



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103339467 B

(45)授权公告日 2016.09.28

(21)申请号 201280006639.X

(22)申请日 2012.01.23

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103339467 A

(43)申请公布日 2013.10.02

(30)优先权数据

61/437,192 2011.01.28 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2013.07.26

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2012/050295 2012.01.23

(87)PCT国际申请的公布数据

W02012/101562 EN 2012.08.02

(73)专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72)发明人 W·G·T·霍夫特 R·曼茨克

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 舒雄文 蹇伟

(51)Int.Cl.

G01B 11/16(2006.01)

(56)对比文件

WO 01/33165 A1,2001.05.10,

CN 101226051 A,2008.07.23,

CN 1595056 A,2005.03.16,

US 2004/0165178 A1,2004.08.26,

HUANG S et al.Continuous arbitrary strain profile measurements with fiber Bragg gratings.《SMART MATERIALS AND STRUCTURES》.1998,第7卷(第2期),第248-256页.

审查员 李宏英

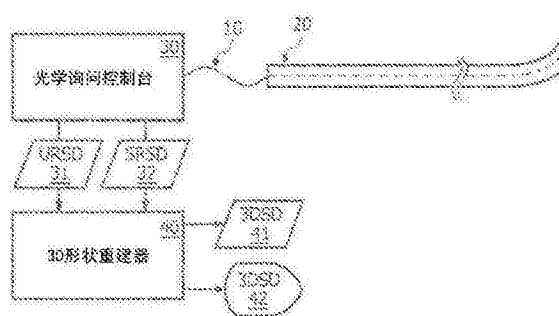
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

光学形状感测系统

(57)摘要

一种光学形状感测系统,其采用:细长设备(20);嵌入所述细长设备(20)内的光纤(10),所述光纤(10)包括一个或多个芯;光学询问控制台(30);以及3D形状重建器(40)。操作中,所述光学询问控制台(30)生成反射谱数据,所述反射谱数据标识作为波长的函数的对于所述光纤(10)的每一个芯的反射的幅度和相位的测量结果,并且所述3D形状重建器(40)重建所述光纤(10)的3D形状。所述3D形状重建器(40)执行响应于所述反射谱数据对沿所述光纤(10)的多个位置的局部应变数据的生成、作为沿光纤的每一个局部应变的函数的局部曲率和扭转角数据的生成、以及作为沿所述光纤(10)的每一个局部曲率和扭转角的函数的所述光纤(10)的所述3D形状的重建。



1. 一种光学形状感测系统,包括:
细长设备(20);
光纤(10),嵌入所述细长设备(20)内,所述光纤(10)包括至少一个芯;
光学询问控制台(30),与所述光纤(10)通信,用于生成反射谱数据,所述反射谱数据表示作为波长的函数的对于所述光纤(10)的每一个芯的反射的幅度和相位的测量结果;以及
3D形状重建器(40),与所述光学询问控制台(30)通信,用于重建所述光纤(10)的3D形状,
其中,所述3D形状重建器(40)响应于所述反射谱数据,以生成对于沿所述光纤(10)的多个位置的局部应变数据,
其中,所述3D形状重建器(40)响应于所述局部应变数据,以作为沿所述光纤(10)的每一个局部应变的函数生成局部曲率和扭转角数据,并且
其中,所述3D形状重建器(40)响应于所述局部曲率和扭转角数据,以作为沿所述光纤(10)的每一个局部曲率和扭转角的函数重建所述光纤(10)的所述3D形状。
2. 如权利要求1所述的光学形状感测系统,其中,所述细长设备(20)选自包括内窥镜、导管和引导线的组。
3. 如权利要求1所述的光学形状感测系统,其中,所述光纤(10)包括至少三个芯。
4. 如权利要求1所述的光学形状感测系统,其中,所述光学询问控制台(30)包括光学傅里叶域反射计。
5. 如权利要求1所述的光学形状感测系统,其中,所述反射谱数据包括:
无应变反射谱数据,表示在所述光纤(10)上不存在任何应变时,作为波长的函数的对于所述光纤(10)的每一个芯的所述反射的所述幅度和所述相位的测量结果;以及
应变反射谱数据,表示在所述光纤(10)的至少部分上存在应变时,作为波长的函数的对于所述光纤(10)的每一个芯的所述反射的所述幅度和所述相位的测量结果。
6. 如权利要求1所述的光学形状感测系统,其中,所述局部应变数据的生成包括所述反射谱数据的傅里叶逆变换的执行。
7. 如权利要求5所述的光学形状感测系统,其中,所述局部应变数据的所述生成包括所述无应变反射谱数据和所述应变反射谱数据的傅里叶逆变换的执行。
8. 如权利要求7所述的光学形状感测系统,其中,所述局部应变数据的所述生成还包括与所述无应变反射谱数据和所述应变反射谱数据的所述傅里叶逆变换对应的锥形函数之间的相位差的计算。
9. 如权利要求5所述的光学形状感测系统,其中,所述局部应变数据的所述生成还包括所述无应变反射谱数据和所述应变反射谱数据的傅里叶逆变换的互相关。
10. 如权利要求1所述的光学形状感测系统,其中,所述局部曲率数据的所述生成是沿所述光纤(10)的每一个位置处每一个芯的所述局部应变数据的函数。
11. 如权利要求10所述的光学形状感测系统,其中,每一个位置沿所述光纤(10)是等距的。
12. 如权利要求1所述的光学形状感测系统,其中,所述光纤(10)的所述3D形状的所述重建包括曲线的局部副法线轴在一角度上的步进尺寸的旋转,所述角度等于所述步进尺寸和曲率的乘积。

13. 如权利要求12所述的光学形状感测系统, 其中, 所述光纤(10)的所述3D形状的所述重建还包括从局部坐标系至参考坐标系的坐标变换。

14. 如权利要求13所述的光学形状感测系统, 其中, 所述光纤(10)的所述3D形状的所述重建还包括使用相同旋转来计算对每一步的所述坐标变换的雅可比矩阵。

15. 如权利要求1所述的光学形状感测系统, 其中, 所述3D形状重建器(40)能操作用于生成用于外部使用的3D重建数据和所述光纤(10)的3D重建显示中的至少之一。

光学形状感测系统

[0001] 本发明总体涉及细长设备的跟踪,该细长设备特别是医学设备(例如,内窥镜、导管或引导线)。本发明具体涉及嵌入细长设备内的光纤的三维(“3D”)形状重建。

[0002] 多芯光纤的形状重建技术总体涉及三(3)步。

[0003] 第一步涉及以光学频域反射计来询问多芯光纤,这得到作为波长的函数的每一个芯的反射的幅度和相位的测量结果。反射可以由嵌入的周期性结构(例如,光纤布拉格光栅)或由折射率的非周期、随机变化(例如,瑞利散射)引起。

[0004] 第二步涉及根据反射谱计算每一个芯中沿光纤的多个位置处的应变。

[0005] 第三步涉及借助于各种应变数据的组合进行光纤的3D形状重建。特别是,可以将应变测量结果转换为旋转角,并且关联的旋扭转阵可以用于更新切矢量、法向矢量和副法向矢量(即,雅可比(Jacobian)矩阵的列)。然而,该技术不能处理如何计算光纤的线元或如何建立用于转换应变测量结果的矩阵的问题。

[0006] 本发明克服了用于根据嵌入细长设备中的多芯光纤中的应变的局部值来计算局部曲率和扭转,以及用于随后使用此信息来评估细长设备的3D形状的已知方法中的不精确。

[0007] 本发明的一种形式是光学形状感测系统,其采用:细长设备;嵌入所述细长设备内的光纤,所述光纤包括一个或多个芯;光学询问控制台;以及3D形状重建器。操作中,所述光学询问控制台生成反射谱数据,所述反射谱表示作为波长的函数的对于所述光纤的每一个芯的反射的幅度和相位的测量结果,并且所述3D形状重建器重建所述光纤的3D形状。所述3D形状重建器执行响应于所述反射谱数据对沿所述光纤的多个位置的局部应变数据的生成、作为沿光纤的每一个局部应变的函数的局部曲率和扭转角数据的生成、以及作为沿所述光纤的每一个局部曲率和扭转角的函数的所述光纤的所述3D形状的重建。

[0008] 在结合附图阅读本发明的各种范例实施例的以下详细描述时,本发明的前述形式和其它形式以及本发明的各种特征和优点将变得更加明显。本发明的详细描述和附图仅仅是示例本发明,而不是限制由所附权利要求及其等同所限定的本发明的范围。

[0009] 图1示例根据本发明的光学形状感测系统的范例实施例的框图。

[0010] 图2示例表示根据本发明的光学形状感测方法的范例实施例的流程图。

[0011] 图3和4示例根据本发明的光纤的3D形状重建的视图。

[0012] 图5示例根据本发明的实际数据和形状重建的比较。

[0013] 图6示例根据本发明的偏差图。

[0014] 如图1中所示,本发明的光学形状感测系统采用嵌入细长设备20内的光纤10。

[0015] 实践中,光纤10可以是适合于对细长设备20进行光学跟踪的任何类型的光纤。光纤10的范例包括,但不限于,并入有沿本领域已知的光纤的长度集成的光纤布拉格光栅的阵列的柔性光学透明玻璃或塑料光纤,以及光学折射率沿本领域已知的光纤的长度发生自然变化的柔性光学透明玻璃或塑料光纤(例如,基于瑞利散射的光纤)。光纤10可以是单芯光纤,或优选地,是多芯光纤。

[0016] 实践中,细长设备20可以是适合于在其中嵌入光纤10以用于对细长设备20进行光

学跟踪的任何类型的设备。细长设备20的范例包括,但不限于,内窥镜、导管和引导线。

[0017] 仍然参照图1,系统还采用光学询问控制台30和参考跟踪系统40。

[0018] 实践中,光学询问控制台30可以是结构上配置为将光发送至光纤10并接收从光纤10反射的光的任何设备或系统。在一个实施例中,光学询问控制台30采用光学傅里叶域反射计和本领域已知的其它合适的电子器件/设备。

[0019] 对于本发明,3D形状重建器40于此宽泛地定义为结构上配置为将光纤10的测得的反射光谱数据转变为光纤10和细长设备20的3D形状的任何设备或系统。

[0020] 现在将于此描述表示本发明的光学形状感测方法的流程图50的描述以有利于对3D形状重建器40的更详细的理解。

[0021] 参照图2,流程图50的阶段S51包括光学询问控制台30生成无应变反射谱数据(“URSD”)31,无应变反射谱数据(“URSD”)31表示光纤10处于参考形状时光纤10的每一芯的作为波长的函数的反射的幅度和相位的测量结果。另外,光学询问控制台30生成应变反射谱数据(“SRSD”)32,应变反射谱数据(“SRSD”)32表示光纤10处于非参考形状时光纤10的每一芯的作为波长的函数的反射的幅度和相位的测量结果。

[0022] 对于本发明,术语“参考形状”于此宽泛地定义为光纤10的设计的形状,由此光纤10可以沿光纤10的各位置经历任何程度的应变,或者可以不经历该应变,但是对于形状重建,假定相对于光纤10的任何其它形状经历基线应变。相反,术语“非参考形状”于此宽泛地定义为光纤10的除参考形状以外的形状。

[0023] 在一个实施例中,光学询问控制台30实施该技术中已知的光学频域反射计,用于生成反射谱数据31和32。

[0024] 光学询问控制台30将反射谱数据31和32传输给3D形状重建器40,形状重建器40处理反射谱数据31和32,用于在流程图50的阶段S52期间生成作为沿光纤30的位置的函数的局部应变数据。

[0025] 在对于基于光纤布拉格光栅的光纤10的S52的一个实施例中,3D形状重建器40通过反射谱数据31和32的简单的傅里叶变换生成局部应变 ϵ 。具体地,根据数据31和32知道反射谱。同样,计算锥形函数(taper function) $\Omega e^{i\phi}$,由此根据以下等式[1]-[3],锥形函数 $\Omega e^{i\phi}$ 的相位的空间依赖性为局部应变 ϵ 的量度:

$$[0026] \quad \delta = \frac{2\pi n}{\lambda} - \frac{\pi}{\Lambda} \quad [1]$$

$$[0027] \quad \Omega(s) \cdot e^{i\phi(s)} = i \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma(\delta) e^{i2\delta s} ds \quad [2]$$

$$[0028] \quad \frac{d\phi}{ds} = -\frac{2\pi p}{\Lambda} \cdot \epsilon \quad [3]$$

[0029] 其中, δ 是失调(即,波矢量与中心共振峰的差异), λ 是光的波长, n 是模式的有效折射率, Λ 是布拉格光栅的周期,量 p 是校准常数(例如,对于基于石英的单模光纤为0.78),而 $\sigma(\delta)$ 是复值菲涅耳反射系数。

[0030] 根据等式[2]对反射谱数据31和32均进行傅里叶逆变换,由此,考虑到数据31和32是从相同光纤10生成的,锥形函数的幅度 Ω 不发生变化。然而,锥形函数的相位 ϕ 在两次变换之间改变,由此,计算两(2)个相位曲线的差异并且评估作为光纤上的位置的函数的此相

位差异的斜率。等式[3]其后用于生成作为光纤上的位置的函数的局部应变 ε 。

[0031] 在阶段S52的替代实施例中,也计算反射谱数据31和32的等式[2]的傅里叶逆变换。然而,取得特定距离s处的锥形函数的部分,并且再次对其进行反向傅里叶变换。以此方式,仅获得距离s处的反射谱。通过计算此局部反射谱与无应变光纤的局部反射谱的互相关来将此局部反射谱与无应变光纤的局部反射谱进行比较。互相关呈现峰,其位置是两个局部谱的失调移动。相对波长移动以比例常数p与局部应变 ε 直接成比例。

[0032] 在根据任一实施例的阶段S52的实践中,可以在等距失调步骤处取得反射谱数据31和32的傅里叶变换,由此局部应变 ε 在沿光纤10的长度的等距步骤 δ_s 是已知的。

[0033] 仍然参照图2,流程图50的阶段S53包括3D形状重建器40生成作为光纤位置的函数的扭转的局部曲率和积分。

[0034] 在对于如图3中所示的光纤10的三(3)芯11-13的阶段53的一个实施例中,对局部曲率 κ 和扭转角 τ 执行以下等式[4]-[6]:

$$[0035] \quad \tan(\alpha) = \frac{\varepsilon_{12} \cdot \sin(\phi_{13}) + \varepsilon_{13} \cdot \sin(\phi_{12})}{\varepsilon_{12} \cdot (\cos(\phi_{13}) - 1) - \varepsilon_{13} \cdot (\cos(\phi_{12}) - 1)} \quad [4]$$

$$[0036] \quad \kappa = \frac{\varepsilon_{12}}{a \cdot [\sin(\alpha + \phi_{12}) - \sin(\alpha)]} \quad [5]$$

$$[0037] \quad \tau = \frac{d\alpha}{ds} \quad [6]$$

[0038] 其中, $\varepsilon_{12} = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$,且 $\varepsilon_{13} = \varepsilon_3 - \varepsilon_1$ 。

[0039] 此外,扭转是围绕切线的旋转,由此扭转使得曲线改变其曲率平面。这意指扭转改变与曲率关联的旋转的轴B的方向。换句话说,扭转引起角 α 的改变,因此名字为扭转角。

[0040] 一旦完成阶段S53,则3D形状重建器40已经生成了对局部曲率 κ 和扭转角 τ 的等距值。

[0041] 仍然参照图2,流程图50的阶段S54包括3D形状重建器40重建作为局部曲率 κ 和扭转角 τ 的函数的光纤10和细长设备20的形状。

[0042] 在阶段S54的一个实施例中,途径是通过在曲线的该一端(例如, $s=0$)开始来评估曲线的3D形状。利用此途径,应当给定切线和局部空间中的绝对位置 $r(x, y, z)$ 作为边界条件。使用在前点的曲率和扭转角来计算光纤10的进一步下游的下一位置 δ_s 。还有,应用曲率是围绕副法线矢量B的旋转的概念来执行此步骤。

[0043] 例如,图4示出了位置 r_i ,下一位置 r_{i+1} 必需根据位置 r_i 来计算。存在两个坐标系:固定参考系(X,Y,Z)和沿曲线旋转和平移的局部坐标系(x', y', z')。基本步长 δ_s 是半径为 $1/\kappa_i$ 的圆的小线段。与该线段关联的角是 $\theta_i = \delta_s \cdot \kappa_i$ 。必需计算此圆段的弦。围住(encompass)圆段的两个半径具有 $\vec{N}$ 和 $\vec{R}(\theta, \vec{B}) \cdot \vec{N}$ 的方向。其中, $\vec{R}(\theta, \vec{B}) \cdot \vec{N}$ 表示围绕副法线矢量在角 θ 上的旋转。在局部坐标系中,弦由以下等式[7]给出:

$$[0044] \quad d\vec{r}_i' = \frac{1}{\kappa_i} \vec{N}_i - \frac{1}{\kappa_i} \vec{R}(\theta_i, \vec{B}_i) \cdot \vec{N}_i \quad [7]$$

[0045] 坐标系(x_i', y_i', z_i')和(X,Y,Z)仅通过雅可比矩阵 A_i 相关联。此矩阵是单位矩阵,由此,按边界条件给出起始点处的第一雅可比矩阵。从而,只要合适地更新此矩阵,就可以

以在前点的雅可比矩阵来计算下一点的弦。因此,能够通过以下等式[8]获得实验室系的新的位置:

$$[0046] \quad \vec{r}_{i+1} = \vec{r}_i + \frac{1}{\kappa_i} \vec{A}_i \cdot (\vec{I} - \vec{R}(\theta_i, \vec{B}_i)) \cdot \vec{N}_i \quad [8]$$

[0047] 雅可比矩阵的更新是直接的。在下一点处的局部坐标系(x',y',z')沿相同副法线轴在相同角度 θ 上旋转。结果,以下等式[9]提供

$$[0048] \quad \vec{A}_{i+1} = \vec{A}_i \cdot \vec{R}(\theta_i, \vec{B}_i) \quad [9]$$

[0049] 参照图1和2,在光学跟踪细长设备20的过程中,阶段S51-S54不断重复。利用阶段S54的光纤10和细长设备20的每一个形状重建,3D形状重建器可以给任何合适的跟踪装置和/或3D形状显示器(“3DSD”42提供3D形状数据(“3DSD”)41以显示光纤10和细长设备20的形状重建。

[0050] 已经对各种情况测试了流程图50。例如,在一种测试情况下,基于沿光纤的6500个数量的数据点,测试了对具有具有一(1)米的长度的螺旋形式的光纤。螺旋具有十(10)cm的曲率半径和6.3cm的间距,意指扭转为 1m^{-1} 。包含光纤的三个芯与中心相隔五十(50)微米。每一个芯包含三十八(38)个长度约为二十五(25)mm并以大小约为一(1)mm的间隙隔开的光纤布拉格光栅。

[0051] 由于原始数据和重建数据不能按此图示60的比例彼此区分,图5示例示出具有显著交叠的螺旋的原始形式和重建的数据的图示60。图6示例示出图5的原始数据与重建的数据之间的偏差的图示61。具体地,小的偏差以螺旋的间距振荡,并且一(1)米的光纤长度上重建的总误差在十(10)微米的量级。对于大多数应用,精度绰绰有余。

[0052] 根据图1-6的描述,本领域技术人员将进一步理解,对许多应用,特别是对于细长医学设备(例如,内窥镜、导管和引导线)的光学跟踪,如何实施根据本发明的对光纤的3D形状重建技术。医学应用的范例包括,但不限于,EP消融处置,以及在执行针对腹部主动脉瘤(abdominal aortic aneurysm)的覆膜支架放置(stent graft placement)和定位超声探头时,原位开窗术中管状动脉中的介入(例如,支架放置(stent placement))。

[0053] 虽然已经示例和描述了本发明的各种范例实施例,但是本领域技术人员将理解,于此描述的本发明的范例实施例是示例性的,且可以进行各种改变和修改,并且等同物可以替代其元件,而不脱离本发明的真实范围。例如,虽然于此主要关于FBG讨论了本发明,但是应当理解通常包括用于形状感测和定位的光纤光学器件,包括,例如存在或不存在FBG或其它光学器件,根据使用背散射、光纤力感测、光纤位置传感器或瑞利散射进行的对光纤中的一个或多个部分的变化探测进行的感测或定位。另外,可以进行许多修改,以适应本发明的教导,而不脱离其中心范围。因此,意在使本发明不限于作为设想为执行本发明的最佳模式公开的特定实施例,而是本发明包括落入所附权利要求的范围内的所有实施例。

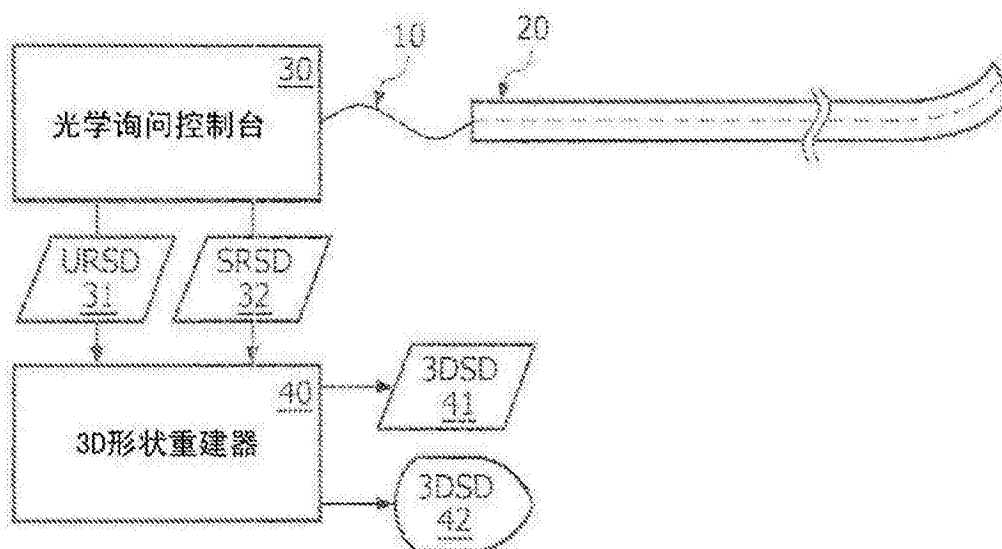


图1

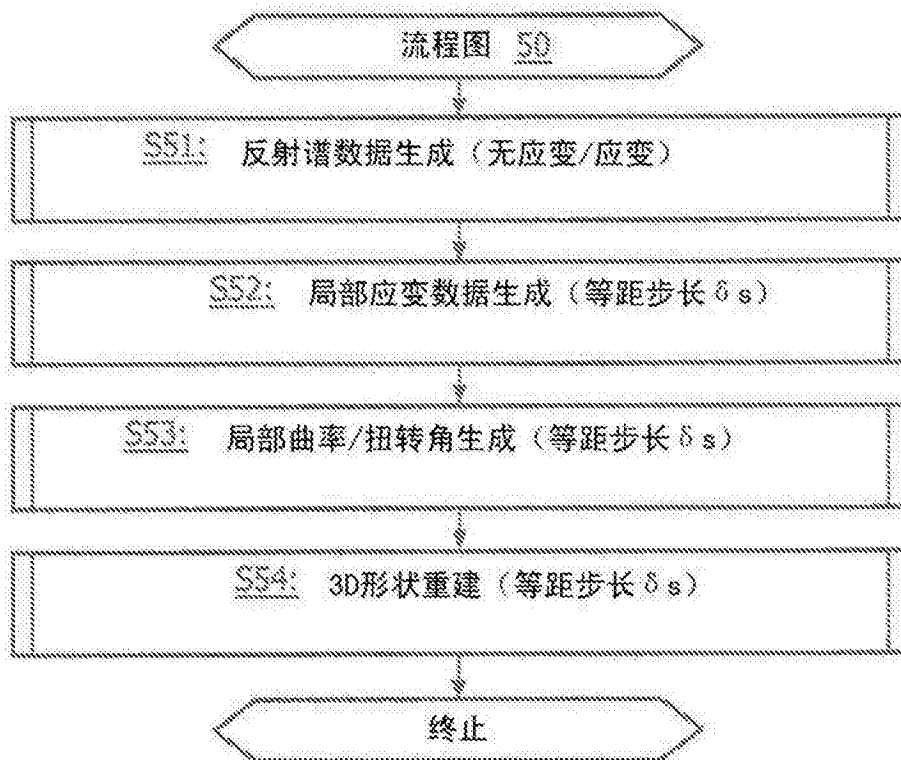


图2

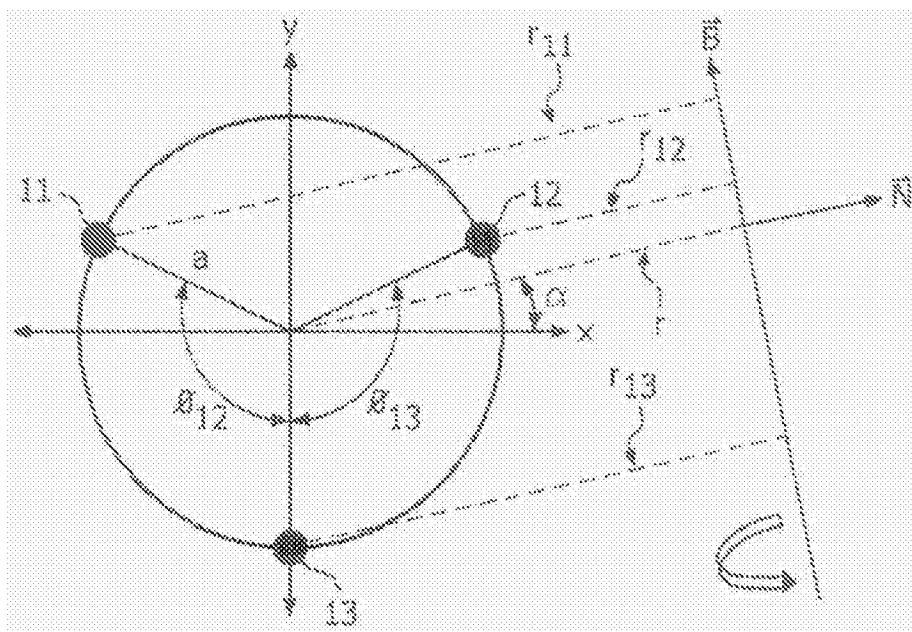


图3

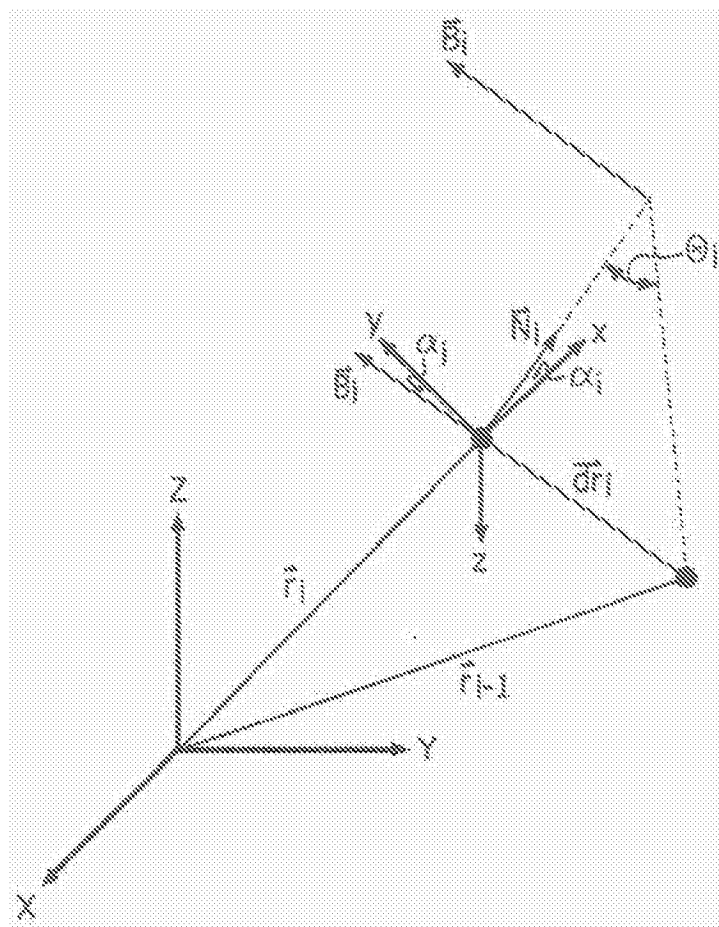


图4

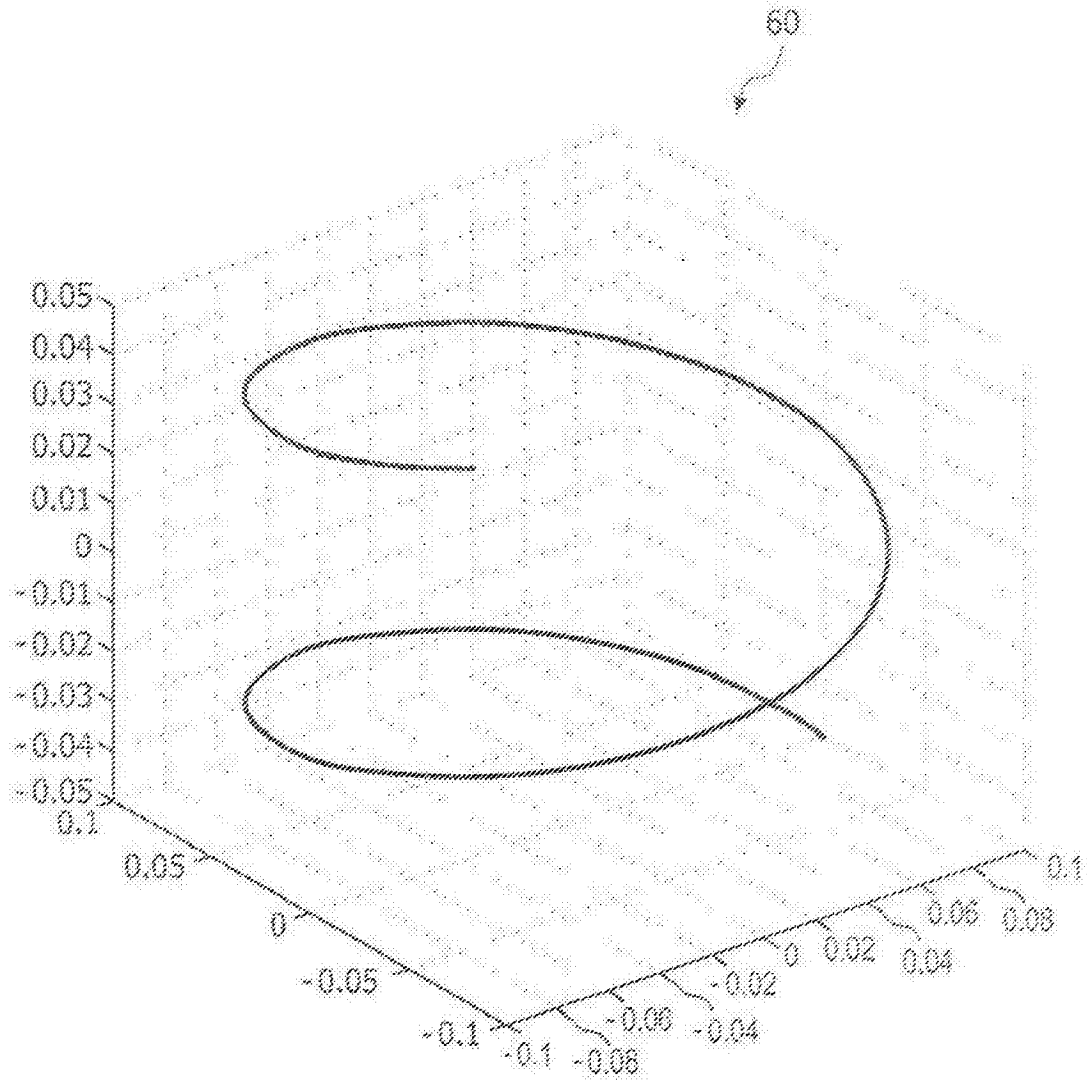


图5

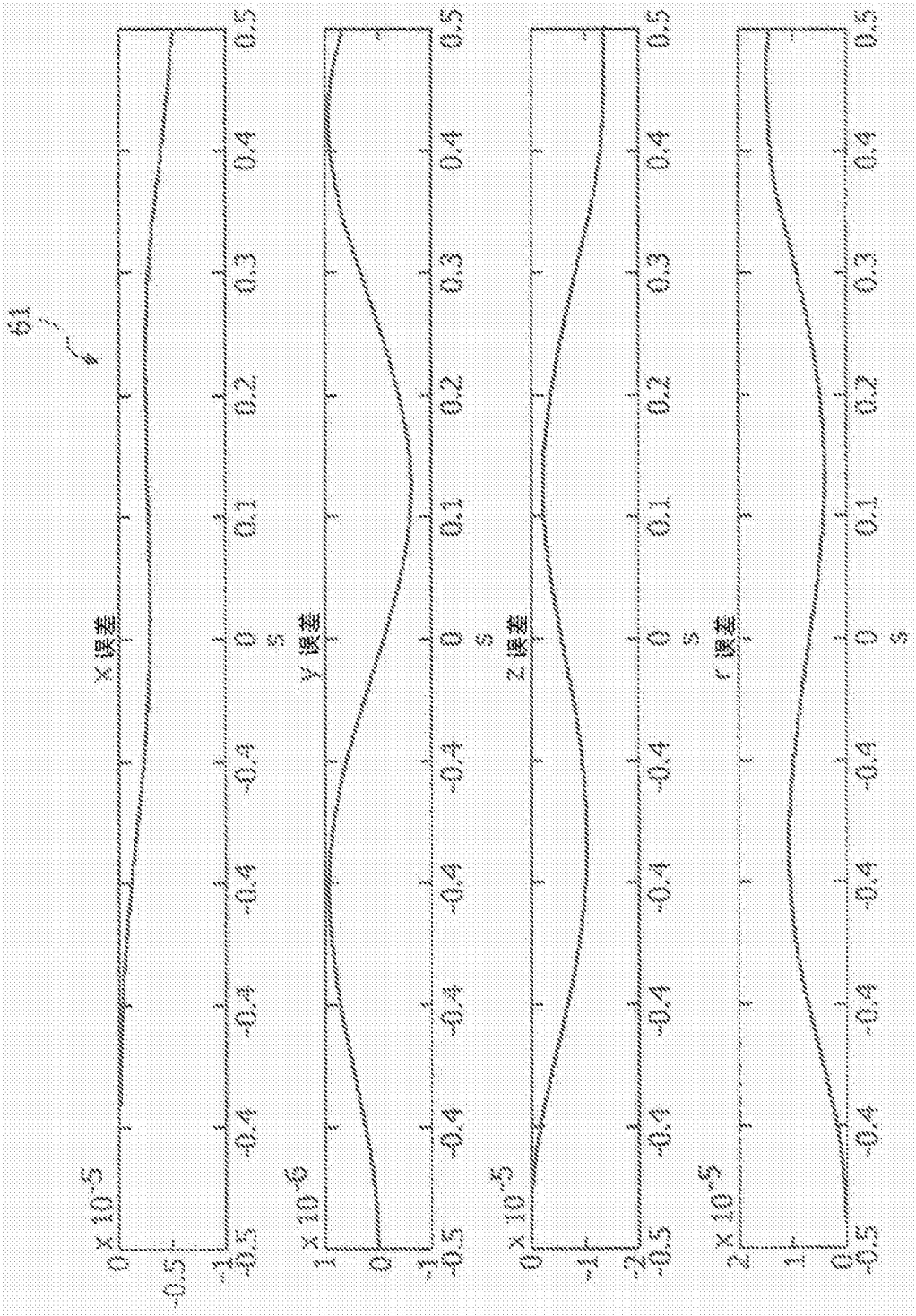


图6