测曲线形状 65 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 的检测曲线形状 65,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。

[0133] 并且,在内窥镜形状检测装置 1 中,利用曲线形状检测部 50 将各个传感器单元  $S_i$  之间的形状假定为弧长与传感器间尺寸  $l$  相等的圆弧  $L_j$ ,对检测线形形状 61 进行曲线插补,并对检测曲线形状 65 进行检测。实际上,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  $S_i$  之间的形状假定为半径为  $R_j$  (曲率  $1/R_j$ ) 的圆弧  $L_j$  来进行曲线插补,能够检测与实际的插入部 11 的曲线形状的误差较小的检测曲线形状 65。由此,能够以高精度对插入部 11 的检测曲线形状 65 进行检测。

[0134] 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 的检测曲线形状 65 进行检测。

[0135] (第二实施方式)

[0136] 接着,参照图 12 至图 15 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。

[0137] 图 12 是示出本实施方式的计算机 8 的结构的图。如图 12 所示,计算机 8 与第一实施方式同样,具备通信部 26、物理量换算部 28、姿态检测部 30、线形形状检测部 40、描绘部 45 以及显示部 47。在线形形状检测部 40 和描绘部 45 上连接着曲线形状检测部 70。

[0138] 曲线形状检测部 70 与第一实施方式的曲线形状检测部 50 同样,将各个传感器单元  $S_i$  之间的形状假定为弧长与传感器间尺寸  $l$  相等的圆弧  $L_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ),来对检测线形形状 61 进行曲线插补,并对检测曲线形状 81 进行检测。其中,对检测曲线形状 81 进行检测的方法与曲线形状检测部 50 不同。

[0139] 曲线形状检测部 70 具备:作为曲线插补部的插补顺序实施部 71,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  $T_j$  起依次进行曲线插补,形成圆弧  $L_j$ ;以及插补控制部 72,其将插补顺序实施部 71 控制为对所有链  $T_j$  进行曲线插补的状态。并且,曲线形状检测部 70 具备未插补链位置校正部 73,该未插补链位置校正部 73 每当插补顺序实施部 71 进行一个链  $T_j$  的曲线插补时,就使由未进行曲线插补的链(未插补链)  $T_j$  构成的插补未完成部 85 平行移动,对位置进行校正。利用未插补链位置校正部 73,插补未完成部 85 平行移动成与由利用曲线插补形成的圆弧  $L_j$  构成的插补完成部 83 的边界连续的状态。

[0140] 如图 12 所示,插补顺序实施部 71 具有法线形成部 75、中心确定部 77 以及圆弧形形成部 79。关于法线形成部 75、中心确定部 77 以及圆弧形形成部 79 的详细情况在后面进行描述。

[0141] 这里,说明利用曲线形状检测部 70 对由线形形状检测部 40 检测到的检测线形形状 61 进行曲线插补并对检测曲线形状 81 进行检测的方法。曲线形状检测部 70 与第一实

施方式的曲线形状检测部 50 同样,将各个传感器单元  $S_i$  之间的形状假定为弧长与传感器间尺寸  $I$  相等的圆弧  $L_j$ ,来对检测线形形状 61 进行曲线插补(图 4 的步骤 S106)。由此,如前面的第一实施方式所述,形成与实际的插入部 11 的曲线形状的误差较小的检测曲线形状 81。

[0142] 在对检测线形形状 61 进行曲线插补时,插补顺序实施部 71 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  $T_j$  起依次进行曲线插补,形成圆弧  $L_j$ 。这里,说明利用插补顺序实施部 71 进行链  $T_j$  的曲线插补的方法。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  $T_k$  的曲线插补进行说明。

[0143] 图 13 是示出通过曲线形状检测部 70 利用检测线形形状 61 对检测曲线形状 81 进行检测的方法的流程图。图 14 是说明插补顺序实施部 71 中的处理的图。如图 14 所示,在利用插补顺序实施部 71 进行链  $T_k$  的曲线插补之前的状态下,直至链  $T_{k-1}$  为止,完成曲线插补,形成插补完成部 83。插补完成部 83 由圆弧  $L_1 \sim L_{k-1}$  构成。并且,形成由未进行插补的链(插补未完成链)  $T_k \sim T_N$  构成的插补未完成部 85。此时,插补完成部 83 与插补未完成部 85 的边界连续,传感器单元  $S_k$  位于点  $U'_k$ 。

[0144] 在该状态下,利用插补顺序实施部 71 对插补未完成部 85 中位于最靠基端侧的链(插补对象链)  $T_k$  进行曲线插补。如图 13 和图 14 所示,在进行链  $T_k$  的曲线插补时,首先,法线形成部 75 形成:第一插补法线  $N_{k-1}$ ,其通过链  $T_k$  的基端(第一端点)并与链  $T_k$  垂直;以及第二插补法线  $N_k$ ,其通过链  $T_k$  的前端(第二端点)并垂直于与链  $T_k$  的前端侧邻接的链(插补对象邻接链)  $T_{k+1}$ (步骤 S121)。

[0145] 进而,中心确定部 77 计算第一插补法线  $N_{k-1}$  与第二插补法线  $N_k$  的交点  $O_k$ ,并将该交点  $O_k$  确定为圆弧  $L_k$  的中心(步骤 S122)。在第一插补法线  $N_{k-1}$  与第二插补法线  $N_k$  不相交的情况下,计算第一插补法线  $N_{k-1}$  与第二插补法线  $N_k$  的距离最小的两点的中间点  $O_k$ 。中间点  $O_k$  通过与第一实施方式同样的方法计算。进而,将中间点  $O_k$  确定为圆弧  $L_k$  的中心  $O_k$ (步骤 S122)。

[0146] 进而,圆弧形部 79 形成圆弧  $L_k$ (步骤 S123)。圆弧  $L_k$  具有与中心确定部 77 所确定的中心  $O_k$  和链(插补对象链)  $T_k$  的基端之间的距离相同的半径  $R_k$ 。即,圆弧  $L_k$  具有曲率  $1/R_k$ 。此外,圆弧  $L_k$  是以链  $T_k$  的基端为起点的弧长与传感器间尺寸  $I$  相等的圆弧  $L_k$ 。圆弧  $L_k$  的前端  $U_k$  位于曲线插补后的传感器单元  $S_k$  的位置。即,利用链  $T_k$  的曲线插补,传感器单元  $S_k$  的位置从点  $U'_k$  移动到点  $U_k$ 。通过传感器单元  $S_k$  的位置的移动,在利用插补顺序实施部 71 进行链  $T_k$  的曲线插补前的状态下连续的插补完成部 83 与插补未完成部 85 的边界成为不连续的状态。即,圆弧  $L_k$  与链  $T_{k+1}$  成为不连续的状态。

[0147] 另外,对于链  $T_k$  以外的链  $T_j$ ,也利用插补顺序实施部 71 同样进行曲线插补。即,在进行链(插补对象链)  $T_j$  的曲线插补时,法线形成部 75 形成:第一插补法线  $N_{j-1}$ ,其通过链  $T_j$  的基端(离全局坐标系  $C$  的原点较近的一侧的端部)即第一端点,并与链  $T_j$  垂直;以及第二插补法线  $N_j$ ,其通过链  $T_j$  的前端(离全局坐标系  $C$  的原点较远的一侧的端部)即第二端点,并垂直于与链  $T_j$  的前端侧(离全局坐标系  $C$  的原点较远的一侧)邻接的链(插补对象邻接链)  $T_{j+1}$ (步骤 S121)。进而,中心确定部 77 计算第一插补法线  $N_{j-1}$  与第二插补法线  $N_j$  的交点  $O_j$ ,或者计算第一插补法线  $N_{j-1}$  与第二插补法线  $N_j$  的距离最小的两点的中间点

$O_j$ , 并将该交点  $O_j$  或中间点  $O_j$  确定为圆弧  $L_j$  的中心  $O_j$  (步骤 S122)。进而, 圆弧形形成部 79 形成圆弧  $L_j$  (步骤 S123), 该圆弧  $L_j$  的半径  $R_j$  与中心  $O_j$  和链 (插补对象链)  $T_j$  的基端之间的距离相同, 且以链  $T_j$  的基端为起点的弧长与传感器间尺寸  $I$  相等。

[0148] 图 15 是说明未插补链位置校正部 73 中的处理的图。如图 15 所示, 在利用插补顺序实施部 71 进行链  $T_k$  的曲线插补、并形成了圆弧  $L_k$  后的状态下, 形成有完成了曲线插补的插补完成部 83 和未完成曲线插补的插补未完成部 85。插补完成部 83 由圆弧  $L_1 \sim L_k$  构成, 插补未完成部 85 由链  $T_{k+1} \sim T_N$  构成。此时, 如前所述, 通过链  $T_k$  的曲线插补, 传感器单元  $S_k$  的位置从点  $U'_k$  移动到点  $U_k$ , 因此, 插补完成部 83 与插补未完成部 85 的边界不连续。在该状态下, 未插补链位置校正部 73 使插补未完成部 85 平行移动到与插补完成部 83 的边界连续的状态, 从而对插补未完成部 85 的位置进行校正 (步骤 S124)。即, 插补未完成部 85 从图 15 的虚线所示的位置平行移动到实线所示的位置。

[0149] 另外, 对于链  $T_k$  以外的链  $T_j$ , 也同样利用未插补链位置校正部 73 校正插补未完成部 85 的位置。即, 在利用插补顺序实施部 71 进行了链  $T_j$  的曲线插补后, 插补完成部 83 与插补未完成部 85 的边界不连续。在该状态下, 未插补链位置校正部 73 使插补未完成部 85 平行移动到与插补完成部 83 连续的状态, 从而对插补未完成部 85 的位置进行校正 (步骤 S124)。未插补链位置校正部 73 每当插补顺序实施部 71 进行一个链  $T_j$  的曲线插补时, 就对插补未完成部 85 的位置进行校正。

[0150] 进而, 如图 13 所示, 插补控制部 72 确认对所有的链  $T_j$  的曲线插补是否完成 (步骤 S125)。在所有的链  $T_j$  的曲线插补完成的情况下, 形成插入部 11 的检测曲线形状 81, 进入下一步骤 (步骤 S125- 是)。在所有的链  $T_j$  的曲线插补并未完成的情况下, 返回步骤 S121 (步骤 S125- 否), 利用插补顺序实施部 71, 对插补未完成部 85 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 (插补对象链)  $T_j$  进行曲线插补。即, 插补顺序实施部 71 被控制为进行步骤 S121  $\sim$  S123 的状态, 直到对所有的链  $T_j$  完成曲线插补为止。进而, 当利用插补顺序实施部 71 进行下一链  $T_j$  的曲线插补时 (步骤 S121  $\sim$  S123), 利用未插补链位置校正部 73 进行插补未完成部 85 的位置的校正 (步骤 S124)。

[0151] 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, 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 61。进而, 曲线形状检测部 70 进行检测线形形状 61 的曲线插补, 并对检测曲线形状 81 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 的检测曲线形状 81, 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。

[0152] 并且, 在内窥镜形状检测装置 1 中, 利用曲线形状检测部 70 将各个传感器单元  $S_i$  之间的形状假定为弧长与传感器间尺寸  $I$  相等的圆弧  $L_j$ , 来对检测线形形状 61 进行曲线插补, 并对检测曲线形状 81 进行检测。实际上, 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  $S_i$  之间的形状假定为半径为  $R_j$  (曲率  $1/R_j$ ) 的圆弧  $L_j$  来进行曲线插补, 能够检测与实际的插入部 11 的曲线形状的误差较小的检测曲线形状 81。由此, 能够以高精度

对插入部 11 的检测曲线形状 81 进行检测。

[0153] 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 的检测曲线形状 81 进行检测。

[0154] (第一变形例)

[0155] 接着,参照图 16 和图 17 说明上述实施方式的第一变形例。另外,对与第一实施方式和第二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。

[0156] 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 的形状进行检测。运动状态下的插入部 11 的的检测在图 4 的步骤 S106 和步骤 S107 之间进行。图 16 是示出本变形例的计算机 8 的结构图。图 17 是示出对运动状态下的插入部 11 的形状进行检测的方法的流程图。

[0157] 如图 16 所示,计算机 8 与第一实施方式同样,具备通信部 26、物理量换算部 28、姿态检测部 30、线形形状检测部 40、描绘部 45、显示部 47 以及曲线形状检测部 50。

[0158] 在物理量换算部 28 上连接着加速度检测部 90。如图 17 所示,在对运动状态下的插入部 11 的形状进行检测时,加速度检测部 90 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(步骤 S131)。进而,加速度检测部 90 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矢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 轴方向分量进行检测(步骤 S132)。

[0159] 这里,说明利用加速度检测部 90 对在各个传感器单元  $S_i$  的中心测量到的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 轴方向分量的方法。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

[0160] 【数学式 17】

$$[0161] \quad \dot{a}_{thi} = [a_{thi\_x} \quad a_{thi\_y} \quad -g + a_{thi\_z}]^T \quad (17)$$

[0162] 并且,由各个传感器单元  $S_i$  的加速度传感器  $A_i$  测量到的加速度矢量的局部坐标系  $C_i$  的  $X_i$  轴方向分量、 $Y_i$  轴方向分量、 $Z_i$  轴方向分量为

[0163] 【数学式 18】

$$[0164] \quad \dot{a}_{obsi}' = [a_{Bi\_x}' \quad a_{Bi\_y}' \quad a_{Bi\_z}']^T \quad (18)$$

[0165] 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  $C_i$  中的加速度矢量假定为相同。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  $S_1$  测量的加速度矢量与传感器单元  $S_2$  测量的加速度矢量之间,成为

[0166] 【数学式 19】

$$[0167] \quad \dot{a}_{th1} = \dot{a}_{th2} \quad (19.1)$$

$$[0168] \quad \|\dot{a}_{obs1}'\| = \|\dot{a}_{obs2}'\| \quad (19.2)$$

[0169] 进而,根据式 (19.1)、式 (19.2),如下关系分别成立:

[0170] 【数学式 20】

$$[0171] \quad [a_{th1\_X} \ a_{th1\_Y} \ a_{th1\_Z}]^T = [a_{th2\_X} \ a_{th2\_Y} \ a_{th2\_Z}]^T \quad (20.1)$$

$$[0173] \quad [a_{B1\_X}' \ a_{B1\_Y}' \ a_{B1\_Z}']^T = \left[ a_{B2\_X}' \ a_{B2\_Y}' \ \sqrt{\|\dot{a}_{obs1}'\|^2 - (a_{B2\_X}'^2 + a_{B2\_Y}'^2)} \right]^T \quad (20.2)$$

[0174] 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

[0175] 【数学式 21】

$$[0176] \quad \dot{a}_{obs1}' = (C_{B1}^G)^T \dot{a}_{th1}$$

$$[0177] \quad = \begin{bmatrix} -\sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \cos\gamma_1 & -\sin\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & \sin\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 + \sin\beta_1 \cdot \cos\gamma_1 \\ \cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 + \cos\beta_1 \cdot \sin\gamma_1 & \cos\gamma_1 \cdot \cos\alpha_1 & -\cos\gamma_1 \cdot \sin\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 + \sin\beta_1 \cdot \sin\gamma_1 \\ -\cos\alpha_1 \cdot \sin\beta_1 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 \cdot \cos\beta_1 \end{bmatrix}$$

$$[0178] \quad \begin{bmatrix} a_{th1\_X} \\ a_{th1\_Y} \\ -g + a_{th1\_Z} \end{bmatrix} \quad (21)$$

[0179] 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

[0180] 【数学式 22】

$$[0181] \quad \dot{a}_{obs2}' = (C_{B2}^G)^T \dot{a}_{th2}$$

$$[0182] \quad = \begin{bmatrix} -\sin\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 + \cos\beta_2 \cdot \cos\gamma_2 & -\sin\gamma_2 \cdot \cos\alpha_2 & \sin\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 + \sin\beta_2 \cdot \cos\gamma_2 \\ \cos\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 + \cos\beta_2 \cdot \sin\gamma_2 & \cos\gamma_2 \cdot \cos\alpha_2 & -\cos\gamma_2 \cdot \sin\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 + \sin\beta_2 \cdot \sin\gamma_2 \\ -\cos\alpha_2 \cdot \sin\beta_2 & \sin\alpha_2 & \cos\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 \end{bmatrix}$$

$$[0183] \quad \begin{bmatrix} a_{th2\_X} \\ a_{th2\_Y} \\ -g + a_{th2\_Z} \end{bmatrix} \quad (22)$$

[0184] 利用式 (20.1) 的关系,解出式 (21)、(22),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矢量的全局坐标系  $C$  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  $B_i$  测量的地磁矢量的全局坐标系  $C$  的各个轴方向分量与由式 (9) 所示的地磁矢量的局部坐标系  $C_i$  的各个轴方向分量的关系成为

[0185] 【数学式 23】

$$\begin{aligned}
[0186] \quad \dot{M}_{obsi} &= \begin{pmatrix} G \\ C_{Bi} \end{pmatrix}^T \dot{M}_{th} \\
[0187] \quad &= \begin{bmatrix} -\sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \cos\gamma_i & -\sin\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & \sin\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \cos\gamma_i \\ \cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i + \cos\beta_i \cdot \sin\gamma_i & \cos\gamma_i \cdot \cos\alpha_i & -\cos\gamma_i \cdot \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i + \sin\beta_i \cdot \sin\gamma_i \\ -\cos\alpha_i \cdot \sin\beta_i & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \cdot \cos\beta_i \end{bmatrix} \\
[0188] \quad &\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} \quad (23)
\end{aligned}$$

[0189] 在式 (23) 中,在包括代入了  $i = 1$  (或 2) 的地磁的关系式在内求解式 (20.1) (21) (22) 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,能够通过数值运算解出传感器单元  $S_i$ 、 $S_2$  测量到的重力加速度以外的加速度矢量的全局坐标系 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矢量的全局坐标系 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  $a_{thi\_z}$ 。

[0190] 在加速度检测部 90 上连接着位移计算部 92。位移计算部 92 基于由加速度检测部 90 检测到的重力加速度以外的加速度矢量,计算各个传感器单元  $S_i$  自上次的静止状态开始的位移 (步骤 S133)。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矢量的全局坐标系 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 92 中,还计算各个传感器单元  $S_i$  的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。通过分别对各个传感器单元  $S_i$  测量到的重力加速度以外的加速度矢量的全局坐标系 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。

[0191] 位移计算部 92 与移动状态检测部 94 连接。移动状态检测部 94 连接在曲线形状检测部 50 上。如图 17 所示,在对运动状态下的插入部 11 的形状进行检测时,通过前述的方法 (图 4 的步骤 S101 ~ S106) 对上次的静止状态下的插入部 11 的检测曲线形状 65 进行检测。上次的静止状态下的插入部 11 的检测曲线形状 65 从曲线形状检测部 50 输入到移动状态检测部 94。并且,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 轴方向分量的计算结果从位移计算部 92 输入至移动状态检测部 94。移动状态检测部 94 基于上次的静止状态下的插入部 11 的检测曲线形状 65 以及各个传感器单元  $S_i$  自上次的静止状态开始的位移,来检测插入部 11 自上次的静止状态开始的移动状态 (步骤 S134)。由此,检测运动状态下的内窥镜 10 的插入部 11 的形状。

[0192] 在移动状态检测部 94 上连接着描绘部 45。由移动状态检测部 94 检测到的在全局坐标系 C 中的插入部 11 的运动状态下的检测形状通过描绘部 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 描绘出的运动状态下的检测形状。

[0193] 并且,在位移计算部 92 上连接着滞留状态检测部 96。在滞留状态检测部 96 上连接着警告部 98。在滞留状态检测部 96 中,基于各个传感器单元  $S_i$  的加速度矢量、速度矢量、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,来检测插入部 11 的滞留状态 (步骤 S135)。即,例如在利用内窥镜 10 观察 S 状结肠时,检测插入部 11 在 S-top

等处滞留的状态。由此,手术操作者能够确认操作部 12 的操作是否传递至插入部 11。在插入部 11 滞留的情况下(步骤 S135-是),由警告部 98 进行警告显示(步骤 S136)。在插入部 11 未滞留的情况下(步骤 S135-否),不进行警告显示,进入步骤 S107(参照图 4)。

[0194] 如上所述,在本变形例的内窥镜形状检测装置 1 中,利用加速度检测部 90 对在各个传感器单元  $S_i$  的中心测量的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 轴方向分量进行检测。进而,在位移计算部 92 中,还计算各个传感器单元  $S_i$  的位移以及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。移动状态检测部 94 根据计算出的加速度矢量、速度矢量、位移以及上次的静止状态下的检测曲线形状 65,来检测运动状态下的插入部 11 的形状。并且,滞留状态检测部 96 根据计算出的加速度矢量、速度矢量、位移,来检测插入部 11 的滞留状态。进而,在检测到滞留状态的情况下,由警告部 98 进行警告显示。通过这样构成,手术操作者能够确认操作部 12 的操作是否传递至插入部 11。由此,手术操作者在操作内窥镜 10 时,能够进行更恰当的判断。

[0195] (其它变形例)

[0196] 另外,在第一实施方式中,首先,曲线插补部 51 对所有链  $T_j$  进行曲线插补,形成圆弧  $L_j$ 。进而,圆弧位置校正部 53 使各个圆弧  $L_j$  平行移动为与邻接的圆弧  $L_{j-1}$ 、圆弧  $L_{j+1}$  的边界连续的状态,以对圆弧  $L_j$  的位置进行校正。另一方面,在第二实施方式中,利用插补顺序实施部 71,针对各个链  $T_j$  从基端侧的链  $T_j$  起依次进行曲线插补。进而,每当对一个链  $T_j$  进行曲线插补时,就使插补未完成部 85 平行移动为与插补完成部 83 连续的状态,以对插补未完成部 85 的位置进行校正。即,由第一实施方式的曲线形状检测部 50 检测到的检测曲线形状 65 和由第二实施方式的曲线形状检测部 70 检测到的检测曲线形状 81 为同一曲线形状。根据以上所说明的,虽然电路结构等复杂,但本发明可以具备组合第一实施方式和第二实施方式而得到的曲线形状检测部。在该曲线形状检测部中,例如,首先,与第一实施方式同样进行曲线插补直至链  $T_k$  为止,形成圆弧  $L_1 \sim L_k$ ,然后,进行圆弧  $L_1 \sim L_k$  的位置校正。进而,从链  $T_{k+1}$  起,与第二实施方式同样地每当对一个链  $T_j$  进行曲线插补时,就进行插补未完成部 85 的位置校正。

[0197] 并且,在上述实施方式中,各个局部坐标系  $C_i$  是  $Y_i$  轴方向与各个传感器单元  $S_i$  的中心处的长度方向一致的坐标系。但是,在本发明中,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  $e_{yk-1}$ ,使用

[0198] 【数学式 24】

$$[0199] \quad e_{xk-1} = [1 \ 0 \ 0]^T \quad (24)。$$

[0200] 同样,当  $Z_i$  轴是长度方向轴时,以式 (16.1)、式 (16.2) 代替  $e_{yk-1}$ ,使用

[0201] 【数学式 25】

$$[0202] \quad e_{zk-1} = [0 \ 0 \ 1]^T \quad (25)。$$

[0203] 这里,  $e_{yk-1}$  是局部坐标系  $C_{k-1}$  的原点处的长度方向即  $X_{k-1}$  轴方向的单位矢量,  $e_{zk-1}$  是局部坐标系  $C_{k-1}$  的原点处的长度方向即  $Z_{k-1}$  轴方向的单位矢量。

[0204] 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,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

[0205] 【数学式 26】

$$[0206] \quad \dot{a}_{th} = [-g \ 0 \ 0]^T \quad (26)$$

[0207] 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  $\beta_i$ 。

[0208] 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。在该情况下,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  $T_j$ 。

[0209] 并且,在该情况下,在利用曲线形状检测部 50 的曲线插补部 51 进行链 (插补对象链)  $T_j$  的曲线插补时,法线形成部 55 形成:第一插补法线  $N_j$ ,其通过链  $T_j$  的前端 (离全局坐标系 C 的原点较近的一侧的端部) 即第一端点,并与链  $T_j$  垂直;以及第二插补法线  $N_{j-1}$ ,其通过链  $T_j$  的基端 (离全局坐标系 C 的原点较远的一侧的端部) 即第二端点,并垂直于与链  $T_j$  的基端侧 (离全局坐标系 C 的原点较远的一侧) 邻接的链 (插补对象邻接链)  $T_{j-1}$ 。进而,中心确定部 57 计算第一插补法线  $N_j$  与第二插补法线  $N_{j-1}$  的交点  $O_j$ 、或者计算第一插补法线  $N_j$  与第二插补法线  $N_{j-1}$  的距离最小的两点的中间点  $O_j$ ,并将该交点  $O_j$  或中间点  $O_j$  确定为圆弧  $L_j$  的中心  $O_j$ 。进而,圆弧形成部 59 形成圆弧  $L_j$ ,该圆弧  $L_j$  的半径  $R_j$  与中心  $O_j$  和链 (插补对象链)  $T_j$  的前端之间的距离相同,且以链  $T_j$  的前端为起点的弧长与传感器间尺寸  $I$  相等。

[0210] 另外,在该情况下,曲线形状检测部 70 的插补顺序实施部 71 针对各个链  $T_j$  从前端侧 (离全局坐标系 C 的原点较近的一侧) 的链  $T_j$  起依次进行曲线插补,形成圆弧  $L_j$ 。

[0211] 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。

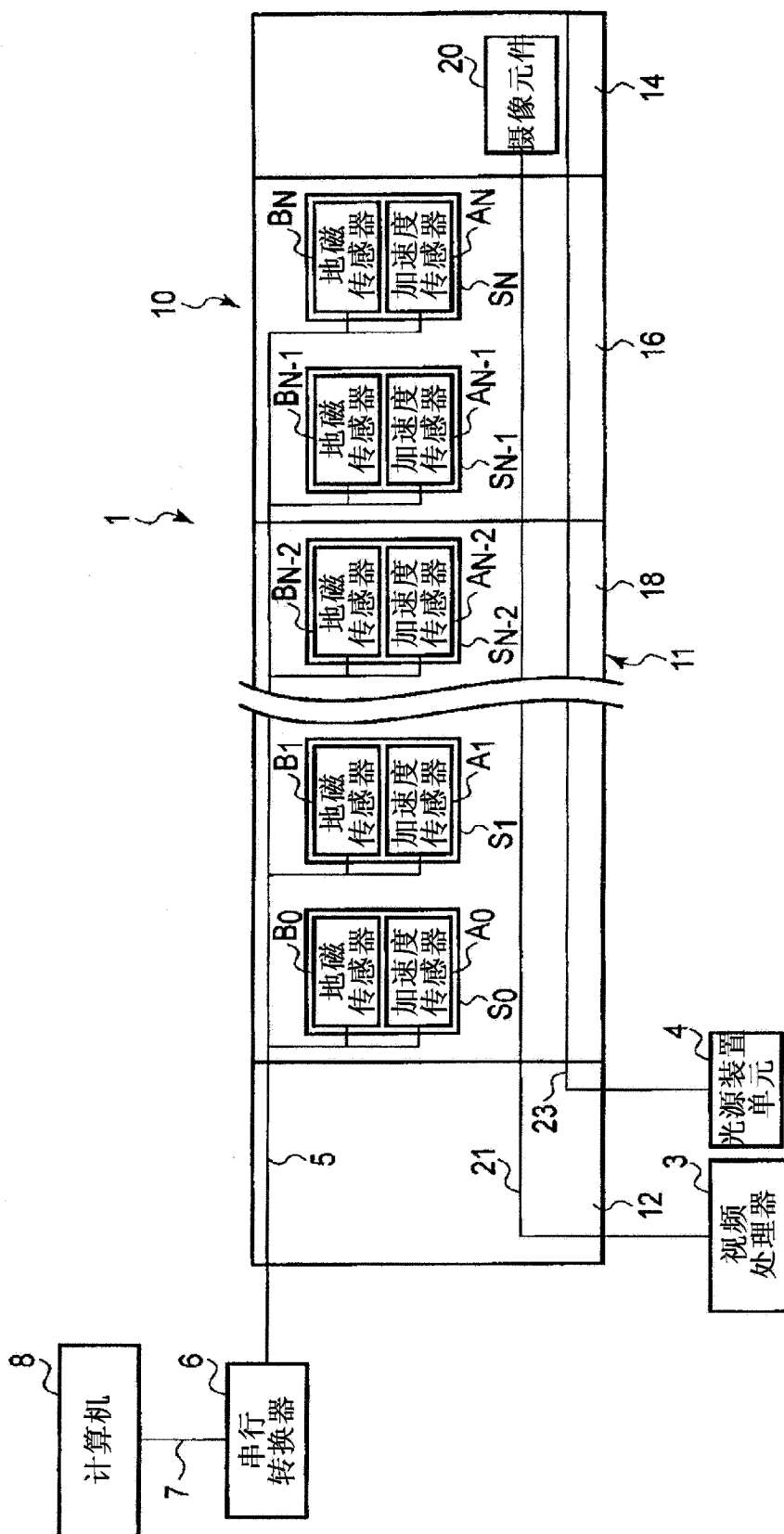


图 1

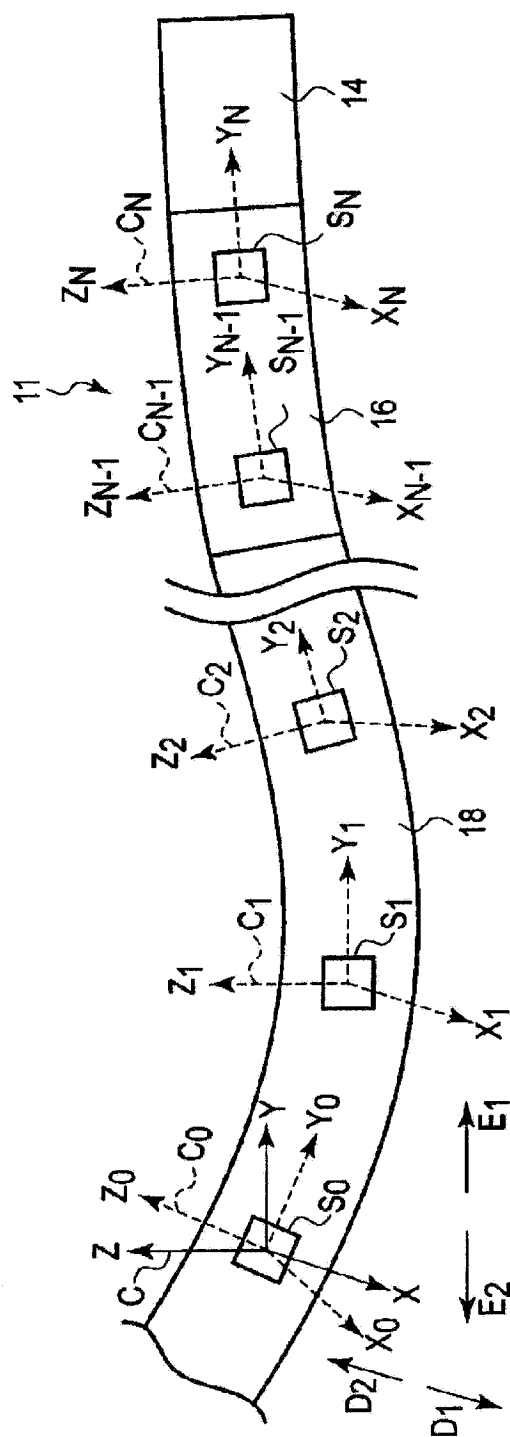


图 2

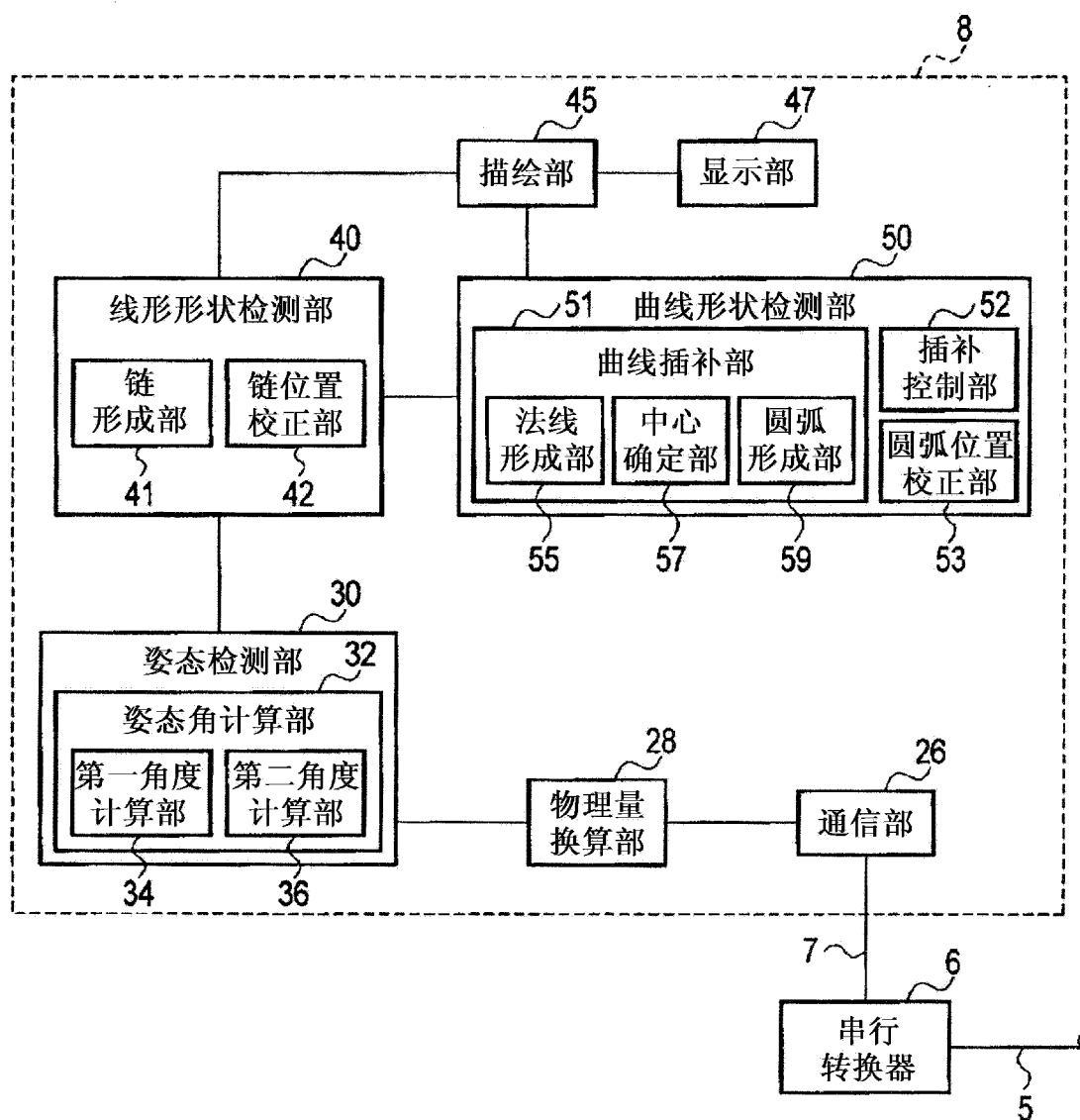


图 3

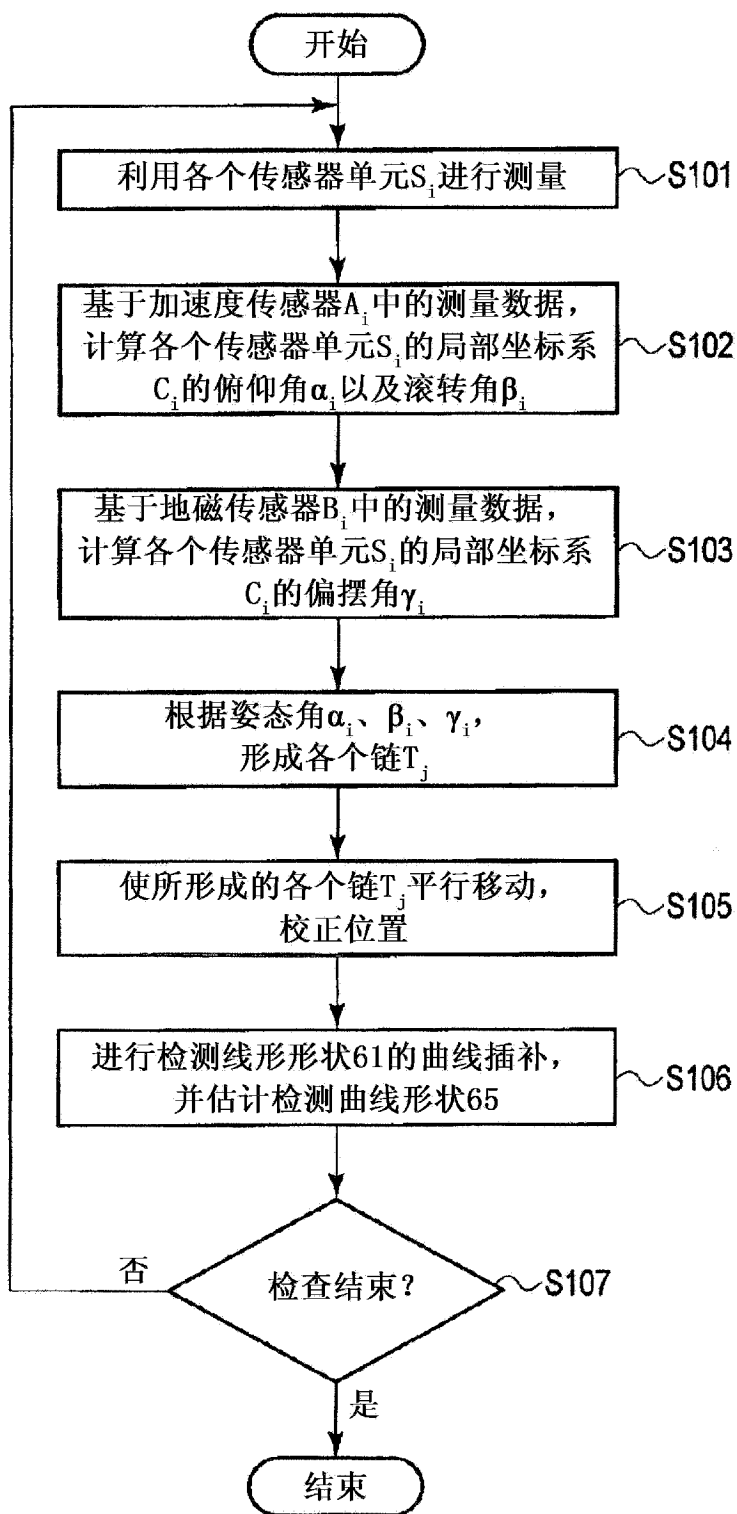


图 4

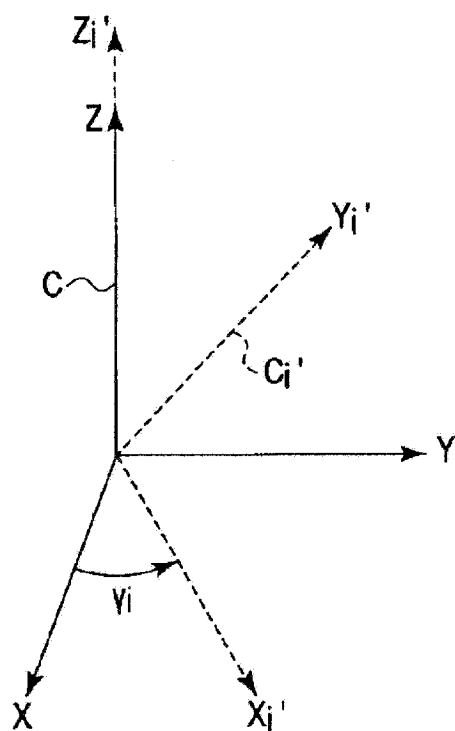


图 5

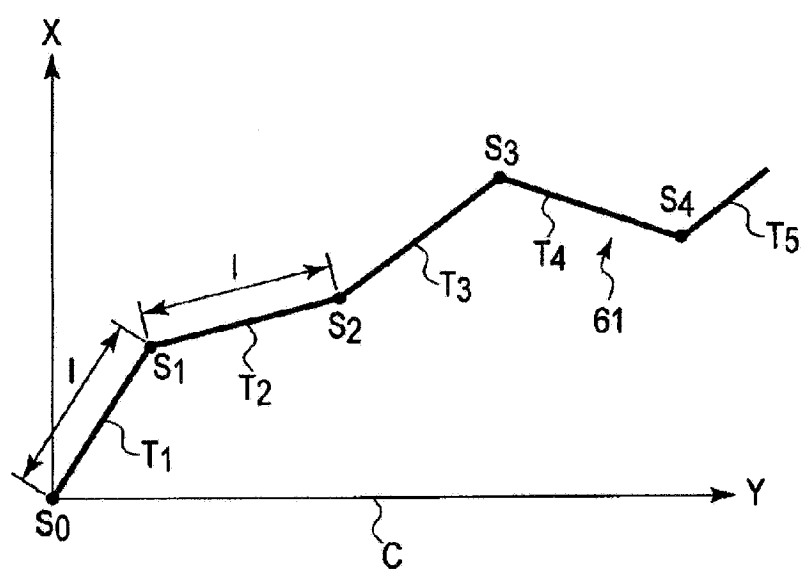


图 6

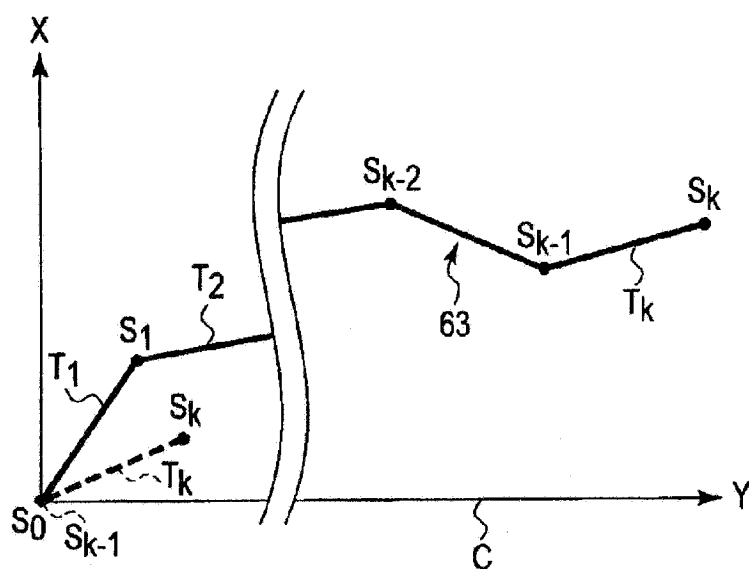


图 7

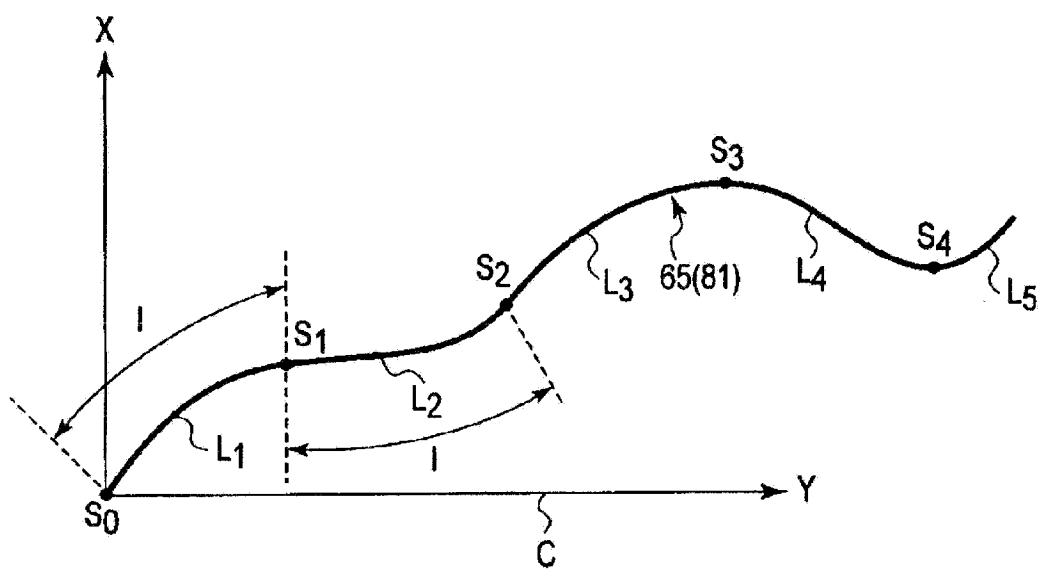


图 8

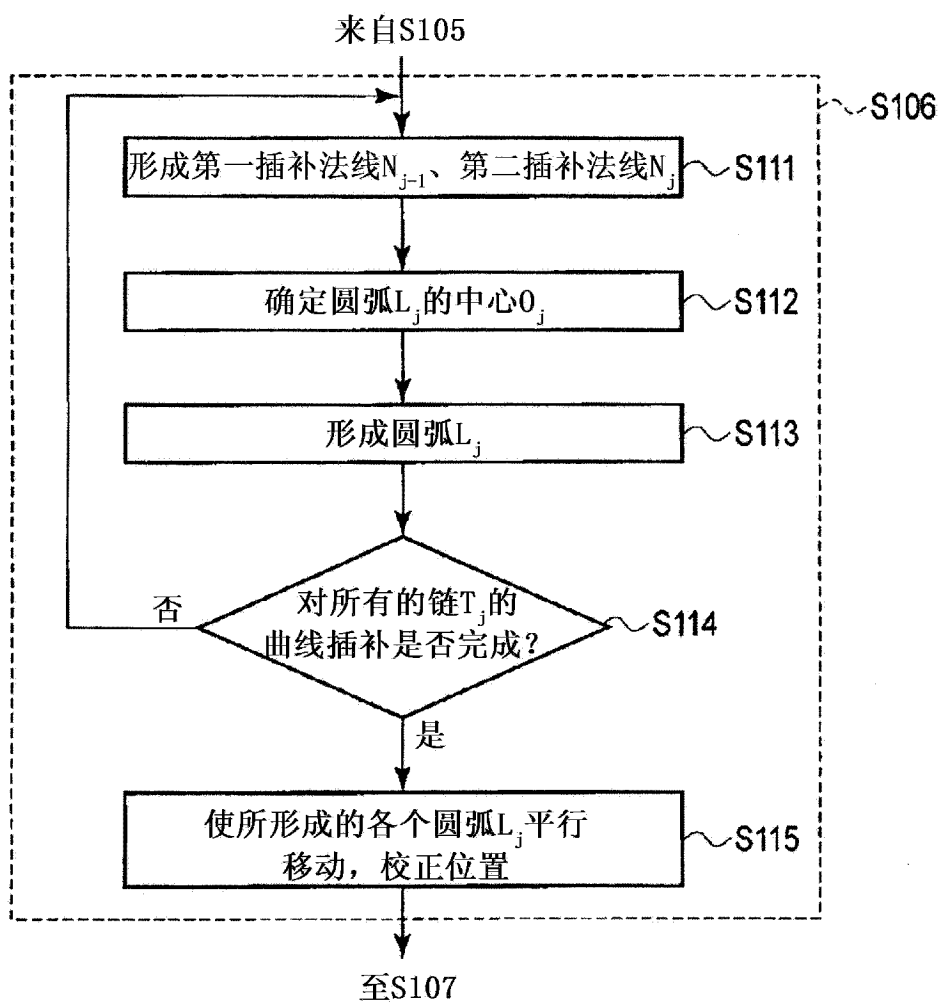


图 9

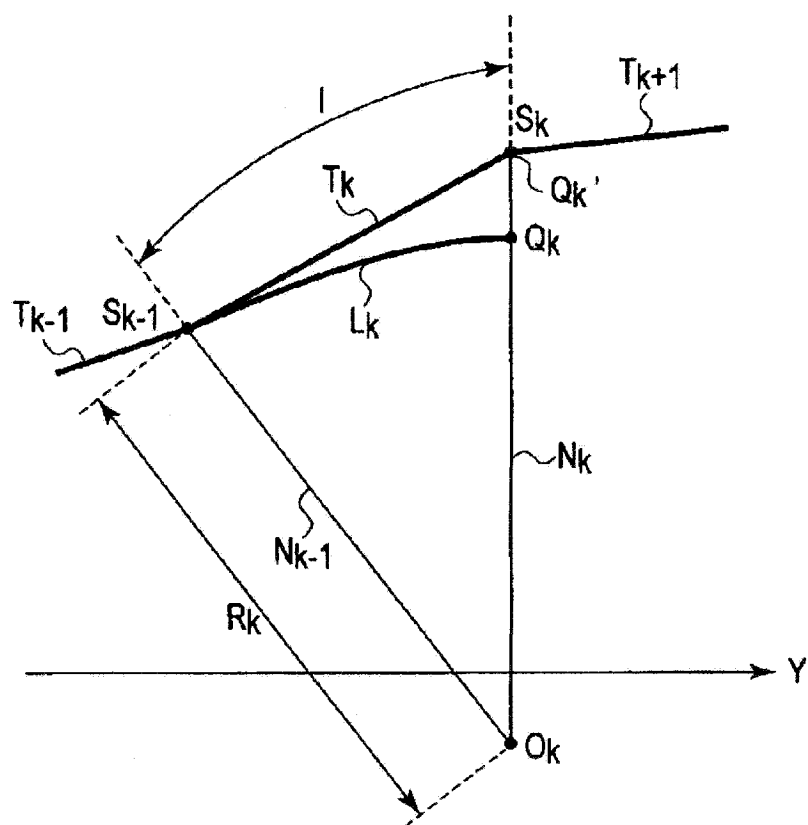


图 10

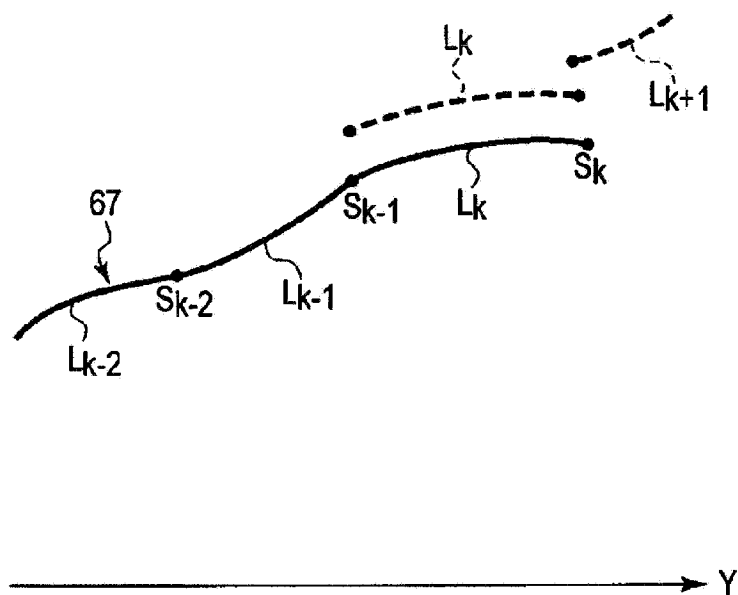


图 11

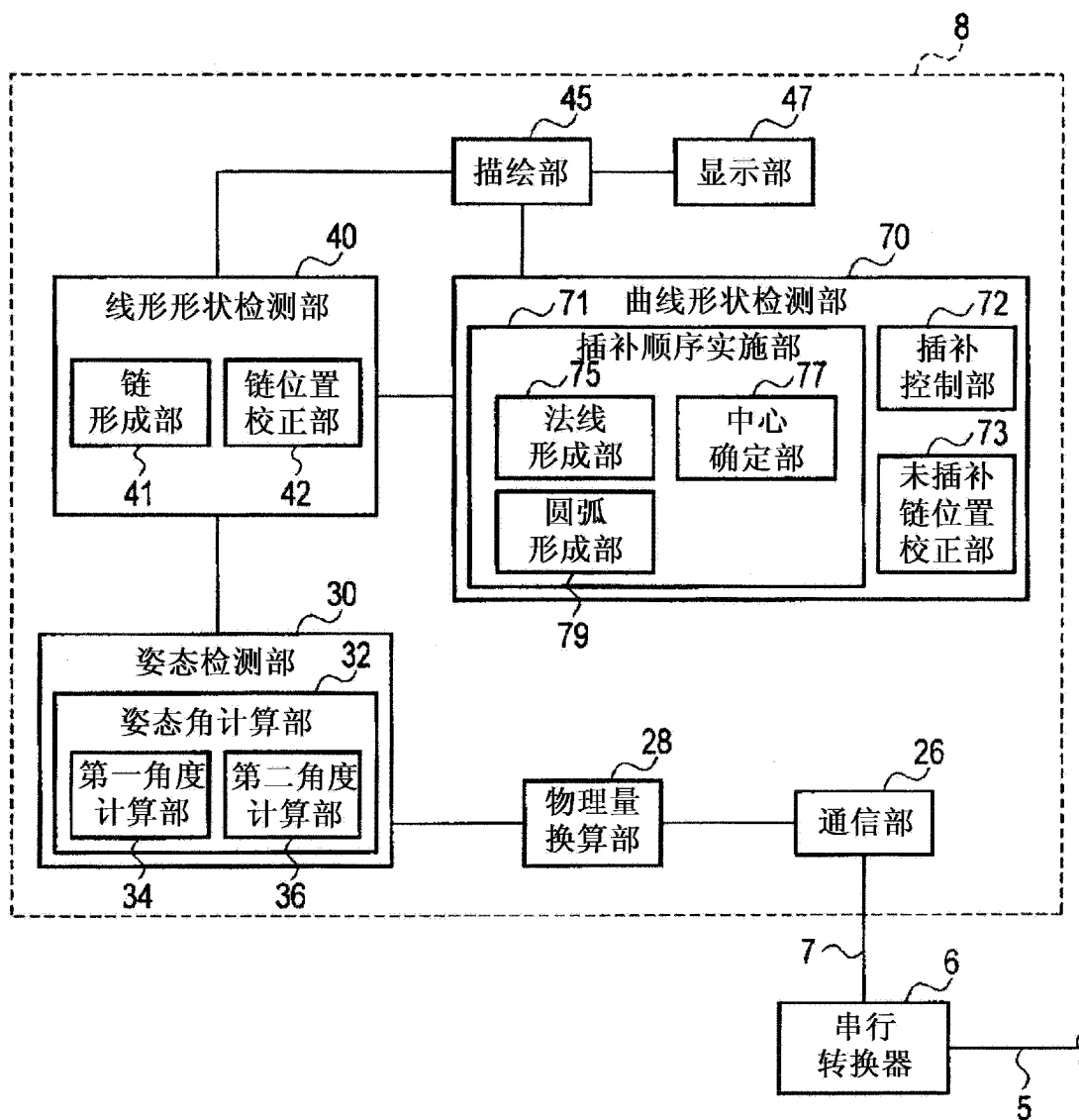


图 12

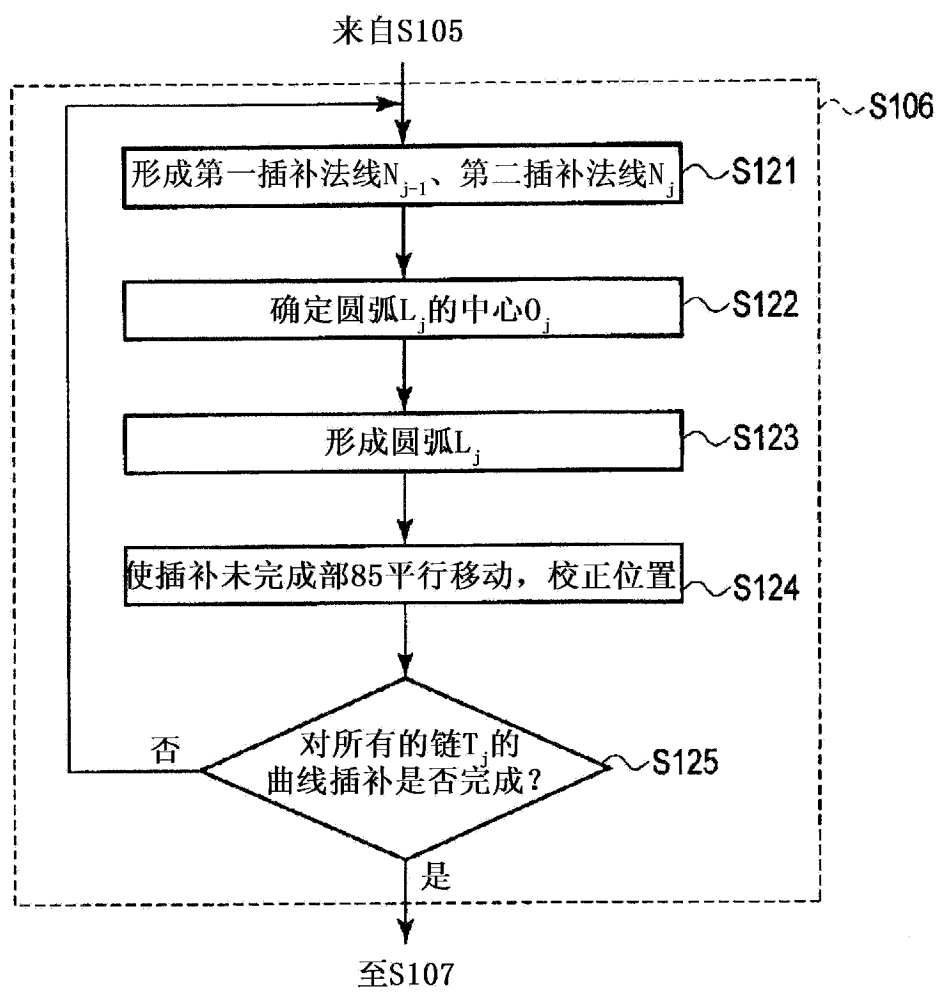


图 13



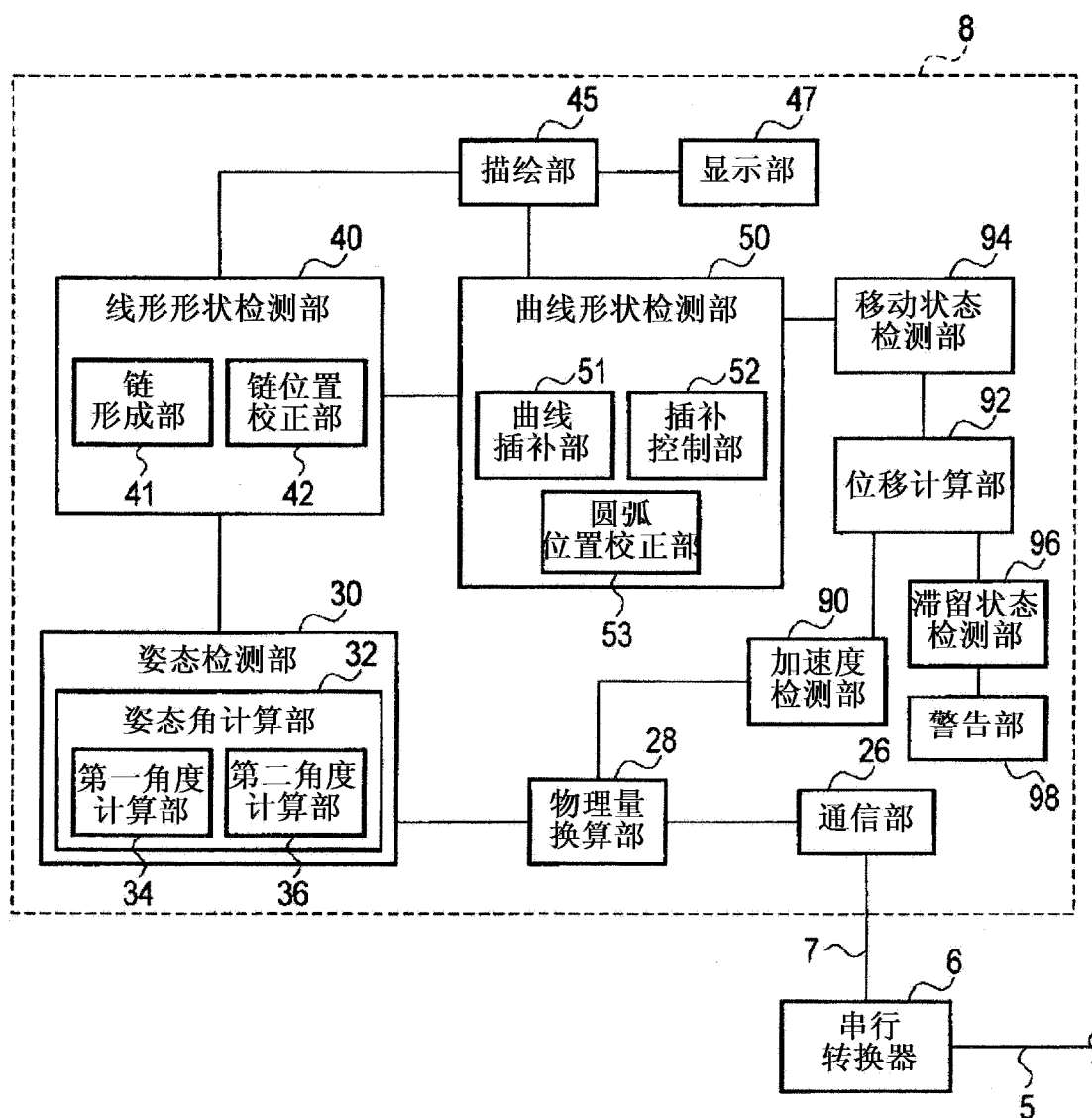


图 16

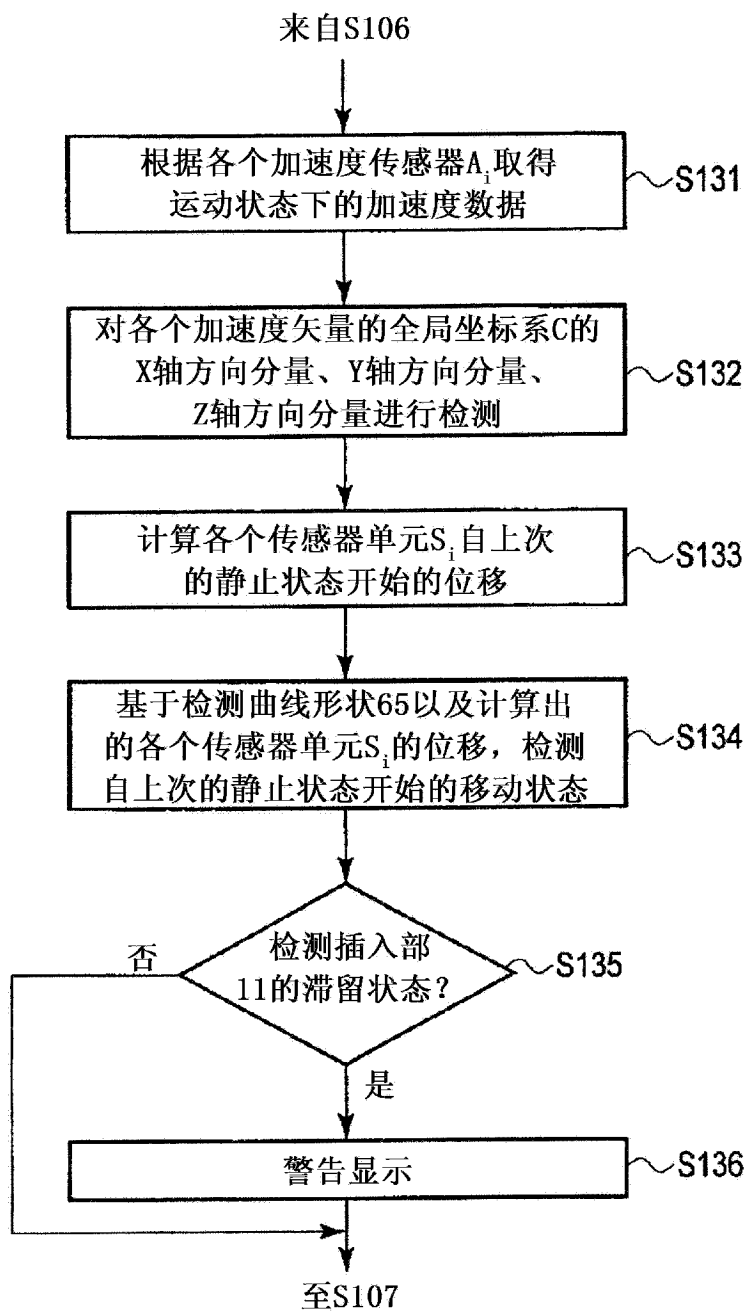


图 17

|                |                                                |         |            |
|----------------|------------------------------------------------|---------|------------|
| 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="#">CN102481089A</a>                   | 公开(公告)日 | 2012-05-30 |
| 申请号            | CN201180003546.7                               | 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                                       |         |            |
| CPC分类号         | A61B1/00147 G06T15/00 G06T11/00                |         |            |
| 代理人(译)         | 李辉                                             |         |            |
| 优先权            | 2010125154 2010-05-31 JP                       |         |            |
| 其他公开文献         | CN102481089B                                   |         |            |
| 外部链接           | <a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a> |         |            |

# 摘要(译)

内窥镜形状检测装置(1)具备：姿态检测部(30)，其基于所述传感器单元(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(I)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(61)。并且，内窥镜形状检测装置(1)具备曲线形状检测部(50、70)，该曲线形状检测部(50、70)将各个所述传感器单元(Si)之间的形状假定为弧长与所述传感器间尺寸(I)相等的圆弧(Lj)，来对由所述线形形状检测部(40)检测到的所述检测线形形状(61)进行曲线插补，并对检测曲线形状(65、81)进行检测。

