

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

A61B 1/00

G01B 11/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510025854.6

[43] 公开日 2005 年 11 月 9 日

[11] 公开号 CN 1692871A

[22] 申请日 2005.5.17

[21] 申请号 200510025854.6

[71] 申请人 上海大学

地址 200444 上海市宝山区上大路 99 号

[72] 发明人 钱晋武 张伦伟 沈林勇 吴家麒
章亚男

[74] 专利代理机构 上海上大专利事务所

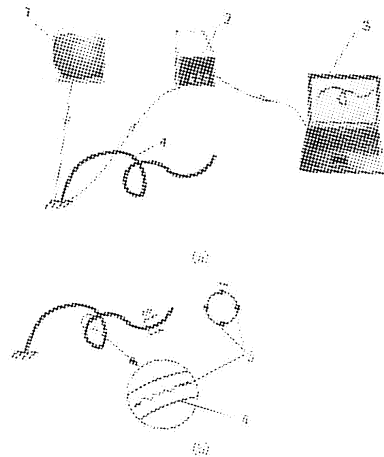
代理人 何文欣

权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称 软性内窥镜三维曲线形状检测装置和方法

[57] 摘要

本发明涉及一种软性内窥镜三维形状检测装置和方法。本检测装置由柔性检测杆、光纤光栅解调设备和计算机连接组成，在柔性检测杆上沿轴向设置两根成一组的多组光纤光栅，并且每根光纤光栅分别沿轴向均布光栅检测点，从而构成光纤光栅传感网络。检测方法包括确定光纤光栅的比例系数、获取波长信号、采集曲率信息、绘制形状曲线等步骤。本发明的内窥镜三维曲线形状检测装置组成简单、检测方法简便，可以实现实时检测。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种软性内窥镜三维曲线形状检测装置，包括一根柔性检测杆（4）其特征在于：装置由所述柔性检测杆（4）与一个光源（1）、一个光纤光栅解调装置（2）和一个计算机（3）顺序连接组成，在所述柔性检测杆（4）上沿轴向设置两根成一组的多组光纤光栅（5），并且每根光纤光栅（5）分别沿轴向均布光栅检测点，从而构成光纤光栅传感网络。
2. 根据权利要求1所述的软性内窥镜三维曲线形状检测装置，其特征在于：所述的多组光纤光栅（5）为二组共四根光纤光栅，四根光纤光栅（5）沿周向均布地粘贴在柔性检测杆（4）的外壁上，而两组光纤光栅对称分布在柔性检测杆横截面上，每组的两光纤光栅相隔 90° 。
3. 根据权利要求1所述的软性内窥镜三维曲线形状检测装置，其特征在于：所述的计算机（3）内设有将信号转换成曲线形状的软件。
4. 一种软性内窥镜三维曲线形状检测方法，采用权利要求1所述的软性内窥镜三维曲线形状检测装置进行检测，其特征在于：该方法至少包括以下步骤：
 - ①确定光纤光栅的对应曲率的比例系数：在检测开始前，首先用圆弧样条曲线标定方法确定柔性检测杆（4）上各组光纤光栅（5）的应变信号与曲线曲率间的比例系数 K ；
 - ②获取应变信号：将柔性检测杆（4）置于被测部位，柔性检测杆（4）的弯曲信号由光纤光栅（5）实时感知，由此获得柔性检测杆（4）表面多个离散点的应变信号；
 - ③采集应变信号：多个离散点的应变信号经对应的光纤光栅解调仪器（2）转换成数字信号；由计算机（3）实时采集；
 - ④计算曲率：计算机（3）根据实时采集的信号进行圆弧样条曲线标定处理后得到波长变化信号和柔性检测杆（4）曲率值之间的对应关系，并根据此关系计算出柔性检测杆（4）上多个离散点的曲率；
 - ⑤绘制形状曲线：计算机（3）根据柔性检测杆（4）上多个离散点的曲率用递推方法绘制出被测物体的形状曲线。
5. 根据权利要求4所述的软性内窥镜三维曲线形状检测方法，其特征在于：步骤①中所述的圆弧样条曲线标定方法为：对于每组光纤光栅（5），先测出柔性检测杆（4）在几个已知曲率半径 ρ 下的解调仪器的输出波长变化值，根据公式 $K=u \times \rho$ 求出每个曲率半径 ρ 下的比例系数，然后取其平均值作为每一组光纤光栅（5）的

比例系数 K。

6. 根据权利要求 4 所述的软性内窥镜三维形状拟合方程求出曲线上各点的坐标值，然后拟合成连续的曲线：

$$x=O_{(i-1)x}+(\rho_{i-1}-\rho_i)\cos\theta_{i-1}+\rho_i\cos\theta$$

$$y=O_{(i-1)y}+(\rho_{i-1}-\rho_i)\sin\theta_{i-1}+\rho_i\sin\theta$$

式中， $\theta_{i-1} \leq \theta \leq \theta_i$ $\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta\theta = \theta_{i-1} + S/\rho_i$ 。

软性内窥镜三维曲线形状检测装置和方法

技术领域

本发明涉及一种内窥镜形状检测装置和方法，尤其涉及一种基于光纤光栅传感网络的三维曲线形状检测装置和方法。

背景技术

结肠镜内窥检查已成为最普遍应用、最准确定位定性诊断大肠肿瘤的检查手段，在肿瘤病变的诊断方面具有重要价值。基于目前的技术，医师不能了解内窥镜在人体肠道内的形状，只能凭借个人经验来实施检查手术，医生也很难利用结襻进行内镜的辅助介入，同时也容易造成结肠镜在体内非预期的结襻现象发生，甚至穿孔，从而给病人带来更大的痛苦和危险。目前通用的方式是通过 X 射线进行手术导引方法，但该方法对医务人员以及病人身体存在较大的伤害。通过改造结肠内窥镜，使之具有检测结肠内窥镜在病人体内的形态的能力，就可以为医生实施检查和治疗提供很大的方便，可以进一步减少进镜和退镜过程对结肠组织的潜在损伤、减轻病人痛苦。

在内窥镜形状感知技术方面，已有技术仅为 OLYMPUS 公司基于美国专利 6,059,718 等，采用磁场定位原理，在被测目标上安装电磁发射设备发射已知结构的磁场，根据传感器在空间某点感应获得的磁场强度信号与已知的发射磁场的空间分布规律，计算出该点的空间坐标位置和传感器的姿态角。利用若干个同样的设备，每隔一个采样周期进行一次采样，采样数据反映连续磁场的变化，经计算得到每个传感器的空间位置，然后用计算机将这些离散的点拟合成连续的曲线，就可以在计算机上进行三维显示，实现柔软体的空间定位和跟踪，该技术容易受到手术室中的电磁干扰。

发明内容

本发明的目的，在于提供一种软性内窥镜三维曲线形状实时检测装置和方法，利用光学检测手段而避免采用磁场定位原理出现的电磁干扰。

本发明的目的是这样实现的，一种软性内窥镜三维曲线形状检测装置，包括一根柔性检测杆（4）其特征在在于：装置由所述柔性检测杆（4）与一个光源（1）、一

个光纤光栅解调装置(2)和一个计算机(3)顺序连接组成,在所述柔性检测杆(4)上沿轴向设置两根成一组的多组光纤光栅(5),并且每根光纤光栅(5)分别沿轴向均布光栅检测点,从而构成光纤光栅传感网络。

上述的多组光纤光栅为二组共四根光纤光栅,四根光纤光栅(5)沿周向均布地粘贴在柔性检测杆(4)的外壁上,而两组光纤光栅对称分布在柔性检测杆横截面上,每组的两光纤光栅相隔 90° 。

上述的计算机内设有将信号转换成曲线形状的软件。

一种软性内窥镜三维曲线形状检测方法,采用上述的软性内窥镜三维曲线形状检测装置进行检测,其特点是,该方法至少包括以下步骤:

①确定光纤光栅的比例系数

在检测开始前,首先用圆弧样条曲线标定方法确定柔性检测杆上各组光纤光栅的应变信号与曲线曲率间的比例系数 K ;

②获取应变信号

将柔性检测杆置于被测部位,柔性检测杆的弯曲信号由光纤光栅实时感知,由此获得柔性检测杆表面多个离散点的应变信号;

③采集应变信号

多个离散点的应变信号经对应的多个光纤光栅解调仪器转换成数字波长信号,由计算机实时采集;

④计算曲率

计算机根据实时采集的信号进行圆弧样条曲线标定处理后得到波长信号变化值和柔性检测杆曲率值之间的对应关系,并根据此关系计算出柔性检测杆上多个离散点的曲率;

⑤绘制形状曲线

计算机根据柔性检测杆上多个离散点的曲率用递推方法绘制出被测物体的形状曲线。

上述三维曲线形状检测方法,其中,步骤①中所述的圆弧样条曲线标定方法为:对于每组光纤光栅,先测出柔性检测杆在几个已知曲率半径 ρ 下的光纤光栅的中心波长 λ ,根据公式 $K=\lambda \times \rho$ 求出每个曲率半径 ρ 下的比例系数,然后取其平均值作为每一组光纤光栅的比例系数 K 。

上述三维曲线形状检测方法,其中,步骤⑤中所述的递推方法为,根据以下曲

线拟合方程求出曲线上各点的坐标值，然后拟合成连续的曲线：

$$x = o_{(i-1)}x + (\rho_{i-1} - \rho_i) \cos \theta_{i-1} + \rho_i \cos \theta$$

$$y = o_{(i-1)}y + (\rho_{i-1} - \rho_i) \sin \theta_{i-1} + \rho_i \sin \theta$$

式中， $\theta_{i-1} \leq \theta \leq \theta_i$ $\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta \theta = \theta_{i-1} + s / \rho_i$ 。

本发明由于采用了以上技术，使其与现有技术相比，具有以下明显的优点和特点：

1. 由于整个检测系统主要由光纤光栅传感网络、解调仪器和计算机组成，不需要额外的辅助检测设备，所以整个系统的组成简单，无放射线对人体发生伤害。
2. 由于本发明三维曲线形状检测技术是在整个被测曲线上放置多个曲率检测光纤光栅，对多点的曲率检测是以并行方式同时进行的，因此整个形状检测系统可以实现实时检测，这种检测技术既能适用腔道内的曲线检测，也能适用任意空间曲线的检测，并且能够达到很高的实时响应性。
3. 光纤光栅传感方式具有尺寸小，测量范围大的优点，可以在微小尺寸下进行动态的大应变的测量。

本发明的内窥镜三维曲线形状检测装置组成简单，检测方法简便，可以实现实时检测。

附图说明

图 1 是本发明三维曲线形状检测装置的结构示意图，图中图(a)为装置系统结构图，图(b)为柔性检测杆的光纤光栅传感器布置示意图以及“A”处的局部放大图。

图 2 是光纤光栅传感网络拓扑结构示意图。

图 3 是本发明的一实施例中一组光纤光栅检测柔性检测杆 6 种弯曲状态下的曲率与中心波长变化值的关系曲线图。

图 4 是基于离散点曲率信息的重建原理图。

图 5 是本发明的一实施例的柔性检测杆的实际形状曲线照像图。

图 6 是本发明的一实施例的柔性检测杆的实际形状曲线的再显图。

具体实施方式

本发明的一个优选实施例结合附图说明如下：

请参见图 1，本软性内窥镜三维曲线形状检测装置由柔性检测杆(4)、波长解调

装置(2)和计算机(3)通过光纤跳线、信号线顺序连接组成。在柔性检测杆(4)上沿轴向均匀设置两组共四根光纤光栅组成的传感网络。光纤光栅(5)每组为两根，每组的两光纤光栅(5)对称粘贴在柔性检测杆(4)的两侧。在计算机(3)内设有将信号转换成曲线形状的软件。

本发明三维曲线形状检测方法的检测过程如图 2 所示。该方法通过上述软性内窥镜三维曲线形状检测装置实施，其步骤如下：

在检测开始前，首先用圆弧样条曲线标定方法确定柔性检测杆(4)上各组光纤光栅(5)的比例系数 K；圆弧样条曲线标定方法为：对于每组光纤光栅(5)，先测出柔性检测杆(4)在几个已知曲率半径 ρ 下的光纤光栅中心波长 λ ，根据公式 $K=\lambda \times \rho$ 求出每个曲率半径 ρ 下的比例系数，然后取其平均值作为每一组光纤光栅(5)的比例系数 K。

检测时，将柔性检测杆(4)置于被测部位，柔性检测杆(4)的弯曲信号由光纤光栅(5)实时感知，由此获得柔性检测杆(4)表面多个离散点的应变信号；

多个离散点的应变信号经对应的多个光纤光栅中心波长信号，由计算机(3)实时采集；

计算机(3)根据实时采集的信号进行圆弧样条曲线标定处理后得到中心波长信号和柔性检测杆(4)曲率值之间的对应关系，并根据此关系计算出柔性检测杆(4)上多个离散点的曲率；

最后，计算机根据柔性检测杆(3)上多个离散点的曲率用特定的递推方法绘制出被测物体的形状曲线。

本发明三维曲线形状检测装置的检测原理为：粘贴在柔性检测杆(4)上的每个光纤光栅(5)输出中心波长 λ 与光纤光栅所在点的曲率半径 ρ 成反比，与曲率 n 成正比：

$$\lambda = K / \rho = K \times n$$

其中 K 为比例系数。比例系数 K 用圆弧样条曲线标定的方法求得。具体标定方法是，对于每一组光纤光栅(5)，先测出柔性检测杆 4 在几个已知曲率半径 ρ 下的光纤光栅中心波长 λ ，根据公式 $\lambda = K / \rho = K \times n$ 求出每个已知曲率半径 ρ 下的比例系数，以其平均值作为每一组光纤光栅(5)的比例系数 K。这样，就可以通过信号采集卡所测得的每个光纤光栅的输出中心波长值 λ 和标定所得的系数 K 来计算柔性检测杆 4 上的光纤光栅(5)所在点的曲率。

在 $\{B_i\}$ 坐标系中对进行两个曲率分量进行矢量合成，合成的曲率矢量 k_i ，大小

为:

$$|\mathbf{k}_i| = \sqrt{k_{ai}^2 + k_{bi}^2}$$

k_i 与 k_{ai} 的夹角 α_i

$$\alpha_i = \begin{cases} \pi/2 & (k_{ai} = 0, k_{bi} > 0) \\ -\pi/2 & (k_{ai} = 0, k_{bi} < 0) \\ 0 & (k_{ai} = 0, k_{bi} = 0) \\ \text{tg}^{-1}(k_{bi}/k_{ai}) & (k_{ai} > 0) \\ \text{tg}^{-1}(k_{bi}/k_{ai}) + \pi & (k_{ai} < 0) \end{cases}$$

在获得了柔性检测杆(4)上若干离散点的曲率之后,便可以根据下列步骤获得基于递推方法的曲线拟合方程。

1. 两个曲率分量的合成
2. 求解 $i+1$ 点在世界坐标系中的位置
3. 新的运动坐标系 $\{B_{i+1}\}$ 的建立
4. $\{B_{i+1}\}$ 和世界坐标系转换关系的推导

$$\begin{Bmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \\ z_{i+1} \\ 1 \end{Bmatrix} = [T_i]^{-1} \begin{Bmatrix} da_i \\ db_i \\ dc_i \\ 1 \end{Bmatrix}$$

求出曲线上各点的坐标值,然后拟合成连续的曲线,实现被测曲线的再显,将柔性检测杆(4)的形状曲线绘出。

以下通过一个具体实施例对本发明三维曲线形状检测装置和检测方法的检测原理和检测过程作进一步的描述:

在一根长 90 厘米、外径 0.75 毫米、柔性检测杆 1 上均匀布置了 10 组型号为的光纤光栅 5, 各组光纤光栅 5 之间的间距为 10 厘米, 如图 3 所示。这样 4 个通道的光纤光栅的输出信号通过一个来实时采集解调仪器每个光纤光栅的输出中心波长。对于每组光纤光栅 5 的比例系数 K , 通过标定柔性检测杆(4)在 $\rho = \infty$ (直线)、90 厘米、70 厘米、50 厘米、40 厘米、30 厘米、25 厘米、20 厘米弯曲状态时的每个光纤光栅的输出中心波长 λ , 按照公式 $K = \lambda / \rho$, 计算出各弯曲状态时的比例系数, 然后求平均值得到。图 4 所示为其中某一组光纤光栅(5)检测柔性检测杆 3 的 8 种弯曲状态下的曲率与输出中心波长 λ 之间的关系曲线图, 从而通过标定方法获得

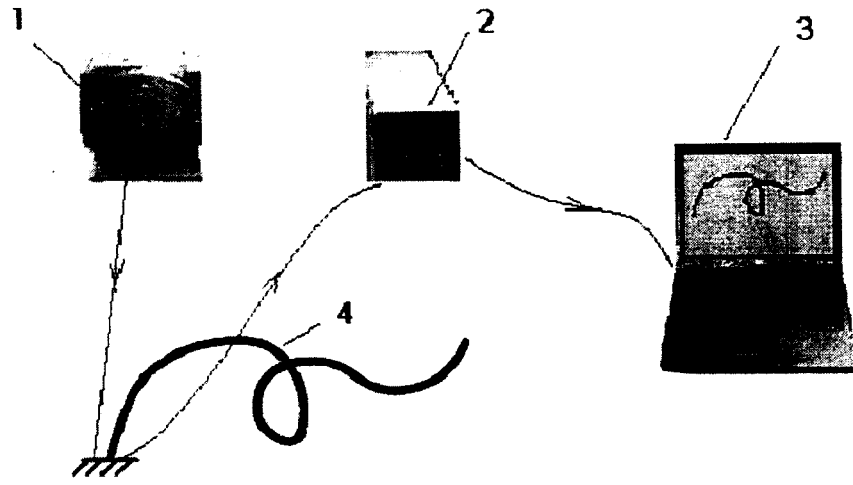
比例系数 K ，其中的直线是按照求平均之后的 K 画出的 λ 与 $1/\rho$ （曲率 n ）之间的关系图。

解决空间曲线重构的基本思路是，在空间曲线上建立由曲线切线和曲率分量确定的运动坐标系，在运动坐标系中由曲率矢量确定密切平面，在密切平面中进行曲线的弯曲计算，并进行运动坐标系的运动分析。

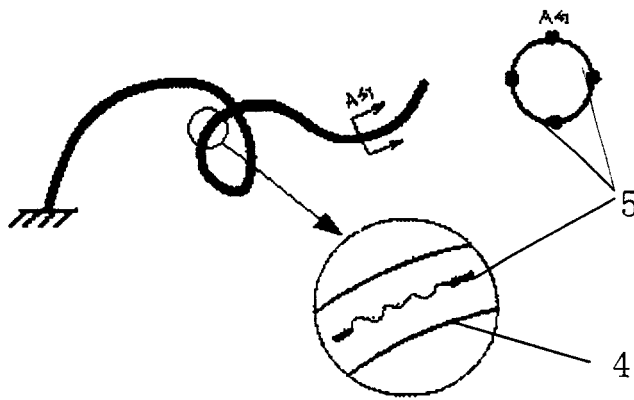
接着根据柔性检测杆(4)上 10 个点的曲率来重建形状曲线。由于柔性检测杆(4)的形状曲线是连续的，因此在弧长段 s 足够小的情况下，曲线可以看作是许多段半径不等的圆弧段或直线段组成的，如图 5 所示。其中以起始点的切线方向作为 x 轴。为了获知足够小 s 的曲率，可采用在已知曲率点（通过光纤光栅(5)检测获得）之间线性插入。本实例中在间隔为 10 厘米的两点中插了 9 个点，组成 10 个圆弧段，即：

$$\begin{cases} k_{a_i} = m_{a_i} * s_i + n_{a_i} \\ k_{a_{i+1}} = m_{a_i} * s_{i+1} + n_{a_i} \\ k_{b_i} = m_{b_i} * s_i + n_{b_i} \\ k_{b_{i+1}} = m_{b_i} * s_{i+1} + n_{b_i} \end{cases}$$

这样就可以方便地计算出每一段圆弧的曲率。在已知 s 和各个圆弧段的曲率半径后，就可以用图 5 所示的基于离散点曲率的曲线重建递推方法将圆弧段的圆心坐标求出，从而将整个被测曲线再显出来。图 6 所示即为本实施例的柔性检测杆(3)的实际形状曲线的重建图。



(a)



(b)

图 1

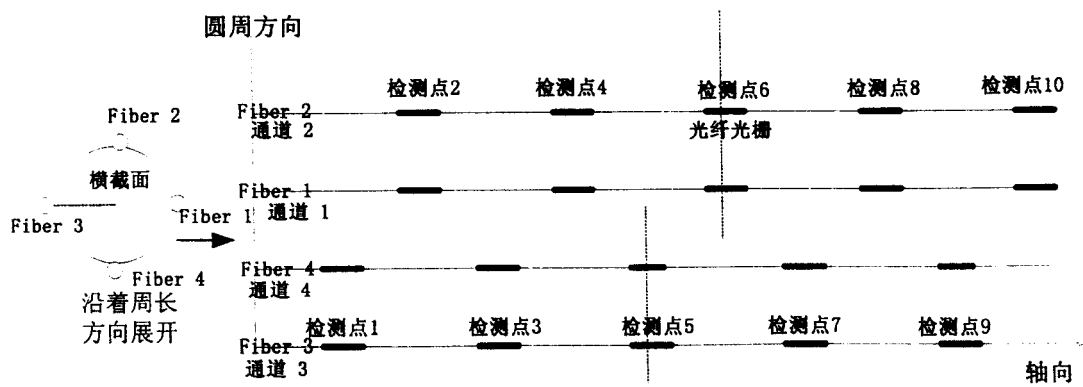


图 2

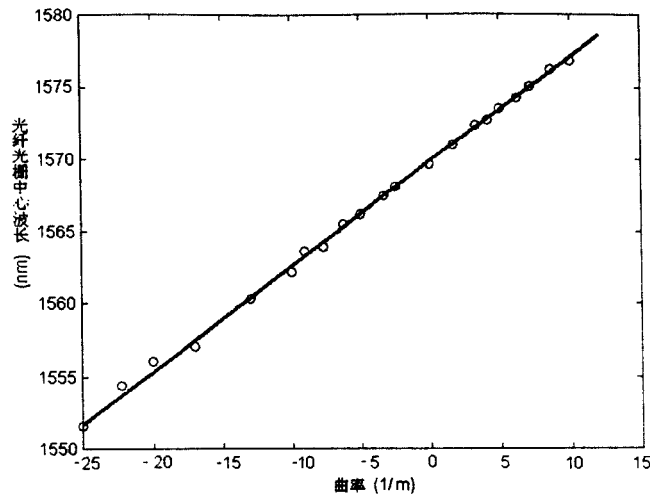


图 3

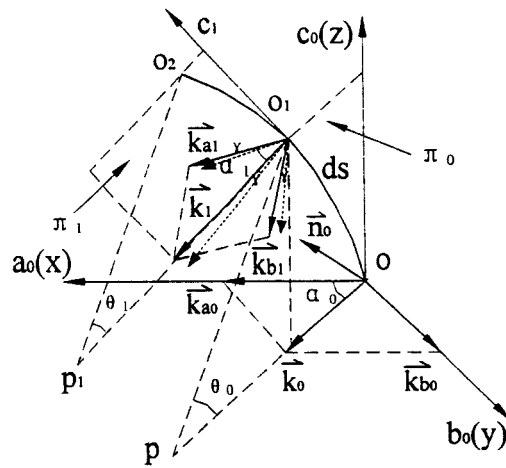


图 4

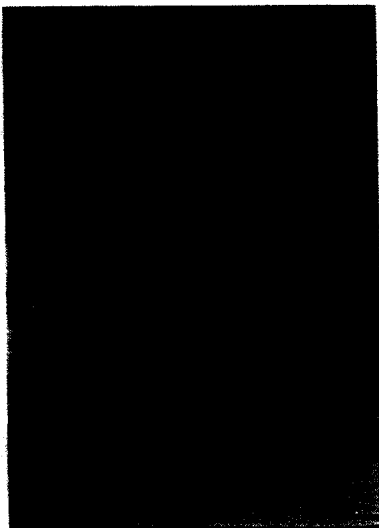


图 5

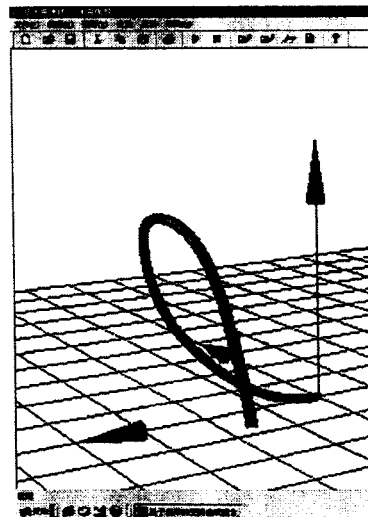


图 6

专利名称(译)	软性内窥镜三维曲线形状检测装置和方法		
公开(公告)号	CN1692871A	公开(公告)日	2005-11-09
申请号	CN200510025854.6	申请日	2005-05-17
[标]申请(专利权)人(译)	上海大学		
申请(专利权)人(译)	上海大学		
当前申请(专利权)人(译)	上海大学		
[标]发明人	钱晋武 张伦伟 沈林勇 吴家麒 章亚男		
发明人	钱晋武 张伦伟 沈林勇 吴家麒 章亚男		
IPC分类号	A61B1/00 G01B11/00		
代理人(译)	何文欣		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种软性内窥镜三维形状检测装置和方法。本检测装置由柔性检测杆、光纤光栅解调设备和计算机连接组成，在柔性检测杆上沿轴向设置两根成一组的多组光纤光栅，并且每根光纤光栅分别沿轴向均布光栅检测点，从而构成光纤光栅传感网络。检测方法包括确定光纤光栅的比例系数、获取波长信号、采集曲率信息、绘制形状曲线等步骤。本发明的内窥镜三维曲线形状检测装置组成简单、检测方法简便，可以实现实时检测。

