



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103512499 A

(43) 申请公布日 2014. 01. 15

(21) 申请号 201310500333. 6

(22) 申请日 2013. 10. 22

(71) 申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号

(72) 发明人 郝继贵 杨凌辉 任永杰 刘哲旭

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代理事务所 12201

代理人 温国林

(51) Int. Cl.

G01B 11/00 (2006. 01)

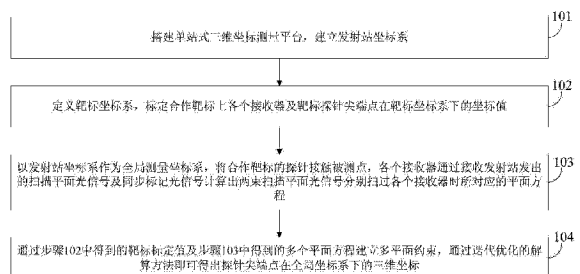
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法,搭建单站式三维坐标测量平台,建立发射站坐标系 O-XYZ ;定义靶标坐标系,标定合作靶标上各个接收器及靶标探针尖端点在靶标坐标系下的坐标值 ;以发射站坐标系作为全局测量坐标系,将合作靶标的探针接触被测点,各个接收器通过接收发射站发出的扫描平面光信号及同步标记光信号计算出两束扫描平面光信号分别扫过各个接收器时所对应的平面方程 ;通过靶标标定值及多个平面方程建立多平面约束,通过迭代优化的解算方法即可得出探针尖端在全局坐标系下的三维坐标。本发明提高了三维坐标的测量效率,满足了高效、快捷的测量要求。



1. 一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

(1) 搭建单站式三维坐标测量平台,建立发射站坐标系 $O\text{-}XYZ$;

(2) 定义靶标坐标系,标定合作靶标上各个接收器及靶标探针尖端点在靶标坐标系下的坐标值;

(3) 以发射站坐标系作为全局测量坐标系,将合作靶标的探针接触被测点,各个接收器通过接收发射站发出的扫描平面光信号及同步标记光信号计算出两束扫描平面光信号分别扫过各个接收器时所对应的平面方程;

(4) 通过步骤(2)中得到的靶标标定值及步骤(3)中得到的多个平面方程建立多平面约束,通过迭代优化的解算方法即可得出探针尖端在全局坐标系下的三维坐标 (x_{mt}, y_{mt}, z_{mt}) 。

2. 根据权利要求1所述的一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法,其特征在于,所述搭建单站式三维坐标测量平台的操作具体为:

所述单站式三维坐标测量平台由单个 wMPS 发射站辅以安装有多个 wMPS 接收器的合作靶标组成,合作靶标为任意一立体靶标,该立体靶标上设置有 1 个探针和若干个 wMPS 接收器,且所有的 wMPS 接收器不同时位于一个平面。

3. 根据权利要求1所述的一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法,其特征在于,所述靶标坐标系 $O_p\text{-}X_pY_pZ_p$ 满足笛卡尔坐标系,各个接收器 P_i 及探针尖端点 P_i 在靶标坐标系下的坐标值使用高精度三坐标测量机准确标定得到。

4. 根据权利要求1所述的一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法,其特征在于,所述通过步骤(2)中得到的靶标标定值及步骤(3)中得到的多个平面方程建立多平面约束,通过迭代优化的解算方法即可得出探针尖端点的空间三维坐标的操作具体为:

假设接收器 P_i 在全局测量坐标系下的坐标为 (x_{mi}, y_{mi}, z_{mi}) ,接收器 P_i 在靶标坐标系下的坐标为 (x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}) ,由全局测量坐标系与靶标坐标系间的转换关系可得:

$$\begin{bmatrix} x_{mi} \\ y_{mi} \\ z_{mi} \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_{pi} \\ y_{pi} \\ z_{pi} \end{bmatrix} + \mathbf{T} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{pi} \\ y_{pi} \\ z_{pi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

其中 \mathbf{R} 、 \mathbf{T} 分别为靶标坐标系转换为全局测量坐标系的旋转矩阵及平移向量;

构造目标函数 E 为:

$$E = \sum_{i=1}^n (F_{1i}^2 + F_{2i}^2) + M \cdot \sum_{j=1}^6 f_j^2 = 0$$

F_{1i} 和 F_{2i} 为定义的中间变量; f_1 至 f_6 为定义的中间变量; M 为惩罚因子 n 为接收器的数量;

根据步骤(2)得到的探针尖端点 P_i 在靶标坐标系下的坐标为 (x_{pt}, y_{pt}, z_{pt}) ,进而得出探针尖端点 P_i 在全局测量坐标系下的坐标值:

$$\begin{bmatrix} x_{mt} \\ y_{mt} \\ z_{mt} \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_{pt} \\ y_{pt} \\ z_{pt} \end{bmatrix} + \mathbf{T} \circ$$

一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及基于光电扫描的三维坐标测量领域,特别涉及一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法。

背景技术

[0002] 近年来,基于光电扫描的三维坐标测量技术发展迅速,因其具有测量范围广、精度高、扩展性好等优势,已经在大尺寸工业测量中得到成功应用。目前,国内对于光电扫描三维坐标测量技术的研究大多处于初始阶段,只有天津大学推出了实用化产品,即工作空间测量定位系统(wMPS:workspace Measurement Positioning System)。该系统是一种针对工业现场整体测量控制需求而发展起来的网络式大尺度空间坐标测量系统,基于光电扫描三维坐标测量技术,通过多个旋转激光发射装置(发射站)组成测量网络,采用多站式空间角度交汇测量方法对单个接收器进行自动定位,其具有网络化、自动化、高精度等特点。工作时,发射站顶端旋转平台绕固定轴匀速旋转并对外发射两束随转台一同旋转的平面激光,同时每当旋转平台转到一个预定位置时基座上的激光器发出全向光脉冲作为单周旋转起点的同步标记。接收器接收到同步标记光信号及扫描平面光信号并通过内部计时器记录此时时间值,进而解算出发射站转过的角度。在已知发射站方位信息后,只需要得到两个以上基站的角度测量值,便可以使用角度交汇方法计算出接收器此时的精确坐标。

[0003] 然而,现有的光电扫描三维坐标测量方法需要在测量空间周围布局两个或两个以上发射站同时工作才能确定接收器的三维坐标。但是在工业现场条件下,发射站的布局、安装和标定往往是十分复杂和耗时的,因此,对于快速测量任务或单工件测量任务而言,现有方法效率低下,并不能满足高效、快捷的测量要求。

发明内容

[0004] 本发明提供了一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法,本发明提高了三维坐标的测量效率,满足了高效、快捷的测量要求,详见下文描述:

[0005] 一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法,所述方法包括以下步骤:

[0006] (1) 搭建单站式三维坐标测量平台,建立发射站坐标系 $O-XYZ$;

[0007] (2) 定义靶标坐标系,标定合作靶标上各个接收器及靶标探针尖端点在靶标坐标系下的坐标值;

[0008] (3) 以发射站坐标系作为全局测量坐标系,将合作靶标的探针接触被测点,各个接收器通过接收发射站发出的扫描平面光信号及同步标记光信号计算出两束扫描平面光信号分别扫过各个接收器时所对应的平面方程;

[0009] (4) 通过步骤(2)中得到的靶标标定值及步骤(3)中得到的多个平面方程建立多平面约束,通过迭代优化的解算方法即可得出探针尖端在全局坐标系下的三维坐标 (x_{mt}, y_{mt}, z_{mt}) 。

[0010] 所述搭建单站式三维坐标测量平台的操作具体为:

[0011] 所述单站式三维坐标测量平台由单个 wMPS 发射站辅以安装有多个 wMPS 接收器的合作靶标组成,合作靶标为任意一立体靶标,该立体靶标上设置有 1 个探针和若干个 wMPS 接收器,且所有的 wMPS 接收器不同时位于一个平面。

[0012] 所述靶标坐标系 $O_p-X_pY_pZ_p$ 满足笛卡尔坐标系,各个接收器 P_i 及探针尖端点 P_t 在靶标坐标系下的坐标值使用高精度三坐标测量机准确标定得到。

[0013] 所述通过步骤(2)中得到的靶标标定值及步骤(3)中得到的多个平面方程建立多平面约束,通过迭代优化的解算方法即可得出探针尖端点的空间三维坐标的操作具体为:

[0014] 假设接收器 P_i 在全局测量坐标系下的坐标为 (x_{mi}, y_{mi}, z_{mi}) ,接收器 P_i 在靶标坐标系下的坐标为 (x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}) ,由全局测量坐标系与靶标坐标系间的转换关系可得:

$$[0015] \quad \begin{bmatrix} x_{mi} \\ y_{mi} \\ z_{mi} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_{pi} \\ y_{pi} \\ z_{pi} \end{bmatrix} + T = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{pi} \\ y_{pi} \\ z_{pi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

[0016] 其中 R、T 分别为靶标坐标系转换为全局测量坐标系的旋转矩阵及平移向量;

[0017] 构造目标函数 E 为:

$$[0018] \quad E = \sum_{i=1}^n (F_{1i}^2 + F_{2i}^2) + M \cdot \sum_{j=1}^6 f_j^2 = 0$$

[0019] F_{1i} 和 F_{2i} 为定义中间变量; f_1 至 f_6 为定义中间变量;M 为惩罚因子 n 为接收器的数量;

[0020] 根据步骤(2)得到的探针尖端点 P_t 在靶标坐标系下的坐标为 (x_{pt}, y_{pt}, z_{pt}) ,进而得出探针尖端点 P_t 在全局测量坐标系下的坐标值:

$$[0021] \quad \begin{bmatrix} x_{mt} \\ y_{mt} \\ z_{mt} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_{pt} \\ y_{pt} \\ z_{pt} \end{bmatrix} + T。$$

[0022] 本发明提供的技术方案的有益效果是:本发明提出的单站式三维坐标测量方法仅使用单个 wMPS 发射站,将多个 wMPS 接收器安装在带有探针的合作靶标上,在测量过程中,合作靶标探针接触被测点,通过多个接收器测得的发射站的角度信息即可解算得出被测点坐标,从而很好的解决了上述问题;本发明提高了三维坐标的测量效率,满足了高效、快捷的测量要求。

附图说明

[0023] 图 1a 为现有的 wMPS 系统发射站示意图;

[0024] 图 1b 为现有接收器示意图;

[0025] 图 2 为本发明提出的合作靶标结构示意图(以靶标上安装 6 个接收器为例);

[0026] 图 3a 为本发明提出的初始时刻光平面 1 与光平面 2 的法向量示意图;

[0027] 图 3b 为本发明提出的两束扫描平面光信号分别扫过接收器时所对应平面的法向量示意图;

[0028] 图 4 为本发明提出的一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法的流程图。

[0029] 附图中,各部件的列表如下:

- [0030] 1 :回转轴 ; 2 :旋转平台 ;
 [0031] 3 :平面激光光源 ; 4 :同步标记光光源 ;
 [0032] 5 :固定基座 ; P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 和 P_6 :接收器 ;
 [0033] P_t :探针尖端点。

具体实施方式

[0034] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明实施方式作进一步地详细描述。

[0035] 为了提高三维坐标的测量效率,满足高效、快捷的测量要求,扩展其应用领域,本发明实施例提供了一种基于光电扫描的单站式三维坐标测量方法,该发明采用单个 wMPS 发射站辅以安装有多个 wMPS 接收器的合作靶标来测量空间三维坐标的方法,参见图 1 和图 4,详见下文描述:

[0036] 101 :搭建单站式三维坐标测量平台,建立发射站坐标系 O -XYZ ;

[0037] 其中,参见图 1 和图 2,单站式三维坐标测量平台由单个 wMPS 发射站辅以安装有多个 wMPS 接收器的合作靶标组成。wMPS 发射站即现有的 wMPS 系统的发射站。合作靶标为任意一立体靶标,该立体靶标上设置有 1 个探针和若干个 wMPS 接收器,且所有的 wMPS 接收器不同时位于一个平面。

[0038] 具体实现时,本发明实施例以 6 个 wMPS 接收器为例进行说明,6 个 wMPS 接收器分别为 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 和 P_6 ,可以将 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 和 P_5 设置在一个平面, P_6 设置在另一个平面;或,将 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 设置在一个平面, P_5 和 P_6 设置在另一个平面;即只要保证 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 和 P_6 不在同一个平面。

[0039] 实际应用时,wMPS 接收器的数量大于等于 3 个,根据需要进行设定,安装过程中应保证多个接收器的位置不在同一平面内即可。

[0040] 建立发射站坐标系 O -XYZ,标定发射站内部参数,可以得到发射站发出的平面激光在初始时刻(发射站发射同步标记光的时刻)的相关信息,即附图 3a 中所示的初始时刻光平面 1 与光平面 2 的法向量 \vec{n}_1 、 \vec{n}_2 。发射站坐标系的建立及内部参数标定方法请参见文献《扫描平面激光坐标测量系统校准方法的优化》,2011 年 04 期,光学精密工程。

[0041] 102 :定义靶标坐标系,标定合作靶标上各个接收器及靶标探针尖端点在靶标坐标系下的坐标值;

[0042] 定义靶标坐标系 O_p - X_p Y_p Z_p ,对合作靶标进行标定。靶标坐标系的定义如图 2 所示,以探针尖端点 P_t 作为原点 O_p ,接收器 P_1 和 P_2 所在平面为 $X_pO_pY_p$ 平面, P_tP_1 方向为 X_p 轴, $X_pO_pY_p$ 平面法线为 Z_p 轴, Y_p 轴通过右手定则确定。

[0043] 其中,靶标坐标系 O_p - X_p Y_p Z_p 还可以以 P_1 作为原点 O_p ,接收器 P_2 和 P_3 所在平面为 $X_pO_pY_p$ 平面, P_1P_2 方向为 X_p 轴, $X_pO_pY_p$ 平面法线为 Z_p 轴, Y_p 轴通过右手定则确定。

[0044] 其中,靶标坐标系 O_p - X_p Y_p Z_p 还可以以 P_2 作为原点 O_p ,接收器 P_3 和 P_4 所在平面为 $X_pO_pY_p$ 平面, P_2P_3 方向为 X_p 轴, $X_pO_pY_p$ 平面法线为 Z_p 轴, Y_p 轴通过右手定则确定。

[0045] 实际应用时,可以根据实际应用中的需要随意设定靶标坐标系 O_p - X_p Y_p Z_p ,该靶标坐标系 O_p - X_p Y_p Z_p 满足笛卡尔坐标系即可。

[0046] 各个接收器 P_i ($i=1 \sim 6$) 及探针尖端点 P_t 在靶标坐标系下的坐标值使用高精度

三坐标测量机准确标定得到,高精度三坐标测量机可以采用市面上任意一款测量机,本发明实施例采用的型号是 global classic SR07.10.07。

[0047] 103:以发射站坐标系作为全局测量坐标系,将合作靶标的探针接触被测点,各个接收器通过接收发射站发出的扫描平面光信号及同步标记光信号计算出两束扫描平面光信号分别扫过各个接收器时所对应的平面方程;

[0048] 即各个接收器通过接收发射站发出的扫描平面光信号及同步标记光信号计算出两束扫描平面光信号分别扫过各个接收器 P_i ($i=1 \sim 6$) 时所对应平面的法向量,即图 3b 中所示的 \vec{n}_{1i} 、 \vec{n}_{2i} ,进而得出对应的平面方程:

$$[0049] \quad \begin{cases} a_{1i}x + b_{1i}y + c_{1i}z = 0 \\ a_{2i}x + b_{2i}y + c_{2i}z = 0 \end{cases} \quad (1)$$

[0050] a_{1i} 、 b_{1i} 、 c_{1i} 、 a_{2i} 、 b_{2i} 、 c_{2i} 为平面方程的系数,具体计算方法请参考文献《扫描平面激光坐标测量系统校准方法的优化》,2011 年 04 期,光学精密工程。

[0051] 104:通过步骤 102 中得到的靶标标定值及步骤 103 中得到的多个平面方程建立多平面约束,通过迭代优化的解算方法即可得出探针尖端点(即被测点)在全局坐标系下的三维坐标 (x_{mt}, y_{mt}, z_{mt}) (未知量)。

[0052] 具体解算过程如下:

[0053] 假设接收器 P_i ($i=1 \sim 6$) 在全局测量坐标系下的坐标为 (x_{mi}, y_{mi}, z_{mi}) (未知量),带入式(1)可得:

$$[0054] \quad \begin{cases} a_{1i}x_{mi} + b_{1i}y_{mi} + c_{1i}z_{mi} = 0 \\ a_{2i}x_{mi} + b_{2i}y_{mi} + c_{2i}z_{mi} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

[0055] 根据步骤 102 得到的接收器 P_i ($i=1 \sim 6$) 在靶标坐标系下的坐标为 (x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}) (已知量),由全局测量坐标系与靶标坐标系间的转换关系可得:

$$[0056] \quad \begin{bmatrix} x_{mi} \\ y_{mi} \\ z_{mi} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_{pi} \\ y_{pi} \\ z_{pi} \end{bmatrix} + T = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{pi} \\ y_{pi} \\ z_{pi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0057] 其中 R、T 分别为靶标坐标系转换为全局测量坐标系的旋转矩阵及平移向量,因此,只需解算 R、T 即可得出被测点在全局测量坐标系下的坐标值。

$$[0058] \quad \text{即旋转矩阵 } R = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix}, \text{ 平移向量 } T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}。$$

[0059] 将式(3)带入式(2),有:

$$[0060] \quad \begin{cases} F_{1i} = a_{1i}x_{pi}r_1 + a_{1i}y_{pi}r_2 + a_{1i}z_{pi}r_3 + b_{1i}x_{pi}r_4 + b_{1i}y_{pi}r_5 + b_{1i}z_{pi}r_6 \\ \quad + c_{1i}x_{pi}r_7 + c_{1i}y_{pi}r_8 + c_{1i}z_{pi}r_9 + a_{1i}t_x + b_{1i}t_y + c_{1i}t_z = 0 \\ F_{2i} = a_{2i}x_{pi}r_1 + a_{2i}y_{pi}r_2 + a_{2i}z_{pi}r_3 + b_{2i}x_{pi}r_4 + b_{2i}y_{pi}r_5 + b_{2i}z_{pi}r_6 \\ \quad + c_{2i}x_{pi}r_7 + c_{2i}y_{pi}r_8 + c_{2i}z_{pi}r_9 + a_{2i}t_x + b_{2i}t_y + c_{2i}t_z + c_{2i}\Delta d = 0 \end{cases} \quad (4)$$

[0061] F_{1i} 和 F_{2i} 为定义的中间变量。

[0062] 又因为旋转矩阵 R 的正交性,有:

$$[0063] \quad \begin{cases} f_1 = r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - 1 = 0 \\ f_2 = r_4^2 + r_5^2 + r_6^2 - 1 = 0 \\ f_3 = r_7^2 + r_8^2 + r_9^2 - 1 = 0 \\ f_4 = r_1 r_4 + r_2 r_5 + r_3 r_6 = 0 \\ f_5 = r_1 r_7 + r_2 r_8 + r_3 r_9 = 0 \\ f_6 = r_4 r_7 + r_5 r_8 + r_6 r_9 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

[0064] f_1 至 f_6 为定义的中间变量。

[0065] 由式(4)及式(5),构造目标函数 E 为:

$$[0066] \quad E = \sum_{i=1}^n (F_{1i}^2 + F_{2i}^2) + M \cdot \sum_{j=1}^6 f_j^2 = 0 \quad (6)$$

[0067] 其中 M 为惩罚因子(本发明实施例中的取值为 10^5 , 根据实际应用中的需要进行设定, 可以为 10^4 至 10^6), n 为接收器的数量。根据式(6), 可以通过一些迭代优化方法解算得出 R、T。本发明实施例中采用 Levenberg-Marquardt 法进行计算, 参考文献为《The Levenberg-Marquardt algorithm: Implementation and theory》, Volume 630 1978, Numerical Analysis。

[0068] 根据步骤 102 得到的探针尖端点(即被测点) P_t 在靶标坐标系下的坐标为 (x_{pt}, y_{pt}, z_{pt}) (已知量), 可以得出被测点在全局测量坐标系下的坐标值:

$$[0069] \quad \begin{bmatrix} x_{mt} \\ y_{mt} \\ z_{mt} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_{pt} \\ y_{pt} \\ z_{pt} \end{bmatrix} + T$$

[0070] 本领域技术人员可以理解附图只是一个优选实施例的示意图, 上述本发明实施例序号仅仅为了描述, 不代表实施例的优劣。

[0071] 以上所述仅为本发明的较佳实施例, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

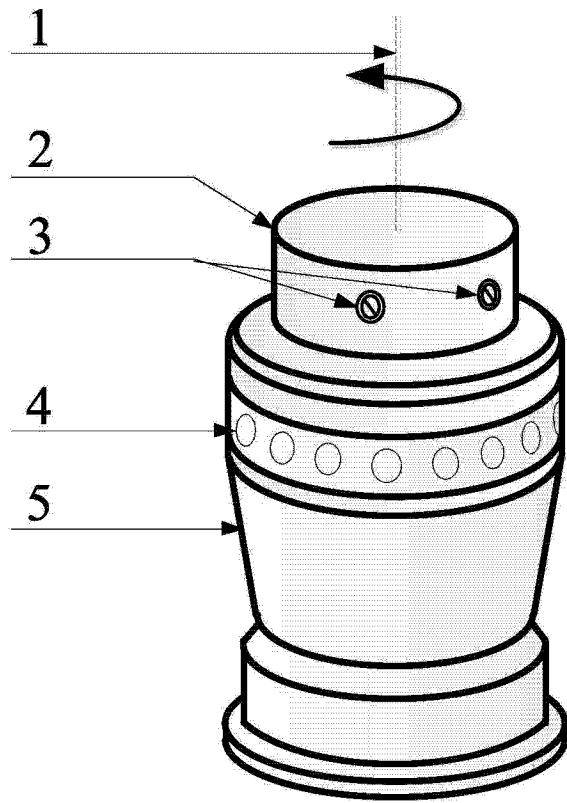


图 1a

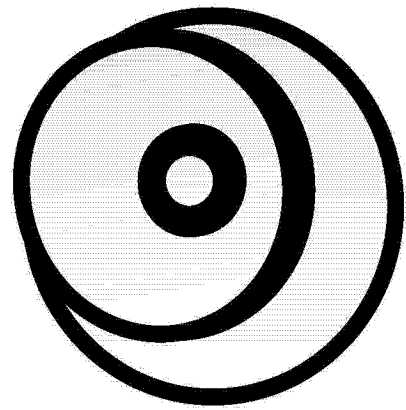


图 1b

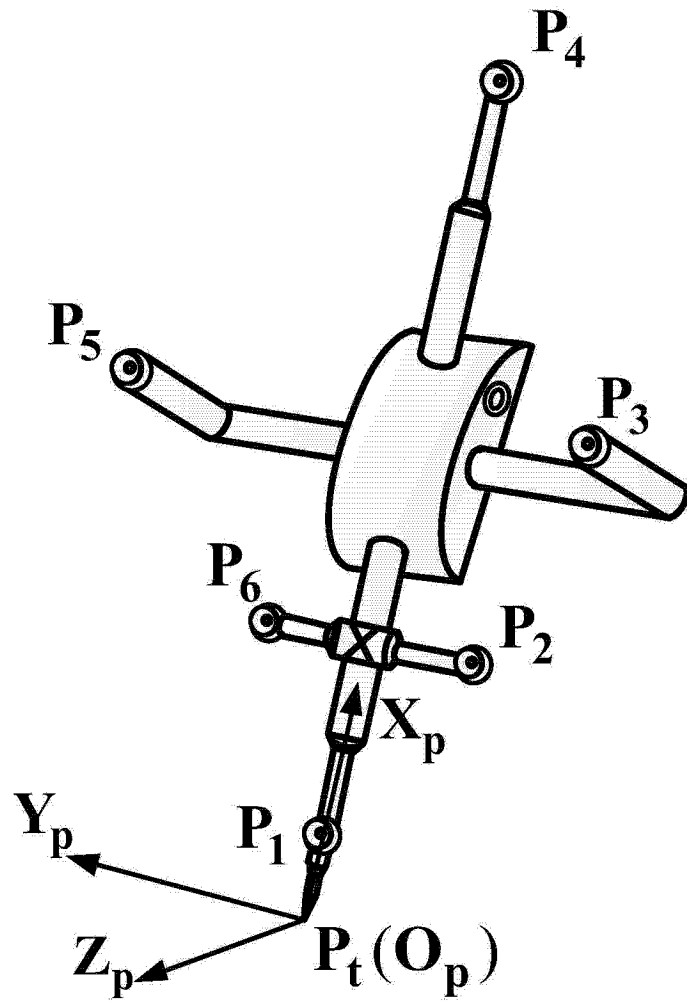
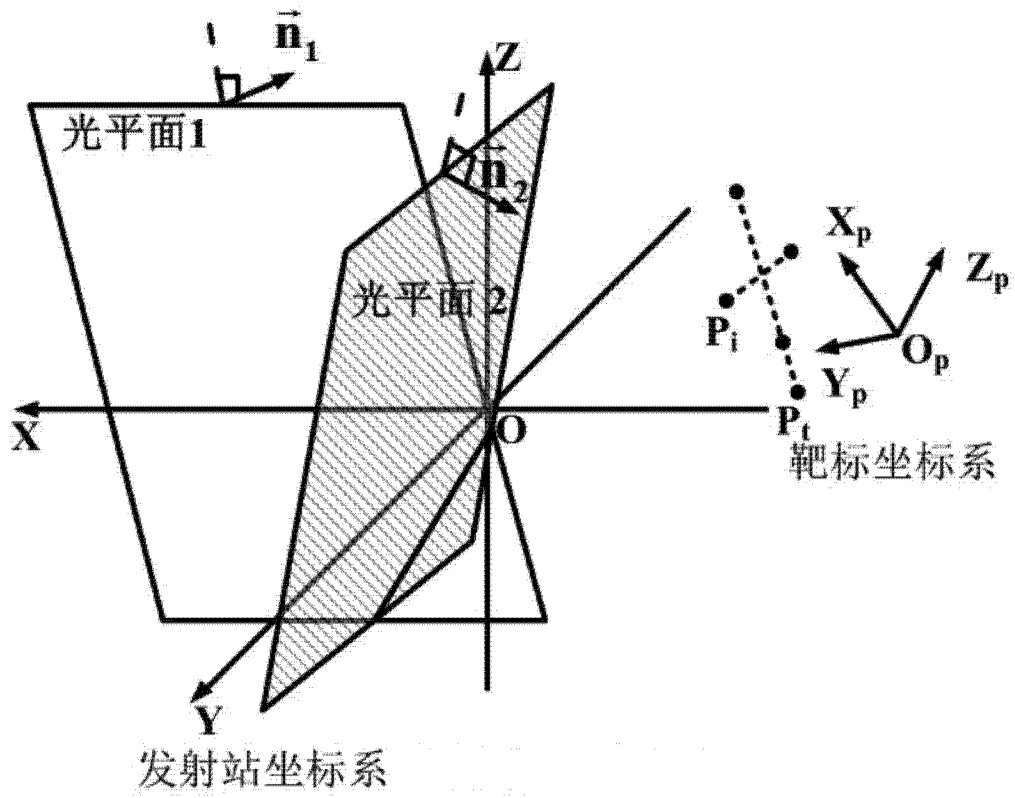
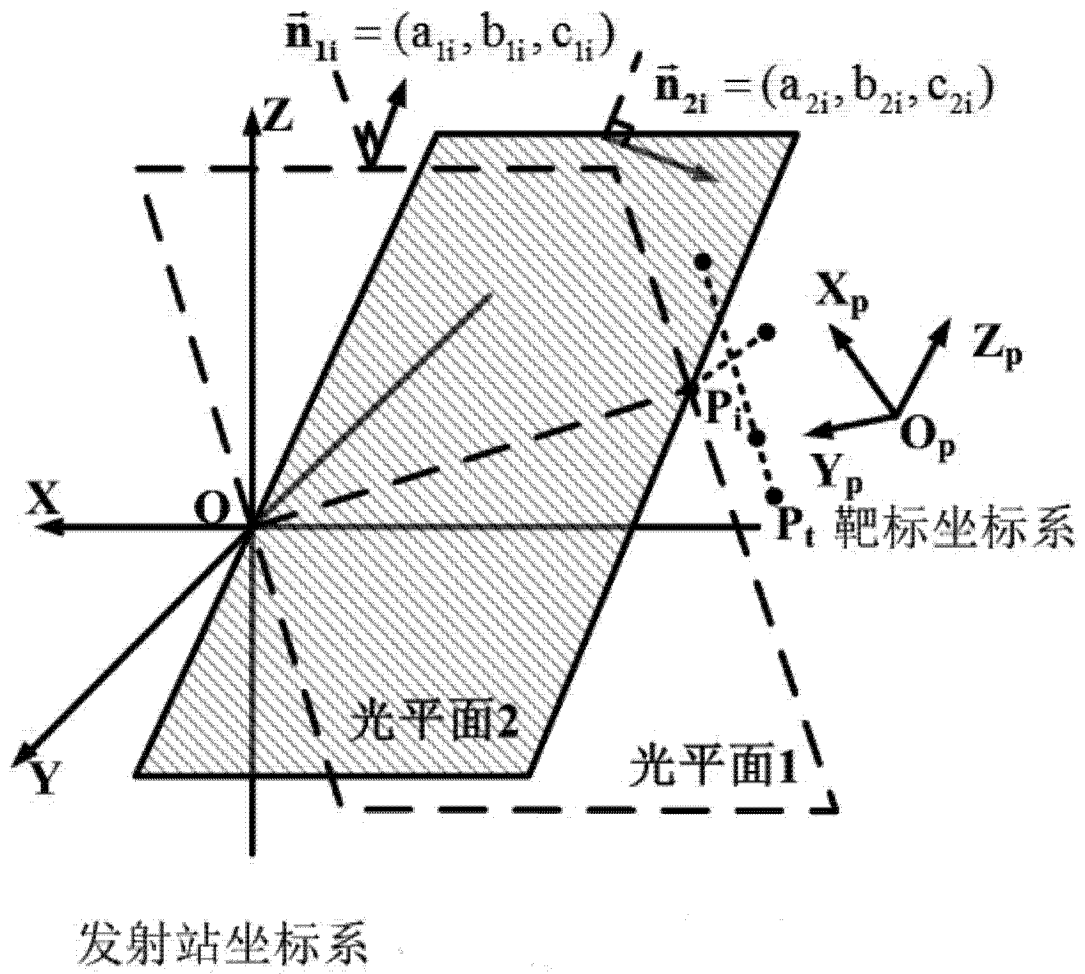


图 2





(b)

图 3

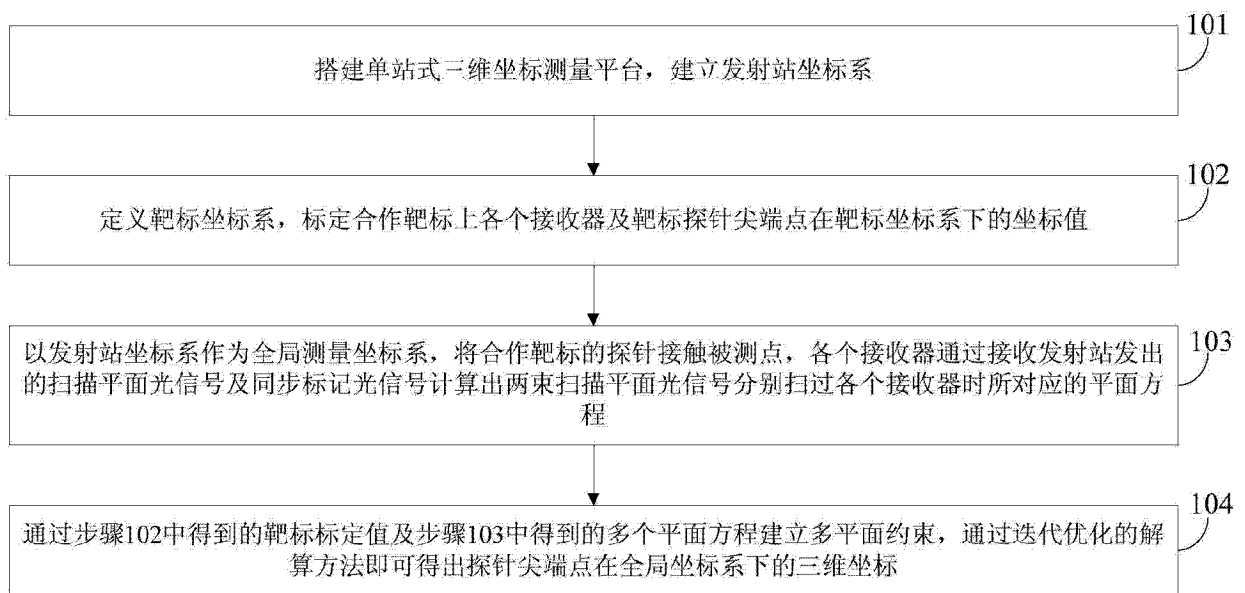


图 4