

文章编号:1005-0930(2011)02-0305-009 中图分类号:TP391;V41 文献标识码:A
doi:10.3969/j.issn.1005-0930.2011.02.015

基于空间正交曲率信息的三维 曲线重构方法分析

朱晓锦, 季玲晓, 张合生, 金晓斌, 易金聪

(上海大学机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘要:面向高性能飞行器结构形态主动监测研究背景,以光纤光栅柔性细杆机敏结构为研究模型对象,侧重于空间正交曲率信息的三维曲线重构方法分析和研究.在简述基于正交分布式光纤光栅传感阵列曲率检测原理基础上,进行空间三维曲线重构方法分析,并给出了详细的算法过程和实现步骤,同时进行了离散曲率连续化方法分析;基于 Visual C++ 开发平台及 OpenGL 技术,针对方法研究结果与算法分析过程,开发可视化仿真实验环境进行了实验分析与验证,基于3种离散曲率连续化方法进行图形重构效果对比;实验分析结果不仅表明了3维重构方法与实现过程的有效性,而且获得了离散曲率连续化方法上的相关有益结果.

关键词:高性能飞行器;光纤智能结构;曲率信息;空间曲线;重构

面向航空航天器柔性结构形变状态主动监测研究,分布式智能传感技术及其信息处理方法构成关键内容之一.就研究思路而言,可基于非视觉传感方法将光纤光栅传感网络分布式植入于待监测结构,通过获取结构形变的分布传感信息并进行处理,进而基于相关重建算法实现结构形态重构,并实现振动状态可视化^[1];其中,对于细长柔性结构的分布植入式传感阵列检测技术,以及基于分布曲率信息的空间曲线重构方法研究,对于航空航天若干典型柔性结构的拓扑形态主动监测,如桁架结构、龙骨结构和天线结构,更具有现实和重要的意义.

仅就三维空间曲线重构而言,目前国内外已有较多理论和方法,但主要是以获取空间点坐标值为基础进行,原因在于相对固定的地面环境下,通过各种接触式或非接触式测量装置,可以比较容易获得结构形态的三维空间坐标值(点云集),进而基于各种数据处理和拟合方法实现三维重构,一般情况下重构过程对实时性也无过高的要求.但对于如卫星天线、太阳能帆板和伸展式机翼等航空航天器构体,由于载体的时刻运动而无法获得确定位置信息,更不可能通过常规测量装置和手段获得结构坐标点云集,因而导致传统的结构

收稿日期:2009-08-04;修订日期:2009-11-26

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90716027);上海市教委科研创新重点项目(09ZZ88);上海大学“十一五”211 建设项目;上海市电站自动化技术重点实验室资助;上海市教委“机械电子工程”创新团队资助

作者简介:朱晓锦(1965—),男,博士,教授,博士生导师.

形态重构方法和实现方式的不适用性.

本文以光纤光栅柔性细杆机敏结构为研究模型对象,以航空航天器典型结构形态实时感知和重构为研究背景和目标,着重进行基于正交分布曲率信息的结构空间三维形态重构方法研究.技术方法上以正交分布植入式光纤光栅传感阵列构建机敏结构,精确测量柔性细长结构相关位置的多点曲率信息;同时面向结构三维形态重构和可视化实现,深入研究基于正交离散曲率信息的三维空间曲线重构方法,以及离散曲率连续化方式;在此基础上基于计算机图形处理技术进行仿真分析,实现模型结构空间曲线形态的重构和可视化显示.实验分析表明,相关技术方法具有良好重构精确度和可视化验证效果,为进一步针对具体实验模型进行研究和验证,提供了方法技术基础和实现思路储备.

1 重构方法与算法分析

1.1 机敏模型结构简介

光纤光栅机敏材料具有测量精度高,响应速度快,以及良好的植入亲和性等优点,当前在智能结构健康监测和损伤识别研究领域获得广泛关注^[2].本文模拟的光纤光栅柔性细长机敏实验结构,采用4根光纤光栅传感阵列与1根SMA形状记忆合金丝基材构成;每根光纤上均布6个光栅点,4根光纤采用正交环绕方式均匀粘贴在SMA基材上^[3],光纤光栅具体布置方式如图1所示.

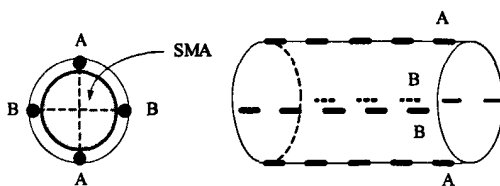


图1 模型结构与传感阵列示意图

Fig.1 Sketch of model structure and sensor array

在温度不变条件下,光纤光栅点波长的变化量与该点处曲率成正比,具体如式(1)所示^[4]

$$C = \frac{\Delta\lambda_B}{(1-P)\lambda_B\gamma} \quad (1)$$

式中, C 为对应曲率; γ 为传感器安装位置到中性面的距离; P 为光纤材料光弹系数, λ_B 为中心波长, $\Delta\lambda_B$ 为波长变化量.由式(1)可知,曲率与波长变化量成正比,波长变化量在波长递增变化时为正,递减变化时为负.由于曲率是一个数量值,它的大小表示曲线的弯曲程度,无符号之分,因此这里引入曲率符号;设曲率为正值时,平面曲线按逆时针方向弯曲;曲率为负值时,平面曲线按顺时针方向弯曲;因此,曲率符号发生改变,意味着曲线的弯曲方向发生了改变.

1.2 基于微分几何学构建空间曲线运动坐标系

曲率测量平面AA、BB附着于SMA基材圆截面的正交方向上,由于曲率测量平面相对于固定坐标系位置是随曲线弯曲而不断变化的,因此基于微分几何学引进运动坐标系

M 的概念^[5-6],在弯曲变化的曲线上建立随曲线变化的运动坐标系 $a-b-c$,图 2 为在空间曲线上建立运动坐标系的示意图。

在空间曲线 $O_0O_1O_2$ 上, O_0 点是空间曲线端点,将其作为坐标系原点,并以曲线上该点的切线方向为 c 轴, O_0 点相互正交的曲率方向为 a 、 b 轴,则可建立运动坐标系记作 M_0 ;为方便计算将固定坐标系记作 F ,它的 $x-y-z$ 分别与 M_0 的 $a-b-c$ 重合. k_0 是正交曲率 k_{a0} 和 k_{b0} 的合成方向,它与 c 轴构成的面为密切平面 π_0 . 假设 O_0O_1 之间的弧线段极小,扭曲状态可以忽略不计,则该弧线段可看作是密切平面 π_0 上的曲线. 在 O_1 点以同样的方法建立运动坐标系 $a_1-b_1-c_1$,将该运动坐标系记作 M_1 ,其它各点的运动坐标系可以按此方法类推. 建立密切平面的意义,在于它使空间曲线上的每一个微弧段,转变为在其对应密切平面上的平面曲线,从而简化了空间曲线的重构过程。

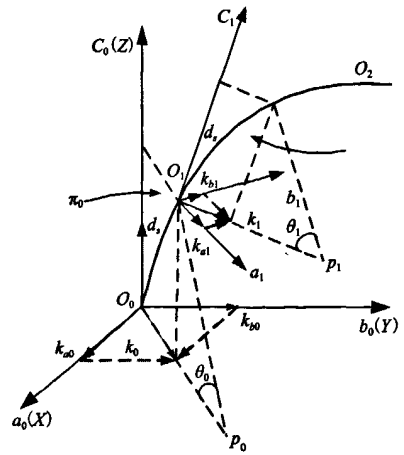


图 2 空间曲线重构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of space curve reconstruction

1.3 空间曲线重构算法分析

把运动坐标系 M_i 中第 i 点处坐标,转换到固定坐标系 F 中的齐次变换矩阵记做 $[T_i]$,如下式

$$[F] = [T_i][M_i] \quad (2)$$

假设在第 $i-1$ 点到第 i 点的位置递推过程,已经求得 $[T_i]$ 如式(3)

$$[T_i] = \begin{bmatrix} a11_i & a12_i & a13_i & a14_i \\ a21_i & a22_i & a23_i & a24_i \\ a31_i & a32_i & a33_i & a34_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \\ z_{i+1} \\ 1 \end{bmatrix} = [T_i] \begin{bmatrix} da_{i+1} \\ db_{i+1} \\ dc_{i+1} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

由式(2)可得式(4),第 $i+1$ 点在 F 中的坐标为 $\{x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1}\}$,而 $\{da_{i+1}, db_{i+1}, dc_{i+1}\}$ 为 $i+1$ 点在 M_i 坐标系中的坐标。

M_{i+1} 坐标系的原点是 $i+1$ 点,该点在 M_i 中的位置是 $\{da_{i+1}, db_{i+1}, dc_{i+1}\}$, M_{i+1} 坐标系 c 轴的正方向指向曲线在 $i+1$ 点处的切线方向. 忽略扭曲状态, $\{da_{i+1}, db_{i+1}, dc_{i+1}\}$ 是密切平面 π_i 上的曲线段 $O_{i-1}O_i$ 的一点,可以通过文献[6-7]提出的平面曲线拟合方法计算而得. 把 M_i 转换到 M_{i+1} 的齐次变换矩阵记做 $[t_{i+1}]$,三者的关系如式(5)所示

$$[M_{i+1}] = [t_{i+1}][M_i] \quad (5)$$

$[t_{i+1}]$ 通过以下 4 个步骤完成变换过程^[8-9]:

步骤 1: M_i 绕着 c_i 轴转过 α_i , α_i 为 k_i 与 k_a 的夹角,产生 a_{i-1} 、 b_{i-1} 、 c_{i-1} ,而 a_{i-1} 轴与 i

点的曲率矢量 k_i 方向重合, 相应的齐次转换矩阵记为式(6);

步骤2: 绕着 b_{i-1} 轴转过 θ_i , θ_i 为该段圆弧所对应圆心角, 产生 a_{i-2} 、 b_{i-2} 、 c_{i-2} , 使 c_{i-2} 轴与 $i+1$ 点的切线方向平行, 相应齐次转换矩阵记为式(7);

步骤3: 绕着 c_{i-2} 轴转过 $-\alpha_{i+1}$, α_{i+1} 为 k_{i+1} 与 k_{ai+1} 的夹角, 相应齐次转换矩阵记为式(8);

步骤4: 平移一个向量, 记为式(9).

$$[R_{ci, \alpha_i}] = \begin{bmatrix} \cos(\alpha_i) & -\sin(\alpha_i) & 0 & 0 \\ \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[R_{bi, \theta_i}] = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & 0 & -\sin(\theta_i) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\theta_i) & 0 & \cos(\theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[R_{ci, -\alpha_{i+1}}] = \begin{bmatrix} \cos(-\alpha_{i+1}) & -\sin(-\alpha_{i+1}) & 0 & 0 \\ \sin(-\alpha_{i+1}) & \cos(-\alpha_{i+1}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[P] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & da_i \\ 0 & 1 & 0 & db_i \\ 0 & 0 & 1 & dc_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$[t_{i+1}]$ 是上述4个变换矩阵的串乘, 即式(10)

$$[t_{i+1}] = [P][R_{ci, -\alpha_{i+1}}][R_{bi, \theta_i}][R_{ci, \alpha_i}] \quad (10)$$

将坐标系 M_{i+1} 转换到坐标系 F 的齐次变换矩阵记做 $[T_{i+1}]$, 则得式(11)

$$[F] = [T_{i+1}][M_{i+1}] \quad (11)$$

由式(2)代入式(11)的左边, 并把式(5)代入式(11)的右边, 可得式(12)

$$[T_{i+1}] = [T_i][t_{i+1}]^{-1} \quad (12)$$

当 $i=0$ 时, $[T_0]$ 为 4×4 的单位阵, 表示初始点处的运动坐标系与绝对坐标系相重合. 到此已求出 $i+1$ 点的绝对位置坐标 $\{x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1}\}$, 及从齐次变换矩阵 $[T_i]$ 转换到齐次变换矩阵 $[T_{i+1}]$ 的递推公式. 重复上述的步骤就可依次求出曲线上各点的绝对位置坐标, 完成空间曲线的三维形状重构.

分析该算法过程, 整个曲线重构的过程是一个递推的过程, 即某点总是由它前一点的位置计算而得, 导致重构曲线的最远端误差最大.

2 离散曲率连续化

实际测量中, 光纤光栅传感阵列的采集数据总是有限且离散的, 空间弯曲柔性结构仅

是有限点获得已知的曲率数据.由微分几何可知,如果曲线的曲率连续,即曲线的二阶导数连续,则该曲线是连续光滑的;因此在每两个离散测点之间可以采用插值方法,以获得足够多的曲率数据^[10-11].如何细分曲率数据,将对最终曲线拟合精度产生较大影响,本文在此讨论以下3种方法.

方法一:在每相邻的两个离散点之间采用线性插值,曲率与弧长成线性关系,如式(13)和式(14)所示

$$k = m \times s + n \quad (13)$$

$$\begin{cases} k_{ai} = m_{ai} \times s_i + n_{ai} \\ k_{a(i+1)} = m_{ai} \times s_{(i+1)} + n_{ai} \\ m_{ai} = (k_{a(i+1)} - k_{ai}) \div (s_{(i+1)} - s_i) \\ n_{ai} = (k_{ai} \times s_{(i+1)} - k_{a(i+1)} \times s_i) \div (s_{(i+1)} - s_i) \end{cases} \quad (14)$$

式中, k 表示曲率; s 为对应检测点至起始点的弧长; m 、 n 为系数.将第 i 段始末两点的曲率 k_{ai} 、 $k_{a(i+1)}$,以及弧长 s_i 、 $s_{(i+1)}$ 分别代入式(13)($i=0,1,2,\dots,n-1$);则从式(14)中可以解得系数 m_{ai} 、 n_{ai} ,将系数代入式(13),就可求出曲线上任意处的曲率分量 k_a .曲率分量 k_b 的连续化方法等同曲率分量 k_a .

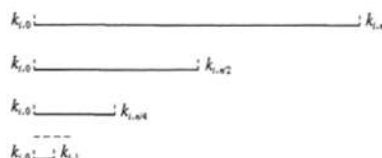


图3 弧长选取二分法示意图

Fig.3 Dichotomy for arc length selection

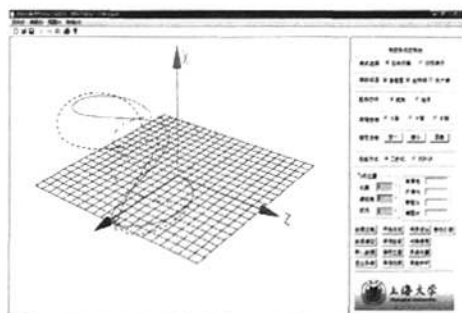


图4 可视化实验分析软件

Fig.4 Visual analysis software

方法二:平方平均值法.已知两个检测点 O_i 点和 O_{i+1} 点的曲率分别为 k_{ai} 、 $k_{a(i+1)}$,假设在曲线段 O_iO_{i+1} 上,有均匀布置的 $n-1$ 个点将曲线段分割成 n 段,将 k_{ai} 改记 $k_{ai,0}$, $k_{a(i+1)}$ 改记作 $k_{ai,n}$,则第 $n/2$ 点处的曲率 $k_{ai,n/2} = \sqrt{\frac{k_{ai,0}^2 + k_{ai,n}^2}{2}}$,继续再将 $k_{ai,0}$ 与 $k_{ai,n/2}$ 进行平分,同时也将 $k_{ai,n/2}$ 与 $k_{ai,n}$ 进行平分,依次类推.为了方便分割, $n=2^m$;图3为将曲线拉直时,弧长选择方法的示意图.当 k_{ai} 和 $k_{a(i+1)}$ 中至少有一个为负时, $k_{ai,n/2}$ 只能确定大小不能确定符号,该方法则不再适用.曲率分量 k_b 的连续化方法等同曲率分量 k_a .

方法三:曲率为弧长的二次函数,该方法用二次函数来拟合曲率变化曲线^[12].

$$k = m \times s^2 + n \times s + l \quad (15)$$

式中, k 表示曲率; s 为对应检测点至起始点的弧长; m 、 n 、 l 为系数.已知连续的3个检测点 O_1 、 O_2 、 O_3 的曲率分量 k_a 为 k_{a1} 、 k_{a2} 、 k_{a3} ,另 s_1 、 s_2 、 s_3 为对应检测点至起始点的弧长,则代入上式可以求得二次函数系数 m_a 、 n_a 、 l_a ,如式(16)所示.

$$\begin{bmatrix} m_a \\ n_a \\ l_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_1^2 & s_1 & 1 \\ s_2^2 & s_2 & 1 \\ s_3^2 & s_3 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} k_{a1} \\ k_{a2} \\ k_{a3} \end{bmatrix} \tag{16}$$

该组数据作为 O_1O_2 弧段曲率分量 k_a 的二次函数系数,将其重新代入式(15),就可以求得曲线 O_1O_2 上任意点处的曲率分量 k_a . O_2O_3 弧段曲率分量 k_a 的二次函数系数,则由 $O_2O_3O_4$ 弧段的曲率数据按上述方法获得,以此类推. 曲率分量 k_b 的连续化方法等同曲率分量 k_a .

3 仿真实验分析

本文以 Visual 2005 为开发平台,结合算法过程和计算机图形处理 OpenGL 技术,开发了柔性结构空间形态三维重构与可视化软件如图 4 所示,并基于实验模型对象的多通道曲率检测信息进行了仿真实验分析. 在该平台中, x 轴垂直于网格面,坐标系 x - y - z 符合右手螺旋法则. 根据空间柔性细杆的弯曲特性,预置正交曲率数据如表 1 所示,其中 k_a 、 k_b 为相互正交的曲率;由于实验模型上设计有 6 个检测点,因此 k_a 、 k_b 每组曲率均有 6 个曲率数据;图 5—图 8 是根据该组数据重构获得的三维空间曲线重构效果图.

表 1 仿真实验分析曲率数据表
Table 1 Curvatures used in the experiment

图 5	k_a [6]	{0.0212, 0.0212, 0.0212, 0.0212, 0.0212, 0.0212, }
	k_b [6]	{0.0212, 0.0212, 0.0212, 0.0212, 0.0212, 0.0212, }
图 6	k_a [6]	{0.14991, 0.12517, 0.08918, 0.04603, 0.00628, 0.02318 }
	k_b [6]	{0.00523, 0.05057, 0.08030, 0.09437, 0.08976, 0.07130 }
图 7	k_a [6]	{0.14991, 0.13908, 0.11147, 0.06576, 0.01046, 0.04635 }
	k_b [6]	{0.00523, 0.05619, 0.10037, 0.13482, 0.14963, 0.1426 }
图 8	k_a [6]	{0.02963, 0.0226, 0.15037, -0.09482, 0.18619, 0.19619 }
	k_b [6]	{0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0 }

图 5—图 8 所显示的实验分析截图,均采用 3 种离散曲率连续化方法进行绘制,以便于比较各方法的优缺点. 此外,图中实线采用的是线性插值法将曲率连续化,点划线为平方平均值法将曲率连续化,虚线为二次函数法将曲率连续化.

由表 1 知,图 5 中采用的正交曲率数据相等,其合成曲率大小为 0.02998,与 k_a 方向始终成 45° . 这组数据重构所得的曲线,必定是一条与坐标平面 x - z 成 45° 角,且半径为 $1/0.02998$ 的平面圆环. 由于整条曲线上不同点处的曲率数据大小相同,3 种不同的连续化方法构成的对应空间曲线重合为一条曲线.

图 6 和图 7 中,所重构空间曲线分别采用了典型的变径螺旋线、等径螺旋线曲率数据,两图直观地表现出各自曲线的空间特性. 由于曲线上各点处曲率数据的符号相同,这使得空间曲线走势始终保持一致. 分析 3 种不同曲率连续化方法所构成的曲线,当曲线上的曲率数据符号相同且为正,不同的连续化方法之间没有太大的差别;但线性插值法和二次函数法在重构曲线的起始端相贴近,在重构曲线末端略有分叉.

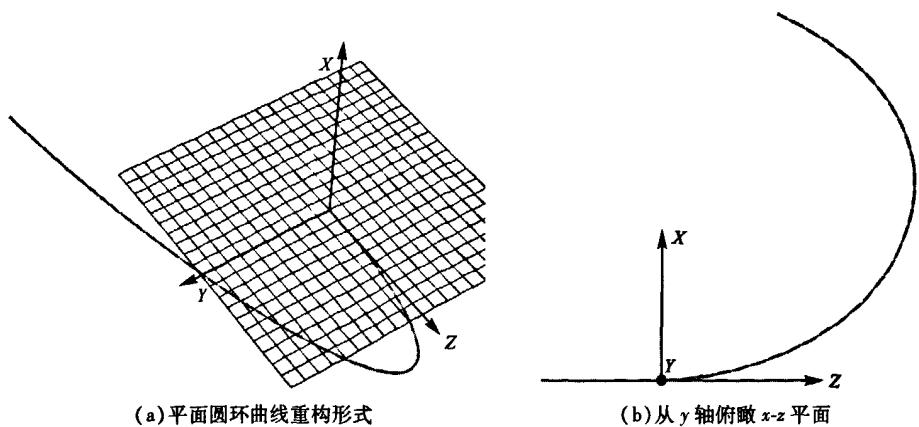


图 5 基于离散曲率连续化方法的平面圆环曲线空间重构效果图

Fig. 5 Space curve reconstruction for circle plane curve based on discrete curvature continuity

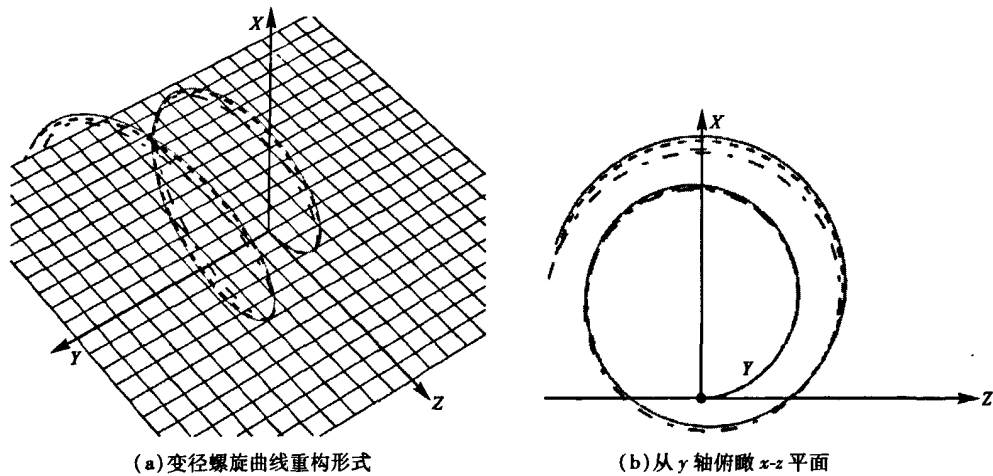


图 6 基于离散曲率连续化方法的变径螺旋曲线空间重构效果图

Fig. 6 Space curve reconstruction for variable diameter helix based on discrete curvature continuity

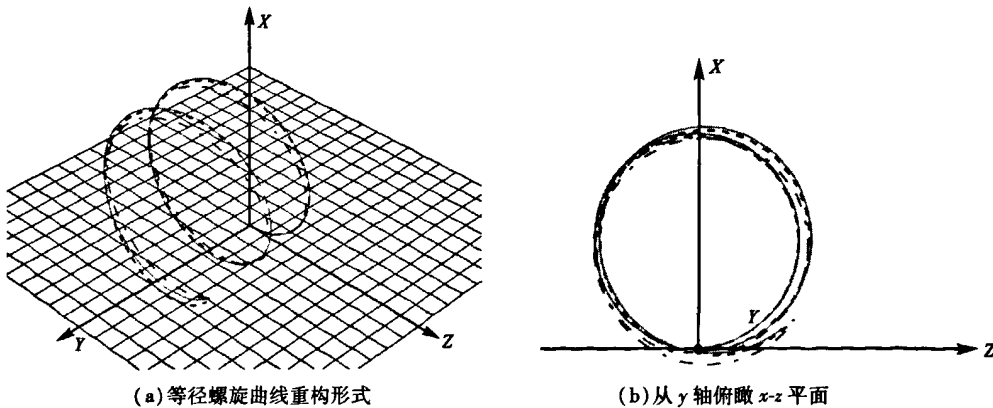


图 7 基于离散曲率连续化方法的等径螺旋曲线空间重构效果图

Fig. 7 Space curve reconstruction for equal diameter helix based on discrete curvature continuity

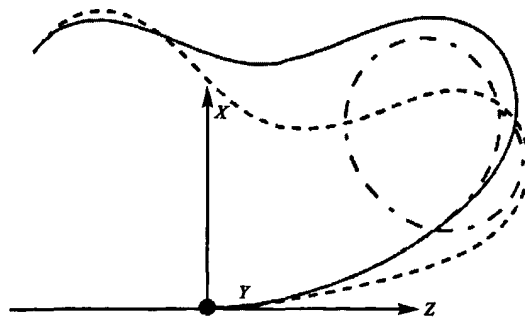


图 8 曲率中有负值

Fig. 8 Influence of negative curvatures

由于图 8 所使用的曲率分量 k_x 始终为 0, 表示该柔性细杆模型仅在平面内发生弯曲; 由于曲率值变号表示曲线弯曲的方向改变, 在图 8 中可以明显地看出曲线的弯曲方向发生变化; 该图也表明当曲率数据中出现负值时, 平方平均值法不再适用. 从图 8 中还可以看出, 线性插值法和二次函数法虽有相似的曲线形状, 但偏差较大, 需经过进一步的标定测试, 才能比较这两种方法的实际精确度.

4 结论

本文以光纤光栅柔性细杆机敏结构为模拟实验对象, 着重于面向正交分布传感曲率信息的结构空间三维形态重构方法与实现算法展开研究, 在此基础上基于计算机图形学方法与 OpenGL 技术, 结合 VC 平台开发了验证技术方法的实验分析环境, 实现了基于非视觉传感的柔性细杆结构空间三维形态的重构与可视化显示. 同时, 经过横向和纵向两个方面比较 3 种离散曲率连续方法, 并取得有益的分析数据和验证结果. 实验分析结果表明, 针对位置坐标信息无法确定的结构形态重构问题, 本文所研究的机敏结构曲率信息检测与三维空间曲线重构算法, 能够比较精确地重构再现柔性细杆的空间三维弯曲形态, 不仅验证了相关研究思路的可行性, 同时为进一步实现航空航天器典型结构形态实时感知和重构, 提供了有益的思路方法和技术储备.

参考文献

- [1] 樊红朝, 钱晋武, 章亚男, 等. 大型柔性曲面振动智能检测[J]. 机械工程学报, 2008, 44(7): 202-208
Fan Hongchao, Qian Jinwu, Zhang Yanan, et al. Vibration intelligent test of large-scale flexible surface[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(7): 202-208
- [2] 刘晖, 瞿伟廉, 李功标, 等. 光纤光栅传感系统在结构损伤识别中的应用[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009, 17(3): 395-401
Liu Hui, Qu Weilian, Li Gongbiao, et al. The application of structural damage detection based on optic fiber bragg grating sensing system[J]. Journal of basic science and engineering, 2009, 17(3): 395-401
- [3] 钱晋武, 郑庆华, 张伦伟, 等. 渐进式内窥镜形状的感知和重建[J]. 光学精密工程, 2004, 12(5): 518-524
Qian Jinwu, Zheng Qinghua, Zhang Lunwei, et al. Deformation sensing and incremental shape reconstruction for intelligent colonoscope[J]. Optics and Precision Engineering, 2004, 12(5): 518-524
- [4] 张伦伟, 钱晋武, 章亚男, 等. 基于 FBG 传感网络的新型内窥镜形状实时检测系统[J]. 机械工程学报, 2006, 42(2): 177-182
Zhang Lunwei, Qian Jinwu, Zhang Yanan, et al. Novel FBG sensor net system for real-time shape detection of intelligent

- colonoscope[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(2): 177-182
- [5] Opera J. Differential geometry and its application, second edition[M]. Prentice Hall, 2003
- [6] 陈建军, 沈林勇, 钱晋武, 等. 已知离散点曲率的曲线拟合递推方法[J]. 上海大学学报, 2003, 9(2): 123-126
Chen Jianjun, Sheng linyong, Qian Jinwu, et al. Curve fitting iterative method based on the curvature data of discrete points[J]. Journal of Shanghai University, 2003, 9(2): 123-126
- [7] 吴家麒, 杨东英, 沈林勇, 等. 基于曲率数据的曲线拟合方法研究[J]. 应用科学学报, 2003, 21(3): 258-262
Wu Jiaqi, Yang Dongying, Shen Linyong, et al. Research on the curve-fitting method based on curvature data[J]. Journal of Applied Science, 2003, 21(3): 258-262
- [8] Edward Angel. Interactive computer graphics: a top-down approach using OpenGL, fourth edition[M]. Boston: Pearson/Addison-Wesley, 2006
- [9] Yi Xinhua, Qian Jinwu, Shen Linyong, et al. An innovative 3D colonoscope shape sensing sensor based on FBG sensor array[C]. Proceedings of the 2007 International Conference on Information Acquisition, Jeju City, Korea, 2007: 228-233
- [10] 姜献峰, 孙毅. 平面曲线的曲率表示及其应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1999, 11(5): 464-466
Jiang Xianfeng, Sun Yi. Curvature representation of plane curve and its application[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 1999, 11(5): 464-466
- [11] 朱晓锦, 张合生, 谢春宁, 等. 一种基于曲率信息的太空帆板空间曲面拟合算法分析[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(11): 2496-2499
Zhu Xiaojin, Zhang Hesheng, Xie Chunning, et al. Analysis of curve surface fitting algorithm based on curvatures for space sailboard structure[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(11): 2496-2499
- [12] 王简, 周会成, 陈吉红. 基于曲率数据的冰刀弧形拟合研究[J]. 机械设计与制造, 2007, 9: 127-129
Wang Jian, Zhou Huicheng, Chen Jihong. Research on the curve-fitting of the arc of skates based on curvature data[J]. Machinery Design and Manufacture, 2007, 9: 127-129

Analysis of 3D Curve Reconstruction Method Using Orthogonal Curvatures

ZHU Xiaojin, JI Lingxiao, ZHANG Hesheng, JIN Xiaobin, YI Jincong

(School of Mechatronics Engineering & Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract

Facing the background of active structural shape monitoring for high performance aircraft, a 3D curve reconstruction method based on the orthogonal curvatures is analyzed and researched in this paper, taken flexible fiber Bragg grating rod as the research object. With the curvatures detection principle of the orthogonally distributed Fiber Bragg Grating briefly introduced, the reconstruction method for three-dimensional curve is analyzed, while the detailed algorithmic procedure, implementation steps and analysis of continuum method for discrete curvature are given. Then a visual simulation platform is developed to analyze and verify the algorithmic procedure and the methodology with Visual C++ and OpenGL employed. The performance comparison of the three type of continuum methods for discrete curvature, suggests that not only the 3D curve reconstruction method and its implementation proposed in this paper is effective but also related beneficial results about continuum method for discrete curvature are obtained.

Keywords: high performance aircraft; fiber optic intelligent structures; curvature information; space curve; reconstruction