



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106524904 B

(45)授权公告日 2018.01.12

(21)申请号 201610832917.7

(22)申请日 2016.09.19

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106524904 A

(43)申请公布日 2017.03.22

(73)专利权人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 林嘉睿 邾继贵 杨凌辉 任永杰

高扬

(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 程毓英

(51)Int.Cl.

G01B 11/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 1240270 A,2000.01.05,

CN 105043250 A,2015.11.11,

CN 102435177 A,2012.05.02,

CN 103591891 A,2014.02.19,

CN 104880205 A,2015.09.02,

US 2014373369 A1,2014.12.25,

审查员 宋艳杰

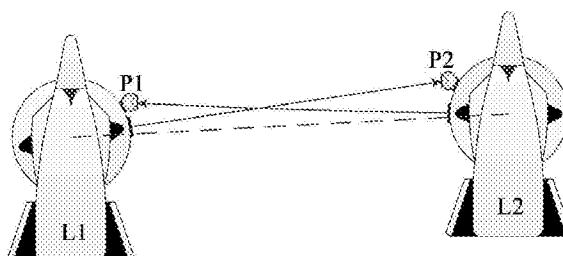
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种多激光跟踪仪快速互瞄定向方法

(57)摘要

本发明涉及一种多激光跟踪仪快速互瞄定向方法,对于某两台激光跟踪仪,包括:在测量空间布设两台激光跟踪仪的站位,分别为第一站位和第二站位,分别将一个球座置于各自激光跟踪仪的俯仰转座上,且偏离原点一定距离;用两台激光跟踪仪互相扫描对方球座上的标记点,为姿态1,分别记录两台激光跟踪仪的测量数据;将两台激光跟踪仪的水平角和俯仰角都转180度左右,为姿态2,相互瞄准对方球座上的标记点,分别记录两台激光跟踪仪的测量数据;在两个站位接近中间的连线上放置一个公共点,两个跟踪仪分别测量该点并记录数据;求解两台激光跟踪仪站位之间的位姿关系;步骤六、以上述过程得到的位姿关系为初值,经过优化得到最终的位姿关系数据。



1. 一种多激光跟踪仪快速互瞄定向方法,对于某两台激光跟踪仪,包括以下步骤:

步骤一、在测量空间布设两台激光跟踪仪的站位,分别为第一站位和第二站位,分别将一个球座置于各自激光跟踪仪的俯仰转座上,且偏离原点一定距离;

步骤二、用两台激光跟踪仪互相扫描对方球座上的标记点,为姿态1,分别记录两台激光跟踪仪的测量数据;

步骤三、将两台激光跟踪仪的水平角和俯仰角都转180度左右,为姿态2,相互瞄准对方球座上的标记点,分别记录两台激光跟踪仪的测量数据;

步骤四、在两个站位接近中间的连线上放置一个公共点,两个跟踪仪分别测量该公共点并记录数据;

步骤五、求解两台激光跟踪仪站位之间的位姿关系,方法如下:

步骤5-1) 设两台激光跟踪仪一个为第一跟踪仪,另一个为第二跟踪仪,第二跟踪仪的原点在第一跟踪仪坐标系下的矢量方向为 $p_{12}$ ,相应第一跟踪仪的原点在第二跟踪仪坐标系下的矢量方向为 $p_{21}$ ,由于Z轴平行,设 $p'_{12}$ 、 $p'_{21}$ 为 $p_{12}$ 、 $p_{21}$ 在各自坐标系下XOY平面投影的单位矢量,得到姿态角 $\theta = \arccos(p'_{12} \cdot p'_{21})$ ;

步骤5-2) 平移向量的求取需要求得两站原点之间的距离,设两台跟踪仪的中心连线与公共点之间的夹角分别为 $\phi_1$ 和 $\phi_2$ ,则得到两个站位原点之间的距离为:

$$d = \sqrt{d_{1m}^2 + d_{2m}^2 - 2d_{1m}d_{2m} \cos(\pi - \phi_1 - \phi_2)}$$

其中, $d_{1m}$ 和 $d_{2m}$ 分别为第一跟踪仪和第二跟踪仪的原点到公共点之间的距离,则第二跟踪仪相对于第一跟踪仪的平移向量 $T = d \cdot p_{21}$ ,由此可得到位姿关系为姿态角 $\theta$ 和平移向量 $T$ ;

步骤六、以上述过程得到的位姿关系为初值,经过优化得到最终的位姿关系数据:

步骤6-1) 对于两个标记点,设第一跟踪仪的标记点为 $P_1$ ,第二跟踪仪上的标记点为 $P_2$ ;在姿态1中,标记点 $P_2$ 相对与第一跟踪仪的坐标系 $L_1$ ,球坐标为 $(d_1, \alpha_1, \beta_1)$ , $d_1$ 表示标记点到跟踪仪坐标系原点之间的距离, $\alpha_1$ 是水平角, $\beta_1$ 是垂直角,标记点 $P_2$ 相对于第一跟踪仪坐标系 $L_1$ 的关系表示为三维坐标 ${}^{L_1}P_2$ ;同理在 $L_1$ 坐标系下标记点 $P_1$ 变换后的坐标为 ${}^{L_1}P_1$ ,变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L_1}R$ ;

在 $L_2$ 坐标系下点 $P_2$ 变换后的坐标为 ${}^{L_2}P_2$ ,变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L_2}R$ ;

在姿态2中, $L_1$ 坐标系下点 $P_1$ 变换后的坐标为 ${}^{L_1}P_1$ ,变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L_1}R$ ;在 $L_2$ 坐标系下点 $P_2$ 变换后的坐标为 ${}^{L_2}P_2$ ,变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L_2}R$ ;

在这里变换矩阵 ${}^{L_1}R$ 和 ${}^{L_2}R$ 与姿态1中的标记点球坐标中的角度值相关,同理 ${}^{L_1}R$ 和 ${}^{L_2}R$ 与姿态2中标记点球坐标中的角度值相关;

在 $L_1$ 坐标系和 $L_2$ 坐标系下公共点的坐标分别为 ${}_{L_2}P_3$ 和 ${}_{L_1}P_3$ ;

步骤6-2) 标记点坐标之间的关系和两台激光跟踪仪间的位姿关系参数表示为:

$$\begin{cases} {}_{L2}^{f1}P_1 - R \cdot {}_{L1}^{f1}P_1 - T = 0 \\ {}_{L2}^{f1}P_2 - R \cdot {}_{L1}^{f1}P_2 - T = 0 \\ {}_{L2}^{f2}P_1 - R \cdot {}_{L1}^{f2}P_1 - T = 0 \\ {}_{L2}^{f2}P_2 - R \cdot {}_{L1}^{f2}P_2 - T = 0 \\ {}_{L2}P_3 - R \cdot {}_{L1}P_3 - T = 0 \end{cases}$$

位姿关系中的姿态角 $\theta$ 可以表示为旋转矩阵R:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

消去公式中的 ${}_{L1}^{f1}P_1$ ,  ${}_{L2}^{f1}P_2$ ,  ${}_{L1}^{f2}P_1$ 和 ${}_{L2}^{f2}P_2$ ,重新整理方程得:

$$\begin{cases} {}_{L1}^{f1}R^T \cdot R^T ({}_{L2}^{f1}P_1 - T) - {}_{L1}^{f2}R^T \cdot R^T ({}_{L2}^{f2}P_1 - T) = 0 \\ {}_{L2}^{f1}R^T (R \cdot {}_{L1}^{f1}P_2 + T) - {}_{L2}^{f2}R^T (R \cdot {}_{L1}^{f2}P_2 + T) = 0 \\ {}_{L2}P_3 - R \cdot {}_{L1}P_3 - T = 0 \end{cases}$$

步骤6-3) 用非线性最优化方法LM算法求解上述方程组,以步骤5得到的位姿关系为迭代初值,得到精确优化的位姿关系。

## 一种多激光跟踪仪快速互瞄定向方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于工业现场大尺寸三维坐标测量方法,特别涉及一种新型的多激光跟踪仪快速互瞄定向方法。

### 背景技术

[0002] 激光跟踪仪是基于角度传感和测长技术相结合的球坐标测量系统,目前广泛应用于大尺寸几何量测量中。激光跟踪仪具有测量范围大、精度高等特点,在重大装备精密测量、大型零部件安装定位以及几何校准等方面具有显著优势。但是在许多大型工业现场测量中,如飞机大部件对接装配,单台激光跟踪仪往往不能满足测量任务的高效率需求,需要使用多台激光跟踪仪互相协助完成测量任务。相比于单台激光跟踪仪,多台跟踪仪可以有效地扩大测量范围、大大提高测量适应性和效率。

[0003] 但是,在工业现场诸多遮挡条件的限制下,多台跟踪仪如何快速定向是一个关键问题。传统的激光跟踪仪定向过程(以双跟踪仪为例)一般为:首先设置两跟踪仪都能观测到的全局控制点,控制点数目一般为6个左右,通过得到两个跟踪仪下全局控制点的两组坐标值,通过匹配算法,即可完成两跟踪仪的方位定向。这种传统的定向方法受限于两台跟踪仪的共同可视空间,必须同时观测到至少3个以上的共同控制点才能完成定向,一旦遇到遮挡物或者某个站位下仪器可视空间狭小的情况时,该方法立即失效,进而无法完成整个测量任务,故对于现场条件复杂、环境恶劣的工业现场,传统定向方法过程复杂,效率较低。

### 发明内容

[0004] 针对上述现有技术,为了提高多台激光跟踪仪在工业现场的测量效率,弥补在视场不足的情况下给测量工作带来的困难,充分利用单台激光跟踪仪的长度和角度信息,本发明提供一种多激光跟踪仪可视快速定向方法。两台激光跟踪仪仅需要互相可视,即可精确快速互瞄定向方法,对于提高激光跟踪仪定向效率,应对复杂的工作环境,尤其是在仪器可视空间狭小、视场受限的环境下,有着重要的应用价值。本发明的技术方案如下:

[0005] 一种多激光跟踪仪快速互瞄定向方法,对于某两台激光跟踪仪,包括以下步骤:

[0006] 步骤一、在测量空间布设两台激光跟踪仪的站位,分别为第一站位和第二站位,分别将一个球座置于各自激光跟踪仪的俯仰转座上,且偏离原点一定距离;

[0007] 步骤二、用两台激光跟踪仪互相扫描对方球座上的标记点,为姿态1,分别记录两台激光跟踪仪的测量数据;

[0008] 步骤三、将两台激光跟踪仪的水平角和俯仰角都转180度左右,为姿态2,相互瞄准对方球座上的标记点,分别记录两台激光跟踪仪的测量数据;

[0009] 步骤四、在两个站位接近中间的连线上放置一个公共点,两个跟踪仪分别测量该点并记录数据;

[0010] 步骤五、求解两台激光跟踪仪站位之间的位姿关系,方法如下:

[0011] 步骤5-1) 设两台激光跟踪仪一个为第一跟踪仪,另一个为第二跟踪仪,第二跟踪

仪的原点在第一跟踪仪坐标系下的矢量方向为 $p_{12}$ ,相应第一跟踪仪的原点在第二跟踪仪坐标系下的矢量方向为 $p_{21}$ ,由于Z轴平行得到姿态角 $\theta = \arccos(\mathbf{p}'_{12} \mathbf{p}'_{21})$ ;

[0012] 步骤5-2) 平移向量的求取需要求得两站原点之间的距离,设两台跟踪仪的中心连线与公共点之间的夹角分别为 $\phi_1$ 和 $\phi_2$ ,则得到两个站位原点之间的距离为:

$$[0013] \quad d = \sqrt{d_{1m}^2 + d_{2m}^2 - 2d_{1m}d_{2m} \cos(\pi - \phi_1 - \phi_2)}$$

[0014] 其中, $d_{1m}$ 和 $d_{2m}$ 分别为第一跟踪仪和第二跟踪仪的原点到公共点之间的距离,则第二跟踪仪相对于第一跟踪仪的平移向量 $T = d \cdot p_{21}$ ,由此可得到位姿关系为姿态角 $\theta$ 和平移向量 $T$ ;

[0015] 步骤六、以上述过程得到的位姿关系为初值,经过优化得到最终的位姿关系数据:

[0016] 步骤6-1) 对于两个标记点,设第一跟踪仪的标记点为 $P_1$ ,第二跟踪仪上的标记点为 $P_2$ ;在姿态1中,标记点 $P_2$ 相对与第一跟踪仪的坐标系 $L_1$ ,球坐标为 $(d_1, \alpha_1, \beta_1)$ , $d_1$ 表示标记点到跟踪仪坐标系原点之间的距离, $\alpha_1$ 是水平角, $\beta_1$ 是垂直角,标记点 $P_2$ 相对于第一跟踪仪坐标系 $L_1$ 的关系表示为三维坐标 ${}^{L_1}P_2$ ;同理在 $L_1$ 坐标系下标记点 $P_1$ 变换后的坐标为 ${}^{L_1}P_1$ ,变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L_1}R$ ;

[0017] 在 $L_2$ 坐标系下点 $P_2$ 变换后的坐标为 ${}^{L_2}P_2$ ,变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L_2}R$ ;

[0018] 在姿态2中, $L_1$ 坐标系下点 $P_1$ 变换后的坐标为 ${}^{L_1}P_1$ ,变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L_1}R$ ;在 $L_2$ 坐标系下点 $P_2$ 变换后的坐标为 ${}^{L_2}P_2$ ,变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L_2}R$ ;

[0019] 在这里变换矩阵 ${}^{L_1}R$ 和 ${}^{L_2}R$ 与姿态1中的标记点球坐标中的角度值相关,同理 ${}^{L_1}R$ 和 ${}^{L_2}R$ 与姿态2中标记点球坐标中的角度值相关;

[0020] 在 $L_1$ 坐标系和 $L_2$ 坐标系下公共点的坐标分别为 ${}_{L_2}P_3$ 和 ${}_{L_1}P_3$ ;

[0021] 步骤6-2) 标记点坐标之间的关系和两台激光跟踪仪间的位姿关系参数表示为:

$$[0022] \quad \begin{cases} {}^{L_2}P_1 - R {}^{L_1}P_1 - T = 0 \\ {}^{L_2}P_2 - R {}^{L_1}P_2 - T = 0 \\ {}^{L_2}P_1 - R {}^{L_1}P_1 - T = 0 \\ {}^{L_2}P_2 - R {}^{L_1}P_2 - T = 0 \\ {}_{L_2}P_3 - R {}_{L_1}P_3 - T = 0 \end{cases}$$

[0023] 位姿关系中的姿态角 $\theta$ 可以表示为旋转矩阵 $R$ :

$$[0024] \quad R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0025] 消去公式中的 ${}^{L_1}P_1$ ,  ${}^{L_1}P_2$ ,  ${}^{L_2}P_1$ 和 ${}^{L_2}P_2$ ,重新整理方程得:

$$[0026] \quad \begin{cases} {}^{L_1}R^T \cdot R^T ({}^{L_2}P_1 - T) - {}^{L_1}R^T \cdot R^T ({}^{L_2}P_1 - T) = 0 \\ {}^{L_2}R^T (R \cdot {}^{L_1}P_2 + T) - {}^{L_2}R^T (R \cdot {}^{L_1}P_2 + T) = 0 \\ {}_{L_2}P_3 - R \cdot {}_{L_1}P_3 - T = 0 \end{cases}$$

[0027] 步骤6-3) 用非线性最优化方法LM算法求解上述方程组,以步骤5得到的位姿关系为迭代初值,得到精确优化的位姿关系。

[0028] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0029] 本发明利用激光跟踪仪可以精确得到球坐标系下点的长度和角度信息的特性,用一种非常便捷的方法就能获得两台跟踪仪的位姿关系,并通过优化算法能进一步提高精度。解决了在许多工业现场因为公共视场不足难以完成跟踪仪之间定向的问题,并简化了标定位姿关系的工作过程,可以大幅提高大型工业现场的工作效率。

### 附图说明

[0030] 图1是多激光跟踪仪快速互瞄组合定向系统组成示意图;

[0031] 图2是本发明中跟踪仪上设置的标记点在两个位姿下的测量过程示意图,(a)为一个位姿,(b)为另一个位姿;

[0032] 图3是激光跟踪仪头部旋转(改变控制标记点位置)细节示意图;

[0033] 图4是双激光跟踪仪测量基线外第三点数学模型示意图;

[0034] 图5是标记点在对应跟踪仪坐标系下坐标变换的数学模型示意图。

### 具体实施方式

[0035] 下面结合附图和公式对本发明提供的快速互瞄标定激光跟踪仪组合测量系统方法进行详细说明。

[0036] 步骤一、如图1所示,在测量空间布设两台激光跟踪仪的站位,分别问站位1、站位2,分别将一个球座置于各自激光跟踪仪俯仰转座上,且偏离原点一定距离。此处使用两台徠卡AT401激光跟踪仪,定义为其坐标系分别为L1和L2,球座上标记点定义为P1、P2。当激光跟踪仪两轴转动时,球座跟随转动。通过测量如图两个位姿下标记点的坐标,可以建立两个跟踪仪之间的矢量方向;

[0037] 步骤1-1) 设水平角为 $0^\circ$ ,俯仰角为 $90^\circ$ 时跟踪仪1下的球座上反射棱镜中心(称为点1)在其自身坐标系下的坐标为 ${}^0P_1$ ,水平角为 $0^\circ$ ,俯仰角为 $90^\circ$ 时跟踪仪2下的球座上反射棱镜中心(称为点2)在其自身坐标系下的坐标为 ${}^0P_2$ ,这两个初始坐标未知。

[0038] 步骤二、如图2中所示,两台激光跟踪仪互相扫瞄对方球座上的点。设跟踪仪1坐标系下的点2测量值为 $p_1$ ,跟踪仪2坐标系下的点1测量值 $p_2$ ,分别记录两跟踪仪的测量数据;

[0039] 步骤三、如图3中所示,将激光跟踪仪1和2的水平角和俯仰角都转180度左右,相互瞄准对方球座上的点,设跟踪仪1坐标系下的点2测量值为 $p_1'$ ,跟踪仪2坐标系下的点1测量值 $p_2'$ ,分别记录两跟踪仪的测量数据;

[0040] 步骤四、如图4中所示,在两站中间接近连线上放置一公共点m,两个跟踪仪分别测量该点,设跟踪仪1坐标系下的中间点球坐标测量值为 $p_{1m}$ ,跟踪仪2坐标系下的中间点球坐标测量值 $p_{2m}$ ,记录数据;

[0041] 步骤五、通过以上过程得到的数据,求解两台跟踪仪站位之间的位姿关系;

[0042] 步骤5-1) 跟踪仪2的原点在跟踪仪1坐标系下的矢量方向可表达为:

[0043]  $p_{12} = (p_1 + p_1') / \text{mod}(p_1 + p_1')$

[0044] 跟踪仪1的原点在跟踪仪2坐标系下的矢量方向可表达为:

$$[0045] \quad p_{21} = (p_2 + p_2') / \text{mod}(p_2 + p_2')$$

[0046] 由于Z轴平行, 设 $p'_{12}$ 、 $p'_{21}$ 为 $p_{12}$ 、 $p_{21}$ 在各自坐标系下XOY平面投影的单位矢量, 则由此可得到姿态角 $\theta = \arccos(p_{12}^T p'_{21})$ 。

[0047] 步骤5-2) 如图4中所示, 平移向量的求取需要求得两站原点之间的距离。根据激光跟踪仪可以得到坐标及长度得:

$$[0048] \quad \phi_1 = \arccos(p_{12}^T p_{1m})$$

$$[0049] \quad \phi_2 = \arccos(p_{21}^T p_{2m})$$

[0050] 则由余弦定理可得两站原点之间的距离为:

$$[0051] \quad d = \sqrt{d_{1m}^2 + d_{2m}^2 - 2d_{1m}d_{2m} \cos(\pi - \phi_1 - \phi_2)}$$

[0052] 其中,  $d_{1m}$ 和 $d_{2m}$ 分别为两跟踪仪原点到公共点之间的距离, 则平移向量

$$[0053] \quad T = d * p_{21}$$

[0054] 步骤六、提出一种优化方法, 以上述过程得到的位姿关系为初值, 经过优化得到最终的位姿关系数据。

[0055] 步骤6-1) 如图5中所示, 设第一跟踪仪的标记点为P1, 第二跟踪仪上的标记点为P2。在姿态1中, 标记点P2相对与第一跟踪仪的坐标系L1, 球坐标为 $(d_1, \alpha_1, \beta_1)$ ,  $d_1$ 表示标记点到跟踪仪坐标系原点之间的距离,  $\alpha_1$ 是水平角,  $\beta_1$ 是垂直角, 标记点P2相对于第一跟踪仪坐标系L1的关系表示为三维坐标 ${}^{L1}P_2$ , 同理在L1坐标系下标记点P1变换后的坐标为 ${}^{L1}P_1$ , 变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L1}R$ 。

[0056] 类似地, 在L2坐标系下点P2变换后的坐标为 ${}^{L2}P_2$ , 变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L2}R$ 。

[0057] 在姿态2中, 所有的过程都是类似的。L1坐标系下点P1变换后的坐标为 ${}^{L1}P_1$ , 变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L1}R$ 。在L2坐标系下点P2变换后的坐标为 ${}^{L2}P_2$ , 变化矩阵为一个旋转矩阵 ${}^{L2}R$ 。

[0058] 在这里变换矩阵 ${}^{L1}R$ 和 ${}^{L2}R$ 与姿态1中的标记点球坐标中的角度值相关, 同理 ${}^{L1}R$ 和 ${}^{L2}R$ 与姿态2中标记点球坐标中的角度值相关。

[0059] 在L1坐标系和L2坐标系下公共点的坐标分别为 ${}^{L2}P_3$ 和 ${}^{L1}P_3$ 。

[0060] 步骤6-2) 标记点坐标之间的关系和两台激光跟踪仪间的位姿关系参数表示为:

$$[0061] \quad \begin{cases} {}^{L2}P_1 - R {}^{L1}P_1 - T = 0 \\ {}^{L2}P_2 - R {}^{L1}P_2 - T = 0 \\ {}^{L2}P_1 - R {}^{L1}P_1 - T = 0 \\ {}^{L2}P_2 - R {}^{L1}P_2 - T = 0 \\ {}^{L2}P_3 - R {}^{L1}P_3 - T = 0 \end{cases}$$

[0062] 位姿关系中的姿态角 $\theta$ 可以表示为旋转矩阵R:

$$[0063] \quad R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0064] 消去公式中的 ${}^{f1}P_{L1-1}$ ,  ${}^{f1}P_{L2-2}$ ,  ${}^{f2}P_{L1-1}$ 和 ${}^{f2}P_{L2-2}$ ,重新整理方程得:

$$[0065] \quad \begin{cases} {}^{f1}R^T \cdot R^T ({}^{f1}P_{L2-1} - T) - {}^{f2}R^T \cdot R^T ({}^{f2}P_{L2-1} - T) = 0 \\ {}^{f1}R^T (R \cdot {}^{f1}P_{L1-2} + T) - {}^{f2}R^T (R \cdot {}^{f2}P_{L1-2} + T) = 0 \\ {}^{f2}P_{L2-3} - R \cdot {}^{f1}P_{L1-3} - T = 0 \end{cases}$$

[0066] 步骤6-3) 用非线性最优化方法LM算法求解上述方程组,以步骤5得到的位姿关系为迭代初值,得到精确优化的位姿关系。



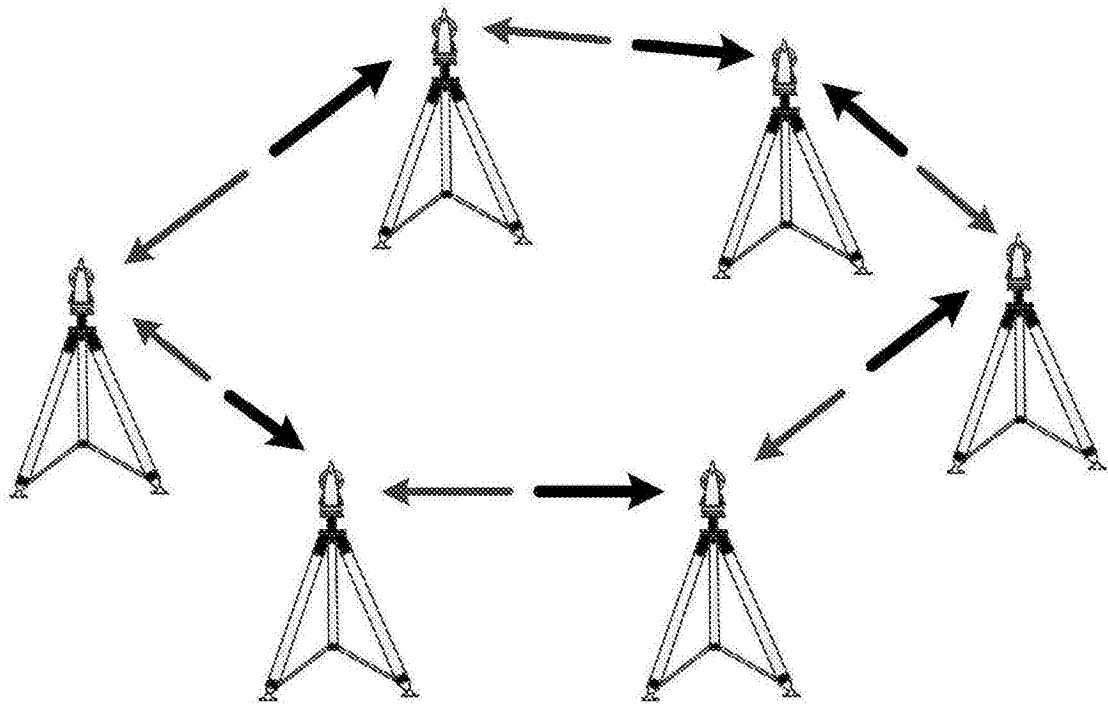
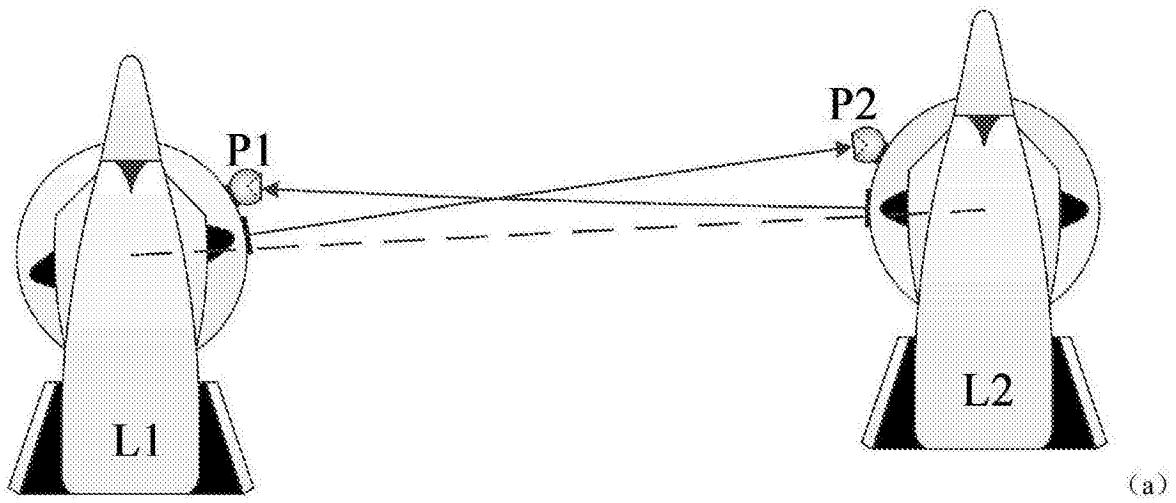
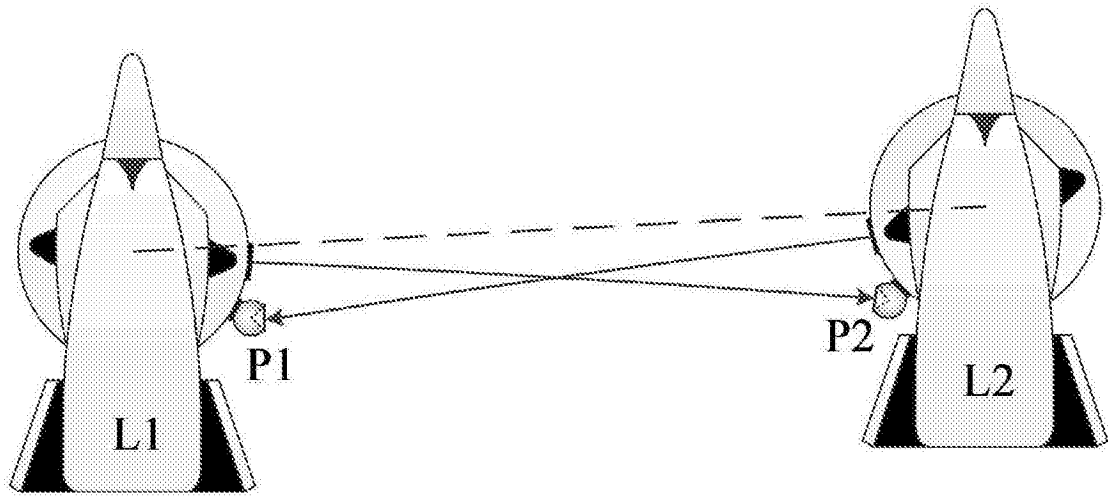


图1





(b)

图2

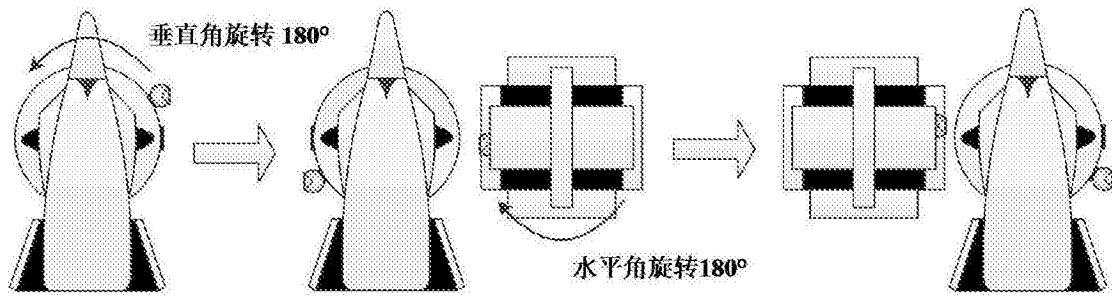


图3

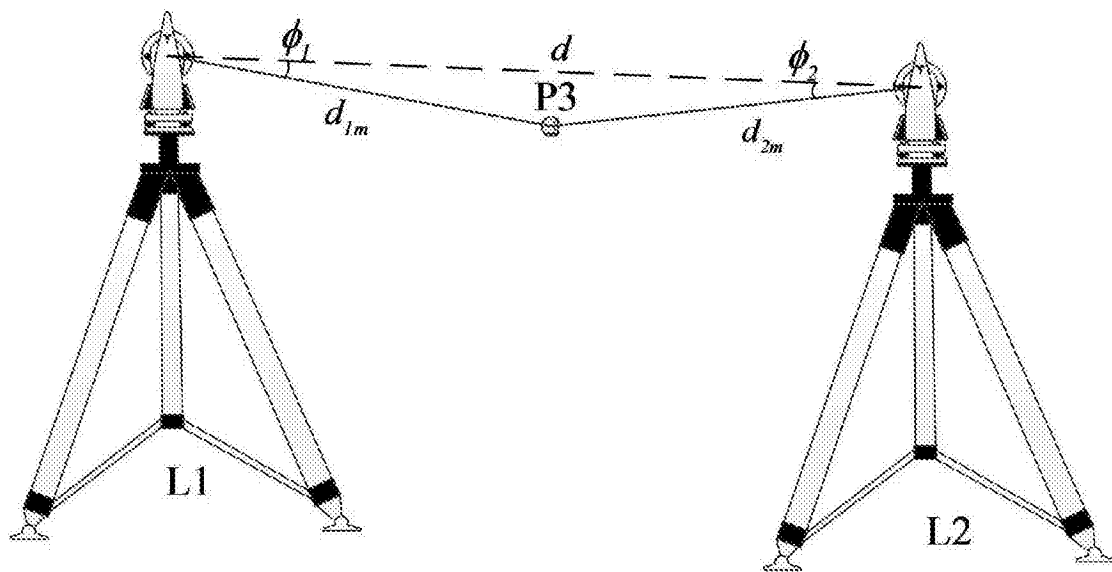


图4

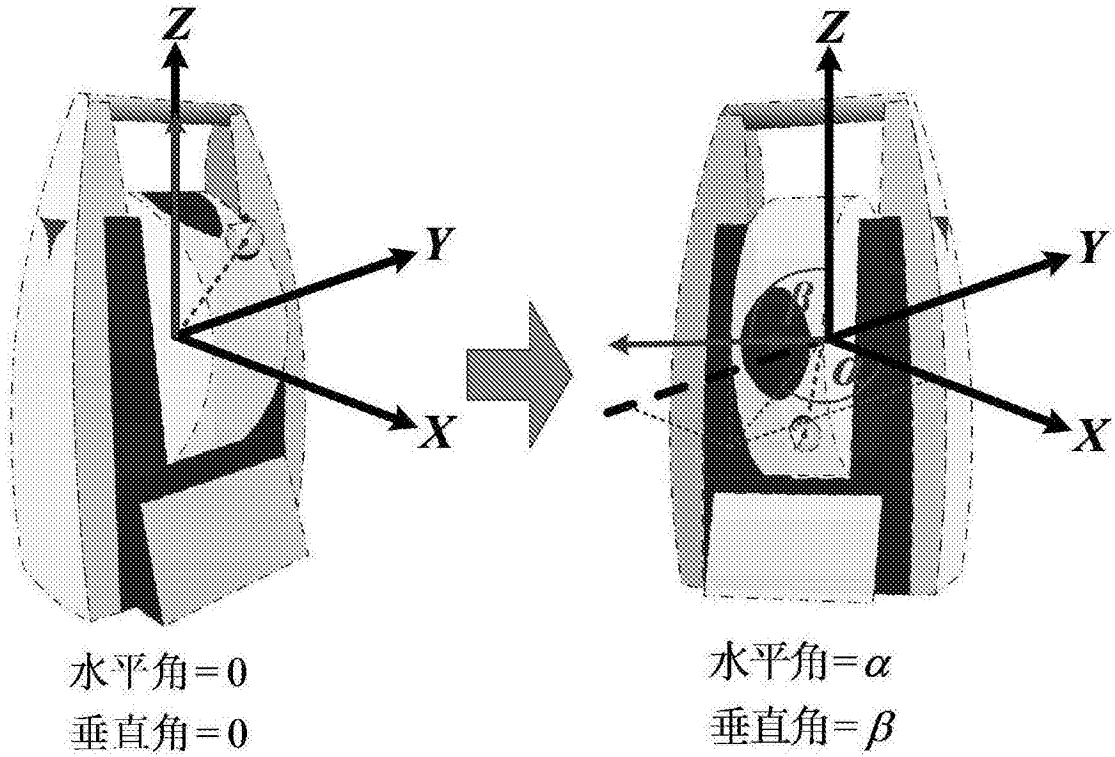


图5