



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114894094 B

(45) 授权公告日 2022.09.23

(21) 申请号 202210822904.7

(22) 申请日 2022.07.14

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114894094 A

(43) 申请公布日 2022.08.12

(73) 专利权人 青岛环海海洋工程勘察研究院有
限责任公司

地址 266061 山东省青岛市崂山区云岭路
27号

(72) 发明人 邵春丽 黄承义 周剑波 褚加志
布如源

(74) 专利代理机构 青岛智地领创专利代理有限
公司 37252

专利代理师 王鸣鹤

(51) Int.Cl.

G01B 11/00 (2006.01)

G01B 11/03 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 111765902 A, 2020.10.13

CN 112762910 A, 2021.05.07

JP 2019211470 A, 2019.12.12

CN 108489401 A, 2018.09.04

CN 105678088 A, 2016.06.15

吴长悦等. Focus3D三维激光扫描仪测距精
度检校试验.《现代矿业》.2017, (第11期), 第75-
78页.

审查员 杨敏

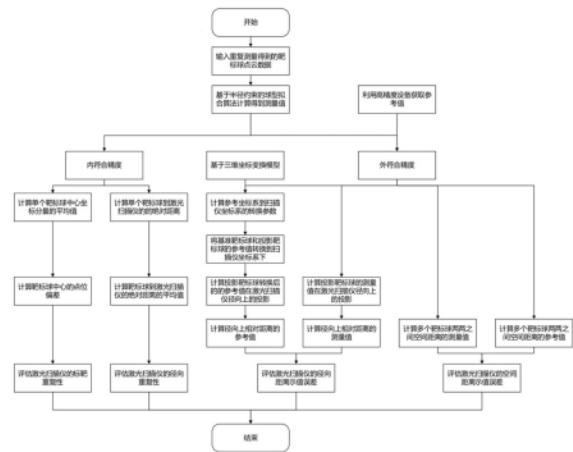
权利要求书6页 说明书13页 附图3页

(54) 发明名称

一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评
估方法

(57) 摘要

本发明公开了一种空间多靶标布设的激光
扫描仪指标评估方法,属于大地测量技术领域,
用于激光扫描仪的指标评估,包括:利用激光扫
描仪对空间布设的多个靶标球进行重复测量获
取靶标球中心坐标的测量值,利用高精度设备获
取靶标球中心坐标的参考值,从而对激光扫描仪
的多项指标进行评估。指标具体包括径向重复
性、标靶重复性、径向距离示值误差和空间距
离示值误差。激光扫描仪中心与基准靶标球中
心的连线方向为激光扫描仪的径向,激光扫描
仪固连的坐标系为扫描坐标系,高精度设备固
连的坐标系为参考坐标系。主要利用基于半径
约束的球型拟合算法计算靶标球中心坐标和
基于三维坐标变换模型计算参考坐标系到扫
描仪坐标系的转换参数。



CN 114894094 B

1. 一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,其特征在于,包括:

S1. 采集靶标球点云数据;

S2. 基于半径约束的球型拟合算法获取靶标球中心坐标;

S3. 使用测量设备获取靶标球中心坐标;

S4. 基于三维坐标变换模型计算参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数;

S5. 评估激光扫描仪的多项指标;

S5.1. 评估激光扫描仪的径向重复性和标靶重复性;

S5.2. 评估激光扫描仪的径向距离示值误差;

S5.3. 评估激光扫描仪的空间距离示值误差;

步骤S1包括:

在试验场内布设多个靶标球,每个靶标球到激光扫描仪的距离不相同,且每个靶标球架设高度不相同,保证靶标球在试验场呈空间分布,同时架设激光扫描仪,利用激光扫描仪对试验场中的靶标球进行重复测量,获取多组点云数据;

步骤S2包括:

设与激光扫描仪固连的坐标系为扫描仪坐标系,利用手工或软件提取步骤S1获取的点云数据中的靶标球,靶标球的半径已知为 r ,设单个靶标球的点云数据中有 n 个点,每个点的坐标为 $(x_i, y_i, z_i), i = 1 \dots n$,在此基础上建立空间球面方程:

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = r^2 \quad (1)$$

其中, $(x, y, z), r$ 分别为球心坐标和半径;

对(1)式展开并移项可得:

$$x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 = 2x_i x + 2y_i y + 2z_i z + (r^2 - x^2 - y^2 - z^2) \quad (2)$$

记:

$$A = \begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 2z_1 & 1 \\ 2x_2 & 2y_2 & 2z_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2x_n & 2y_n & 2z_n & 1 \end{bmatrix}, \vec{b} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ r^2 - x^2 - y^2 - z^2 \end{bmatrix}, \vec{Y} = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 \\ \vdots \\ x_n^2 + y_n^2 + z_n^2 \end{bmatrix}$$

按下式求解超定方程(2):

$$\vec{b} = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (3)$$

经计算即可得到 x, y, z, r 的值,即得到扫描仪坐标系下靶标球中心坐标的近似值 (x', y', z') 和靶标球半径的近似值 r' ;

构造函数 $G = g(x, y, z, r) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - r$,

对函数在 (x_0, y_0, z_0, r_0) 处进行线性化,令

$$\varepsilon_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}, g_i = g(x_0, y_0, z_0, r_0), \hat{x} = x - x_0,$$

$\hat{y} = y - y_0, \hat{z} = z - z_0, \hat{r} = r - r_0$,得到:

$$g_i - \frac{(x_i - x_0)\hat{x} + (y_i - y_0)\hat{y} + (z_i - z_0)\hat{z}}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}} - \hat{r} = 0 \quad (4)$$

其中, r_0 为靶标球半径的设计值,设靶标球的半径约束方程为:

$$\hat{r} + r_0 = r \quad (5)$$

利用间接平差,将(4)式和(5)式联立并写成改正数的形式,得到:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x_0 - x_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(y_0 - y_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(z_0 - z_i)}{\varepsilon_i} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} - g_i \quad (6)$$

$$V_r = \hat{r} - (r' - r_0) \quad (7)$$

V_x 、 V_y 、 V_z 、 V_r 分别是 x, y, z, r 对应的改正数,联立(6)式和(7)式可得:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \\ V_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x_0 - x_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(y_0 - y_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(z_0 - z_i)}{\varepsilon_i} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_i \\ r' - r_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

对(8)式运用间接平差进行参数求解,令 $m = n + 1$,其中:

$$B_{m \times 4} = \begin{bmatrix} \frac{(x_0 - x_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(y_0 - y_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(z_0 - z_i)}{\varepsilon_i} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, P_{m \times m} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 100 \end{bmatrix}, l_{m \times 1} = \begin{bmatrix} g_i \\ r' - r_0 \end{bmatrix}$$

得到:

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} = (B^T P B)^{-1} B^T P l \quad (9)$$

计算平差后的值:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ r_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} \quad (10)$$

即得到基于半径约束的球型拟合算法获取的靶标球中心坐标的测量值 (x, y, z) 和靶标球半径 r 。

2. 根据权利要求1所述的一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,其特征在在于,S3包括:

以工业测量系统为基础,工业测量系统基于空间前方交会利用两台经纬仪进行坐标量测,设与工业测量系统固连的坐标系为参考坐标系,得到参考坐标系下靶标球中心坐标的参考值。

3. 根据权利要求2所述的一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,其特征在在于,S4包括:

设由步骤S2得到扫描仪坐标系下的 i 个靶标球中心坐标为 (x_{1i}, y_{1i}, z_{1i}) ,由步骤S3得到参考坐标系下的 i 个靶标球中心坐标为 (x_{2i}, y_{2i}, z_{2i}) ,基于方向余弦的三维坐标变换模型计算参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数,则有:

$$\begin{bmatrix} x_{1i} \\ y_{1i} \\ z_{1i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{2i} \\ y_{2i} \\ z_{2i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

其中, $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ 为方向余弦, X_0, Y_0, Z_0 为扫描仪坐标系原点相对于参考坐标系原点在 X, Y, Z 方向上的平移值;

由于上述9个方向余弦构成的矩阵为正交矩阵,通过3个方向余弦值推算其它6个方向余弦值,通过3组以上的靶标球中心坐标利用最小二乘法即可求解式(11)中各参数的值,即得到参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数。

4. 根据权利要求3所述的一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,其特征在在于,径向重复性和标靶重复性具体为,基于扫描仪对单个目标物的重复测量;径向距离示值误差和空间距离示值误差具体为,依靠参考值和测量值进行对比。

5. 根据权利要求4所述的一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,其特征在在于, S5.1包括:

通过激光扫描仪对单个靶标球重复测量 n 次,得到单个靶标球的 n 组点云数据,其中 $n \geq 10$,由步骤S2计算得到单个靶标球的 n 组中心坐标 (x_i, y_i, z_i) ,其中 $i = 1 \dots n$,计算单个靶标球到激光扫描仪的 n 组绝对距离 D_i :

$$D_i = \sqrt{(x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)} \quad (12)$$

对 n 组绝对距离求平均值 \bar{D} 以及 n 组中心坐标的分量分别求平均值 \bar{x} :

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n D_i \quad (13)$$

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i, \bar{z} = \sum_{i=1}^n z_i \quad (14)$$

求取每组靶标球的中心点位偏差 δ_i :

$$\delta_i = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2} \quad (15)$$

评估径向重复性 $S(D)$:

$$S(D) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} \quad (16)$$

评估标靶重复性 $S(\delta)$:

$$S(\delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta^2}{n}} \quad (17)$$

6. 根据权利要求5所述的一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,其特征在于,S5.2包括:

选取试验场中一个靶标球作为基准靶标球, m 个靶标球作为投影靶标球,基准靶标球和投影靶标球的选取原则:选取距离激光扫描仪最近的靶标球作为基准靶标球,选取距离基准靶标球较近的多个靶标球作为投影靶标球;

通过激光扫描仪对靶标球重复测量 n 次,由步骤S2得到基准靶标球中心坐标的测量值 (x_{s0}, y_{s0}, z_{s0}) 和投影靶标球中心坐标的测量值 (x_{sj}, y_{sj}, z_{sj}) ,其中 $j = 1, 2 \dots n, s = 1, 2 \dots m$,由步骤S3得到基准靶标球中心坐标的参考值 (x_0, y_0, z_0) 和投影靶标球中心坐标的参考值 (x_s, y_s, z_s) ;

基于测量值计算基准靶标球中心到激光扫描仪中心的绝对距离 L_{s0} :

$$L_{s0} = \sqrt{(x_{s0}^2 + y_{s0}^2 + z_{s0}^2)} \quad (18)$$

基于测量值计算投影靶标球中心到激光扫描仪中心的绝对距离 L_{sj} :

$$L_{sj} = \sqrt{(x_{sj}^2 + y_{sj}^2 + z_{sj}^2)} \quad (19)$$

将投影靶标球中心坐标的测量值投影到激光扫描仪中心与基准靶标球中心的连线,该连线在激光扫描仪的径向上,设激光扫描仪中心坐标为(0,0,0),则 L_{sj} 在 L_{s0} 的方向上的投影

L'_{sj} 为:

$$L'_{sj} = \frac{x_{s0} * x_{sj} + y_{s0} * y_{sj} + z_{s0} * z_{sj}}{\sqrt{x_{s0}^2 + y_{s0}^2 + z_{s0}^2}} \quad (20)$$

则激光扫描仪径向上相对距离的测量值 $L_{\Delta j}$ 为:

$$L_{\Delta j} = L'_{sj} - L_{s0} \quad (21)$$

再根据步骤S4计算参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数,将基准靶标球和投影靶标球中心坐标的参考值代入式(11),得到激光扫描仪坐标系下基准靶标球和投影靶标球转换后的中心坐标的参考值 (x_0', y_0', z_0') 和 (x_s', y_s', z_s') :

$$\begin{bmatrix} x_0' \\ y_0' \\ z_0' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

根据上述

$$\begin{bmatrix} x_s' \\ y_s' \\ z_s' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

两式的结果按照式(18)、式(19)、式(20)和式(21)的步骤依次进行计算,得到激光扫描仪径向上相对距离的参考值 L_c ,最后计算径向距离示值误差 ΔL_s :

$$\Delta L_s = L_{\Delta j} - L_c \quad (24)$$

取 n 次重复测量得到的径向距离示值误差的最大值 $\Delta L_{max} = \max(\Delta L_{s1}, \Delta L_{s2} \dots \Delta L_{sn})$ 作为激光扫描仪径向距离示值误差的评估结果。

7. 根据权利要求6所述的一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,其特征在于,S5.3包括:

通过激光扫描仪对靶标球重复测量 s 次,其中 $s \geq 3$,由步骤S2得到 n 个靶标球中心坐标的测量值 (x_i, y_i, z_i) , $i = 1, 2 \dots n$,由步骤S3得到 n 个靶标球中心坐标的参考值 (x_{si}, y_{si}, z_{si}) ,

基于参考值计算多个靶标球两两之间空间距离的参考值 $L_{s(j-k)}$,其中 j 和 k 为靶标球的

序号:

$$L_{S(j-k)} = \sqrt{(x_{sj} - x_{sk})^2 + (y_{sj} - y_{sk})^2 + (z_{sj} - z_{sk})^2} \quad (25)$$

基于测量值计算多个靶标球两两之间空间距离的测量值 L_{j-k} :

$$L_{j-k} = \sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2 + (z_j - z_k)^2} \quad (26)$$

基于多个靶标球两两之间空间距离的测量值和参考值计算空间距离示值误差 $\Delta L_{S(j-k)}$:

$$\Delta L_{S(j-k)} = L_{j-k} - L_{S(j-k)} \quad (27)$$

计算空间距离示值误差的标准偏差:

$$s(\Delta L) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^s (\Delta L_{S(j-k)})^2} \quad (28)$$

取标准偏差最大值 $s(\Delta L)_{max}$ 作为激光扫描仪空间距离示值误差的评估结果。

一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法

技术领域

[0001] 本发明公开了一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,属于大地测量技术领域。

背景技术

[0002] 现有技术中,利用基线的方法做仪器指标评估时,为保证测得的距离是基线的实际距离,需要严格要求仪器对中整平、仪器和目标之间的高度保持一致以及要求地面平整等条件,使得操作的复杂化;利用激光干涉仪测量到球形靶标的距离,需要有高精度的直线导轨和特定的场地,花费的成本较高;利用全站仪等传统单点测量仪器观测球形靶标的方法,如果只是测量球形靶标表面少量点,则拟合球面得到的球心坐标不精确,如果测量的点较多,则时间成本较大;利用不同位置、不同高度扫描仪扫描不同高度的目标物,不仅靶标的布设比较复杂,还需要改变扫描仪的高度,实验中误差出现的概率增加;另外,现有技术中对于靶标中心坐标的拟合,仅仅是基于部分球面而没有其它约束条件,拟合的中心坐标不精确。此外,利用经纬仪等类似仪器获取参考数据的操作流程也较为复杂,数据的精度不够高;或者是利用其它固定结构式靶标的方法来进行指标评估,均对实验环境和靶标结构构造等方面均有要求,实际操作效率低,难度大。整体上来说,现有技术需要诸多外部约束满足的情况下才能完成指标评估。

发明内容

[0003] 本发明提出了一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,解决现有技术中靶标中心坐标的拟合约束条件较少,导致精度偏低的问题。

[0004] 一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,包括:

[0005] S1.采集靶标球点云数据;

[0006] S2.基于半径约束的球型拟合算法获取靶标球中心坐标;

[0007] S3.使用测量设备获取靶标球中心坐标;

[0008] S4.基于三维坐标变换模型计算参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数;

[0009] S5.评估激光扫描仪的多项指标;

[0010] S5.1.评估激光扫描仪的径向重复性和标靶重复性;

[0011] S5.2.评估激光扫描仪的径向距离示值误差;

[0012] S5.3.评估激光扫描仪的空间距离示值误差。

[0013] 优选地,步骤S1包括:

[0014] 在试验场内布设多个靶标球,每个靶标球到激光扫描仪的距离不相同,且每个靶标球架设高度不相同,保证靶标球在试验场呈空间分布,同时架设激光扫描仪,利用激光扫描仪对试验场中的靶标球进行重复测量,获取多组点云数据。

[0015] 优选地,步骤S2包括:

[0016] 设与激光扫描仪固连的坐标系为扫描仪坐标系,利用手工或软件提取步骤S1获取

的点云数据中的靶标球,靶标球的半径已知为 r ,设单个靶标球的点云数据中有 n 个点,每个点的坐标为 $(x_i, y_i, z_i), i = 1 \dots n$,在此基础上建立空间球面方程:

$$[0017] \quad (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = r^2 \quad (1)$$

[0018] 其中, $(x, y, z), r$ 分别为球心坐标和半径;

[0019] 对(1)式展开并移项可得:

$$[0020] \quad x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 = 2x_i x + 2y_i y + 2z_i z + (r^2 - x^2 - y^2 - z^2) \quad (2)$$

[0021] 记:

$$[0022] \quad A = \begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 2z_1 & 1 \\ 2x_2 & 2y_2 & 2z_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2x_n & 2y_n & 2z_n & 1 \end{bmatrix}, \vec{b} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ r^2 - x^2 - y^2 - z^2 \end{bmatrix}, \vec{Y} = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 \\ \vdots \\ x_n^2 + y_n^2 + z_n^2 \end{bmatrix}$$

[0023] 按下式求解超定方程(2):

$$[0024] \quad \vec{b} = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (3)$$

[0025] 经计算即可得到 x, y, z, r 的值,即得到扫描仪坐标系下靶标球中心坐标的近似值 (x', y', z') 和靶标球半径的近似值 r' ;

[0026] 构造函数

$$[0027] \quad G = g(x, y, z, r) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - r,$$

[0028] 对函数在 (x_0, y_0, z_0, r_0) 处进行线性化,令

$$[0029] \quad \varepsilon_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}, \quad g_i = g(x_0, y_0, z_0, r_0), \quad \hat{x} = x - x_0,$$

$\hat{y} = y - y_0, \hat{z} = z - z_0, \hat{r} = r - r_0$,得到:

$$[0030] \quad g_i - \frac{(x_i - x_0)\hat{x} + (y_i - y_0)\hat{y} + (z_i - z_0)\hat{z}}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}} - \hat{r} = 0 \quad (4)$$

[0031] 其中, r_0 为靶标球半径的设计值,设靶标球的半径约束方程为:

$$[0032] \quad \hat{r} + r_0 = r \quad (5)$$

[0033] 利用间接平差,将(4)式和(5)式联立并写成改正数的形式,得到:

$$[0034] \quad \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x_0 - x_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(y_0 - y_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(z_0 - z_i)}{\varepsilon_i} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} - g_i \quad (6)$$

$$V_r = \hat{r} - (r' - r_0) \quad (7)$$

[0035] V_x 、 V_y 、 V_z 、 V_r 分别是 x 、 y 、 z 、 r 对应的改正数,联立(6)式和(7)式可得:

$$[0036] \quad \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \\ V_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x_0 - x_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(y_0 - y_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(z_0 - z_i)}{\varepsilon_i} & -1 \\ \frac{\varepsilon_i}{0} & \frac{\varepsilon_i}{0} & \frac{\varepsilon_i}{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_i \\ r' - r_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0037] 对(8)式运用间接平差进行参数求解,令 $m = n + 1$,其中:

$$[0038] \quad B_{m \times 4} = \begin{bmatrix} \frac{(x_0 - x_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(y_0 - y_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(z_0 - z_i)}{\varepsilon_i} & -1 \\ \frac{\varepsilon_i}{0} & \frac{\varepsilon_i}{0} & \frac{\varepsilon_i}{0} & 1 \end{bmatrix}, P_{m \times m} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 100 \end{bmatrix}, l_{m \times 1} = \begin{bmatrix} g_i \\ r' - r_0 \end{bmatrix}$$

[0039] 得到:

$$[0040] \quad \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} = (B^T P B)^{-1} B^T P l \quad (9)$$

[0041] 计算平差后的值:

$$[0042] \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ r_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0043] 即得到基于半径约束的球型拟合算法获取的靶标球中心坐标的测量值 (x, y, z) 和靶标球半径 r 。

[0044] 优选地,S3包括:

[0045] 以工业测量系统为基础,工业测量系统基于空间前方交会利用两台经纬仪进行坐标量测,设与工业测量系统固连的坐标系为参考坐标系,得到参考坐标系下靶标球中心坐标的参考值。

[0046] 优选地,S4包括:

[0047] 设由步骤S2得到扫描仪坐标系下的 i 个靶标球中心坐标为 (x_{1i}, y_{1i}, z_{1i}) ,由步骤S3得到参考坐标系下的 i 个靶标球中心坐标为 (x_{2i}, y_{2i}, z_{2i}) ,基于方向余弦的三维坐标变换模型计算参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数,则有:

$$[0048] \quad \begin{bmatrix} x_{1i} \\ y_{1i} \\ z_{1i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{2i} \\ y_{2i} \\ z_{2i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0049] 其中, $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ 为方向余弦, X_0, Y_0, Z_0 为扫描仪坐标系原点相对于参考坐标系原点在 X, Y, Z 方向上的平移值;

[0050] 由于上述9个方向余弦构成的矩阵为正交矩阵, 通过3个方向余弦值推算其它6个方向余弦值, 通过3组以上的靶标球中心坐标利用最小二乘法即可求解式(11)中各参数的值, 即得到参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数。

[0051] 优选地, 径向重复性和标靶重复性具体为, 基于扫描仪对单个目标物的重复测量; 径向距离示值误差和空间距离示值误差具体为, 依靠参考值和测量值进行对比。

[0052] 优选地, S5.1包括:

[0053] 通过激光扫描仪对单个靶标球重复测量 n 次, 得到单个靶标球的 n 组点云数据, 其中 $n \geq 10$, 由步骤S2计算得到单个靶标球的 n 组中心坐标 (x_i, y_i, z_i) , 其中 $i = 1 \dots n$, 计算单个靶标球到激光扫描仪的 n 组绝对距离 D_i :

$$[0054] \quad D_i = \sqrt{(x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)} \quad (12)$$

[0055] 对 n 组绝对距离求平均值 \bar{D} 以及 n 组中心坐标的分量分别求平均值 \bar{x} :

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n D_i \quad (13)$$

$$[0056] \quad \bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i, \bar{z} = \sum_{i=1}^n z_i \quad (14)$$

[0057] 求取每组靶标球的中心点位偏差 δ_i :

$$[0058] \quad \delta_i = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2} \quad (15)$$

[0059] 评估径向重复性 $S(D)$:

$$[0060] \quad S(D) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} \quad (16)$$

[0061] 评估标靶重复性 $S(\delta)$:

$$[0062] \quad S(\delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta^2}{n}} \quad (17)$$

[0063] 优选地, S5.2包括:

[0064] 选取试验场中一个靶标球作为基准靶标球, m 个靶标球作为投影靶标球, 基准靶标球和投影靶标球的选取原则: 选取距离激光扫描仪最近的靶标球作为基准靶标球, 选取距离基准靶标球较近的多个靶标球作为投影靶标球;

[0065] 通过激光扫描仪对靶标球重复测量 n 次, 由步骤S2得到基准靶标球中心坐标的测量值 (x_{s0}, y_{s0}, z_{s0}) 和投影靶标球中心坐标的测量值 (x_{sj}, y_{sj}, z_{sj}) , 其中 $j = 1, 2 \dots n$, $s = 1, 2 \dots m$, 由步骤S3得到基准靶标球中心坐标的参考值 (x_0, y_0, z_0) 和投影靶标球中心坐标的参考值 (x_s, y_s, z_s) ;

[0066] 基于测量值计算基准靶标球中心到激光扫描仪中心的绝对距离 L_{s0} :

$$[0067] \quad L_{s0} = \sqrt{(x_{s0}^2 + y_{s0}^2 + z_{s0}^2)} \quad (18)$$

[0068] 基于测量值计算投影靶标球中心到激光扫描仪中心的绝对距离 L_{sj} :

$$[0069] \quad L_{sj} = \sqrt{(x_{sj}^2 + y_{sj}^2 + z_{sj}^2)} \quad (19)$$

[0070] 将投影靶标球中心坐标的测量值投影到激光扫描仪中心与基准靶标球中心的连线, 该连线在激光扫描仪的径向上, 设激光扫描仪中心坐标为 $(0,0,0)$, 则 L_{sj} 在 L_{s0} 的方向上的投影 L'_{sj} 为:

$$[0071] \quad L'_{sj} = \frac{x_{s0} * x_{sj} + y_{s0} * y_{sj} + z_{s0} * z_{sj}}{\sqrt{x_{s0}^2 + y_{s0}^2 + z_{s0}^2}} \quad (20)$$

[0072] 则激光扫描仪径向上相对距离的测量值 $L_{\Delta j}$ 为:

$$[0073] \quad L_{\Delta j} = L'_{sj} - L_{s0} \quad (21)$$

[0074] 再根据步骤S4计算参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数, 将基准靶标球和投影靶标球中心坐标的参考值代入式(11), 得到激光扫描仪坐标系下基准靶标球和投影靶标球转换后的中心坐标的参考值 (x_0', y_0', z_0') 和 (x_s', y_s', z_s') :

$$[0075] \quad \begin{bmatrix} x_0' \\ y_0' \\ z_0' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

根据

$$\begin{bmatrix} x_s' \\ y_s' \\ z_s' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

上述两式的结果按照式(18)、式(19)、式(20)和式(21)的步骤依次进行计算,得到激光扫描仪径向上相对距离的参考值 L_c ,最后计算径向距离示值误差 ΔL_s :

$$[0076] \quad \Delta L_s = L_{\Delta j} - L_c \quad (24)$$

[0077] 取 n 次重复测量得到的径向距离示值误差的最大值

$\Delta L_{max} = \max(\Delta L_{s1}, \Delta L_{s2} \dots \Delta L_{sn})$ 作为激光扫描仪径向距离示值误差的评估结果。

[0078] 优选地,S5.3包括:

[0079] 通过激光扫描仪对靶标球重复测量 s 次,其中 $s \geq 3$,由步骤S2得到 n 个靶标球中心坐标的测量值 (x_i, y_i, z_i) , $i = 1, 2 \dots n$,由步骤S3得到 n 个靶标球中心坐标的参考值 (x_{si}, y_{si}, z_{si}) ,

[0080] 基于参考值计算多个靶标球两两之间空间距离的参考值 $L_{s(j-k)}$,其中 j 和 k 为靶标球的序号:

$$[0081] \quad L_{s(j-k)} = \sqrt{(x_{sj} - x_{sk})^2 + (y_{sj} - y_{sk})^2 + (z_{sj} - z_{sk})^2} \quad (25)$$

[0082] 基于测量值计算多个靶标球两两之间空间距离的测量值 L_{j-k} :

$$[0083] \quad L_{j-k} = \sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2 + (z_j - z_k)^2} \quad (26)$$

[0084] 基于多个靶标球两两之间空间距离的测量值和参考值计算空间距离示值误差 $\Delta L_{s(j-k)}$:

$$[0085] \quad \Delta L_{s(j-k)} = L_{j-k} - L_{s(j-k)} \quad (27)$$

[0086] 计算空间距离示值误差的标准偏差:

$$[0087] \quad s(\Delta L) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^s (\Delta L_{s(j-k)})^2} \quad (28)$$

[0088] 取标准偏差最大值 $s(\Delta L)_{max}$ 作为激光扫描仪空间距离示值误差的评估结果。

[0089] 与现有技术对比,本发明的有益效果是:本发明摆脱了现有技术对于场地的固定需求,实现了在任意场地下进行实验,在激光扫描仪获取靶标表面大量三维坐标的基础上,基于半径约束的球型拟合算法得到球心坐标,极大提高了提取靶标中心坐标的精度;参考数据的获取设备的测量精度只要高于激光扫描仪,即可使用,并不需要特定的仪器或集成化的装置,节约成本的同时扩大了适用场景;在实验时通常固定扫描仪的位置,减少了激光扫描仪的因移动而导致的误差;选取的球型靶标由于各向异性更加稳定可靠,使得采集的点云密度均匀、数量合适;操作流程简单,能较为高效地完成对激光扫描仪精度评定。

附图说明

[0090] 图1为本发明的工业测量系统测量获取靶标球中心坐标的示意图;

[0091] 图2为本发明的评估径向距离示值误差的示意图;

[0092] 图3为本发明的评估空间距离示值误差的示意图;

[0093] 图4为本发明的技术流程图;

[0094] 附图标记包括:A为扫描仪与第一个靶标球连接投影方向,1-工业测量系统,2-A的仪器中心,3-B的仪器中心,4-扫描仪,5-扫描仪测量的靶标球,6-沿周向均匀布设的靶标球。

具体实施方式

[0095] 下面结合附图以及具体实施方式对本发明作进一步详细说明:

[0096] 首先给出与本发明相关得几个技术术语的名词解释:

[0097] 靶标:指具有几何中心并可以用以校准的扫描目标;

[0098] 绝对距离:指仪器内部坐标系的原点(距离测量的起算点)到靶标中心之间的距离;

[0099] 相对距离:指靶标中心之间的距离;

[0100] 参考距离:指作为参考值的靶标中心之间的距离;

[0101] 激光扫描仪:主要是由激光测距系统、激光扫描系统、控制系统、电源供应系统及附件等部分组成,可快速、大量地采集空间点位信息,建立扫描目标地三维点云模型。

[0102] 一种空间多靶标布设的激光扫描仪指标评估方法,如图4,包括:

[0103] S1:采集靶标球点云数据;

[0104] S2:基于半径约束的球型拟合算法获取靶标球中心坐标;

[0105] S3:高精度设备获取靶标球中心坐标;

[0106] S4:基于三维坐标变换模型计算参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数;

[0107] S5:评估激光扫描仪的多项指标;

[0108] S5.1 评估激光扫描仪的径向重复性和标靶重复性;

[0109] S5.2 评估激光扫描仪的径向距离示值误差;

[0110] S5.3 评估激光扫描仪的空间距离示值误差;

[0111] 所述步骤S1中采集靶标球点云数据包括:在试验场内布设多个靶标球,每个靶标

球到激光扫描仪的距离不相同,且每个靶标球架设高度不相同,保证了靶标球在试验场呈空间分布,同时架设激光扫描仪,利用激光扫描仪对试验场中的靶标球进行重复测量,获取多组点云数据。

[0112] 步骤S2包括:

[0113] 设与激光扫描仪固连的坐标系为扫描仪坐标系,利用手工或软件提取步骤S1获取的点云数据中的靶标球,靶标球的半径已知为 r ,设单个靶标球的点云数据中有 n 个点,每个点的坐标为 $(x_i, y_i, z_i), i = 1 \dots n$,在此基础上建立空间球面方程:

$$[0114] \quad (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = r^2 \quad (1)$$

[0115] 其中, $(x, y, z), r$ 分别为球心坐标和半径;

[0116] 对(1)式展开并移项可得:

$$[0117] \quad x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 = 2x_i x + 2y_i y + 2z_i z + (r^2 - x^2 - y^2 - z^2) \quad (2)$$

[0118] 记:

$$[0119] \quad A = \begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 2z_1 & 1 \\ 2x_2 & 2y_2 & 2z_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2x_n & 2y_n & 2z_n & 1 \end{bmatrix}, \vec{b} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ r^2 - x^2 - y^2 - z^2 \end{bmatrix}, \vec{Y} = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 \\ \vdots \\ x_n^2 + y_n^2 + z_n^2 \end{bmatrix}$$

[0120] 按下式求解超定方程(2):

$$[0121] \quad \vec{b} = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (3)$$

[0122] 经计算即可得到 x, y, z, r 的值,即得到扫描仪坐标系下靶标球中心坐标的近似值 (x', y', z') 和靶标球半径的近似值 r' ;

[0123] 构造函数

$$[0124] \quad G = g(x, y, z, r) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - r,$$

[0125] 对函数在 (x_0, y_0, z_0, r_0) 处进行线性化,令

$$[0126] \quad \varepsilon_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}, \quad g_i = g(x_0, y_0, z_0, r_0), \quad \hat{x} = x - x_0,$$

$\hat{y} = y - y_0, \hat{z} = z - z_0, \hat{r} = r - r_0$, 得到:

$$[0127] \quad g_i - \frac{(x_i - x_0)\hat{x} + (y_i - y_0)\hat{y} + (z_i - z_0)\hat{z}}{\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}} - \hat{r} = 0 \quad (4)$$

[0128] 其中, r_0 为靶标球半径的设计值,设靶标球的半径约束方程为:

$$[0129] \quad \hat{r} + r_0 = r \quad (5)$$

[0130] 利用间接平差,将(4)式和(5)式联立并写成改正数的形式,得到:

$$[0131] \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x_0 - x_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(y_0 - y_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(z_0 - z_i)}{\varepsilon_i} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} - g_i \quad (6)$$

$$V_r = \hat{r} - (r' - r_0) \quad (7)$$

[0132] V_x 、 V_y 、 V_z 、 V_r 分别是 x 、 y 、 z 、 r 对应的改正数,联立(6)式和(7)式可得:

$$[0133] \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \\ V_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(x_0 - x_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(y_0 - y_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(z_0 - z_i)}{\varepsilon_i} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} g_i \\ r' - r_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0134] 对(8)式运用间接平差进行参数求解,令 $m = n + 1$,其中:

$$[0135] B_{m \times 4} = \begin{bmatrix} \frac{(x_0 - x_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(y_0 - y_i)}{\varepsilon_i} & \frac{(z_0 - z_i)}{\varepsilon_i} & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, P_{m \times m} = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 100 \end{bmatrix}, l_{m \times 1} = \begin{bmatrix} g_i \\ r' - r_0 \end{bmatrix}$$

[0136] 得到:

$$[0137] \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} = (B^T P B)^{-1} B^T P l \quad (9)$$

[0138] 计算平差后的值:

$$[0139] \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ r_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \\ \hat{r} \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0140] 即得到基于半径约束的球型拟合算法获取的靶标球中心坐标的测量值 (x, y, z) 和靶标球半径 r 。

[0141] 所述步骤S3中高精度设备获取靶标球中心坐标包括:

[0142] 以工业测量系统1为例,工业测量系统1基于空间前方交会利用两台经纬仪进行坐标量测,设与工业测量系统1固连的坐标系为参考坐标系,得到参考坐标系下靶标球中心坐标(定义为靶标球中心坐标的参考值)。如图1,工业测量系统1基于空间前方交会利用两台经纬仪进行坐标量测,设两台经纬仪分别为A、B,以A的仪器中心2为坐标原点建立坐标系,A、B中心连线的水平投影为X轴,投影线长度为 b ,A、B之间的高差为 h ,A的仪器中心2的铅垂线方向为Z轴,用右手法则确定Y轴;

[0143] 优选地,S3包括:

[0144] 以工业测量系统为基础,工业测量系统基于空间前方交会利用两台经纬仪进行坐标量测,设与工业测量系统固连的坐标系为参考坐标系,得到参考坐标系下靶标球中心坐标的参考值。

[0145] 优选地,S4包括:

[0146] 设由步骤S2得到扫描仪坐标系下的*i*个靶标球中心坐标为 (x_{1i}, y_{1i}, z_{1i}) ,由步骤S3得到参考坐标系下的*i*个靶标球中心坐标为 (x_{2i}, y_{2i}, z_{2i}) ,基于方向余弦的三维坐标变换模型计算参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数,则有:

$$[0147] \quad \begin{bmatrix} x_{1i} \\ y_{1i} \\ z_{1i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{2i} \\ y_{2i} \\ z_{2i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0148] 其中, $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ 为方向余弦, X_0, Y_0, Z_0 为扫描仪坐标系原点相对于参考坐标系原点在 X, Y, Z 方向上的平移值;

[0149] 由于上述9个方向余弦构成的矩阵为正交矩阵,通过3个方向余弦值推算其它6个方向余弦值,通过3组以上的靶标球中心坐标利用最小二乘法即可求解式(11)中各参数的值,即得到参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数。

[0150] 优选地,径向重复性和标靶重复性具体为,基于扫描仪对单个目标物的重复测量;径向距离示值误差和空间距离示值误差具体为,依靠参考值和测量值进行对比。

[0151] 所述评估激光扫描仪径向重复性和标靶重复性包括:

[0152] 如图2,按照获取径向重复性和标靶重复性的过程,安置扫描仪4和扫描仪测量的靶球5,所述扫描仪测量的靶球5包括多个,在此基础上,在扫描仪4与第一个靶球连线的大致投影方向上,且距离第一个靶球一定距离处,安置第二个靶球,同时调节三脚架的高度,使其与扫描仪4大致同一高度,在距离两靶球一定距离处安置工业测量系统1,同时在场地中额外安置*n*个靶球,利用七参数法计算工业测量系统1坐标系到扫描仪坐标系的转换关系;

[0153] 优选地,S5.1包括:

[0154] 通过激光扫描仪对单个靶标球重复测量*n*次,得到单个靶标球的*n*组点云数据,其中*n* ≥ 10,由步骤S2计算得到单个靶标球的*n*组中心坐标 (x_i, y_i, z_i) ,其中*i* = 1 ... *n*,计算单个靶标球到激光扫描仪的*n*组绝对距离 D_i :

$$[0155] \quad D_i = \sqrt{(x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)} \quad (12)$$

[0156] 对*n*组绝对距离求平均值 \bar{D} 以及*n*组中心坐标的分量分别求平均值 \bar{x} :

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n D_i \quad (13)$$

[0157]

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i, \bar{z} = \sum_{i=1}^n z_i \quad (14)$$

[0158] 求取每组靶标球的中心点位偏差 δ_i :

$$\delta_i = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2} \quad (15)$$

[0160] 评估径向重复性 $S(D)$:

$$S(D) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}} \quad (16)$$

[0162] 评估标靶重复性 $S(\delta)$:

$$S(\delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta^2}{n}} \quad (17)$$

[0164] 所述评估激光扫描仪径向距离示值误差如图3,在实验场地内均匀布设 n 个靶球,通过调节三脚架的高度,使各个靶球的高度不同,并且在靶球布置均匀的基础上,使各个靶球与仪器的水平距离保持不同,在场地中间位置安置扫描仪4,同时在场地中安置工业测量系统1,要求靶球之间无遮挡,保证靶球在扫描仪4和工业测量系统1的测量范围内,例如可以设置沿周向布设的靶球6,用工业测量系统1重复测量 s 次各靶球,其中 $s \geq 3$;

[0165] 优选地,S5.2包括:

[0166] 选取试验场中一个靶标球作为基准靶标球, m 个靶标球作为投影靶标球,基准靶标球和投影靶标球的选取原则:选取距离激光扫描仪最近的靶标球作为基准靶标球,选取距离基准靶标球较近的多个靶标球作为投影靶标球;

[0167] 通过激光扫描仪对靶标球重复测量 n 次,由步骤S2得到基准靶标球中心坐标的测量值 (x_{s0}, y_{s0}, z_{s0}) 和投影靶标球中心坐标的测量值 (x_{sj}, y_{sj}, z_{sj}) ,其中 $j = 1, 2 \dots n$,
 $s = 1, 2 \dots m$,由步骤S3得到基准靶标球中心坐标的参考值 (x_0, y_0, z_0) 和投影靶标球中心坐标的参考值 (x_s, y_s, z_s) ;

[0168] 基于测量值计算基准靶标球中心到激光扫描仪中心的绝对距离 L_{s0} :

$$L_{s0} = \sqrt{(x_{s0}^2 + y_{s0}^2 + z_{s0}^2)} \quad (18)$$

[0170] 基于测量值计算投影靶标球中心到激光扫描仪中心的绝对距离 L_{sj} :

$$[0171] \quad L_{sj} = \sqrt{(x_{sj}^2 + y_{sj}^2 + z_{sj}^2)} \quad (19)$$

[0172] 将投影靶标球中心坐标的测量值投影到激光扫描仪中心与基准靶标球中心的连线,该连线在激光扫描仪的径向上,设激光扫描仪中心坐标为(0,0,0),则 L_{sj} 在 L_{s0} 的方向上的投影 L'_{sj} 为:

$$[0173] \quad L'_{sj} = \frac{x_{s0} * x_{sj} + y_{s0} * y_{sj} + z_{s0} * z_{sj}}{\sqrt{x_{s0}^2 + y_{s0}^2 + z_{s0}^2}} \quad (20)$$

[0174] 则激光扫描仪径向上相对距离的测量值 $L_{\Delta j}$ 为:

$$[0175] \quad L_{\Delta j} = L'_{sj} - L_{s0} \quad (21)$$

[0176] 再根据步骤S4计算参考坐标系到扫描仪坐标系的转换参数,将基准靶标球和投影靶标球中心坐标的参考值代入式(11),得到激光扫描仪坐标系下基准靶标球和投影靶标球转换后的中心坐标的参考值 (x_0', y_0', z_0') 和 (x_s', y_s', z_s') :

$$[0177] \quad \begin{bmatrix} x_0' \\ y_0' \\ z_0' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

根据

$$\begin{bmatrix} x_s' \\ y_s' \\ z_s' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

上述两式的结果按照式(18)、式(19)、式(20)和式(21)的步骤依次进行计算,得到激光扫描仪径向上相对距离的参考值 L_c ,最后计算径向距离示值误差 ΔL_s :

$$[0178] \quad \Delta L_s = L_{\Delta j} - L_c \quad (24)$$

[0179] 取 n 次重复测量得到的径向距离示值误差的最大值

$\Delta L_{max} = \max(\Delta L_{s1}, \Delta L_{s2} \dots \Delta L_{sn})$ 作为激光扫描仪径向距离示值误差的评估结果。

[0180] 优选地,S5.3包括:

[0181] 通过激光扫描仪对靶标球重复测量 s 次,其中 $s \geq 3$,由步骤S2得到 n 个靶标球中心坐标的测量值 (x_i, y_i, z_i) , $i = 1, 2 \dots n$,由步骤S3得到 n 个靶标球中心坐标的参考值 (x_{si}, y_{si}, z_{si}) ,

[0182] 基于参考值计算多个靶标球两两之间空间距离的参考值 $L_{s(j-k)}$,其中 j 和 k 为靶标球的序号:

$$[0183] \quad L_{s(j-k)} = \sqrt{(x_{sj} - x_{sk})^2 + (y_{sj} - y_{sk})^2 + (z_{sj} - z_{sk})^2} \quad (25)$$

[0184] 基于测量值计算多个靶标球两两之间空间距离的测量值 L_{j-k} :

$$[0185] \quad L_{j-k} = \sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2 + (z_j - z_k)^2} \quad (26)$$

[0186] 基于多个靶标球两两之间空间距离的测量值和参考值计算空间距离示值误差 $\Delta L_{s(j-k)}$:

$$[0187] \quad \Delta L_{s(j-k)} = L_{j-k} - L_{s(j-k)} \quad (27)$$

[0188] 计算空间距离示值误差的标准偏差:

$$[0189] \quad s(\Delta L) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^s (\Delta L_{s(j-k)})^2} \quad (28)$$

[0190] 取标准偏差最大值 $s(\Delta L)_{max}$ 作为激光扫描仪空间距离示值误差的评估结果。当然,上述说明并非是对本发明的限制,本发明也并不仅限于上述举例,本技术领域的技术人员在本发明的实质范围内所做出的变化、改型、添加或替换,也应属于本发明的保护范围。

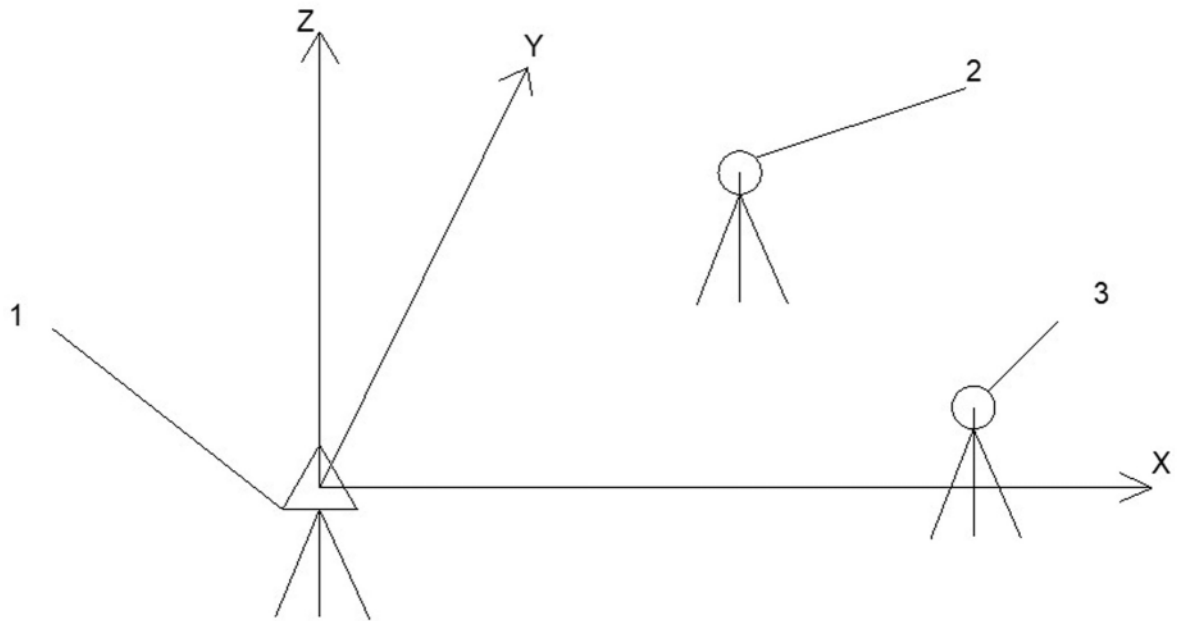


图 1

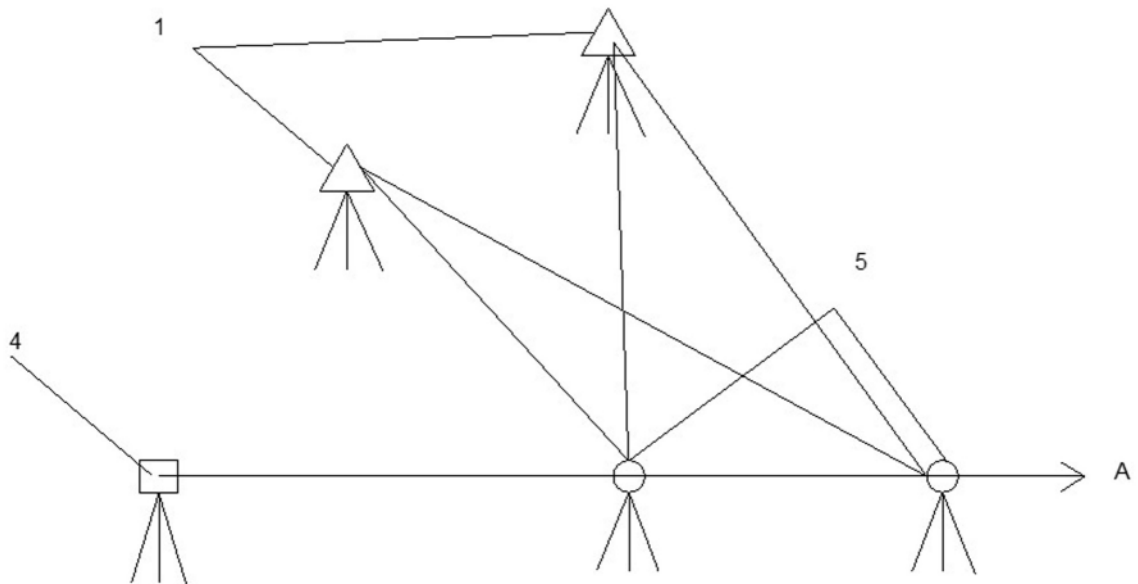


图 2

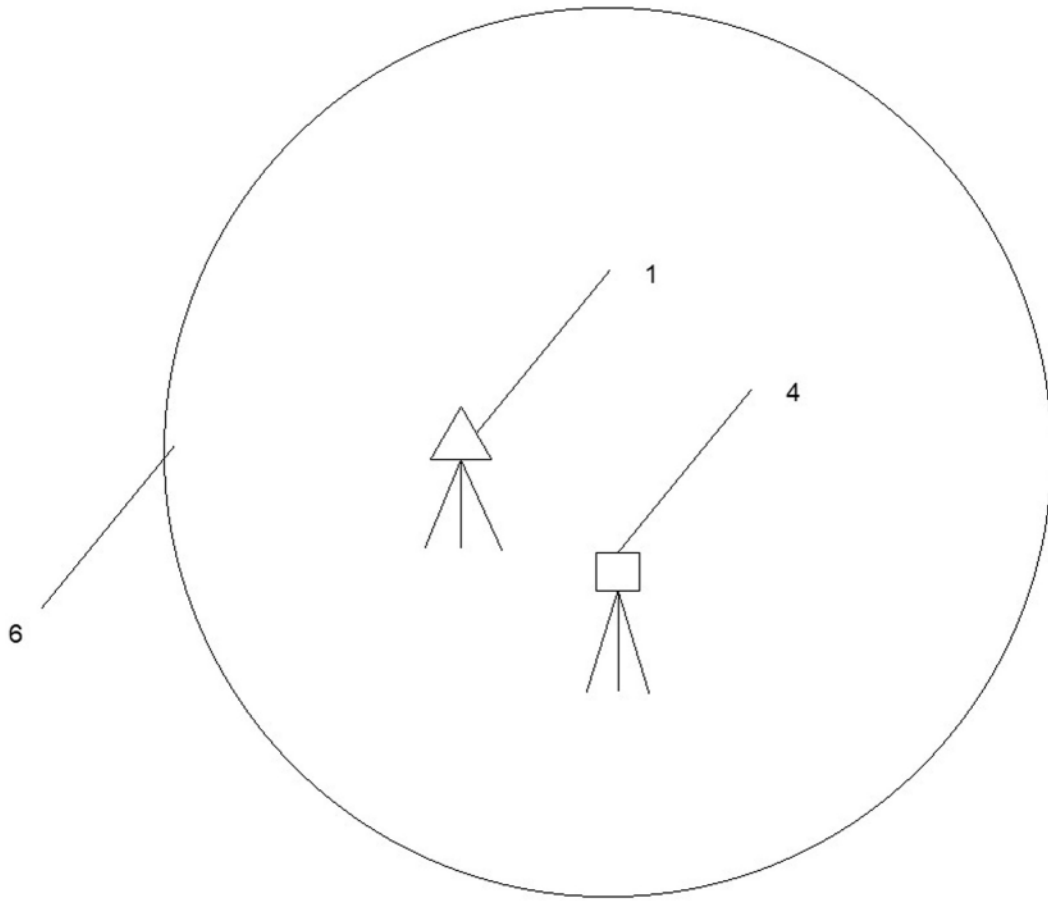


图 3

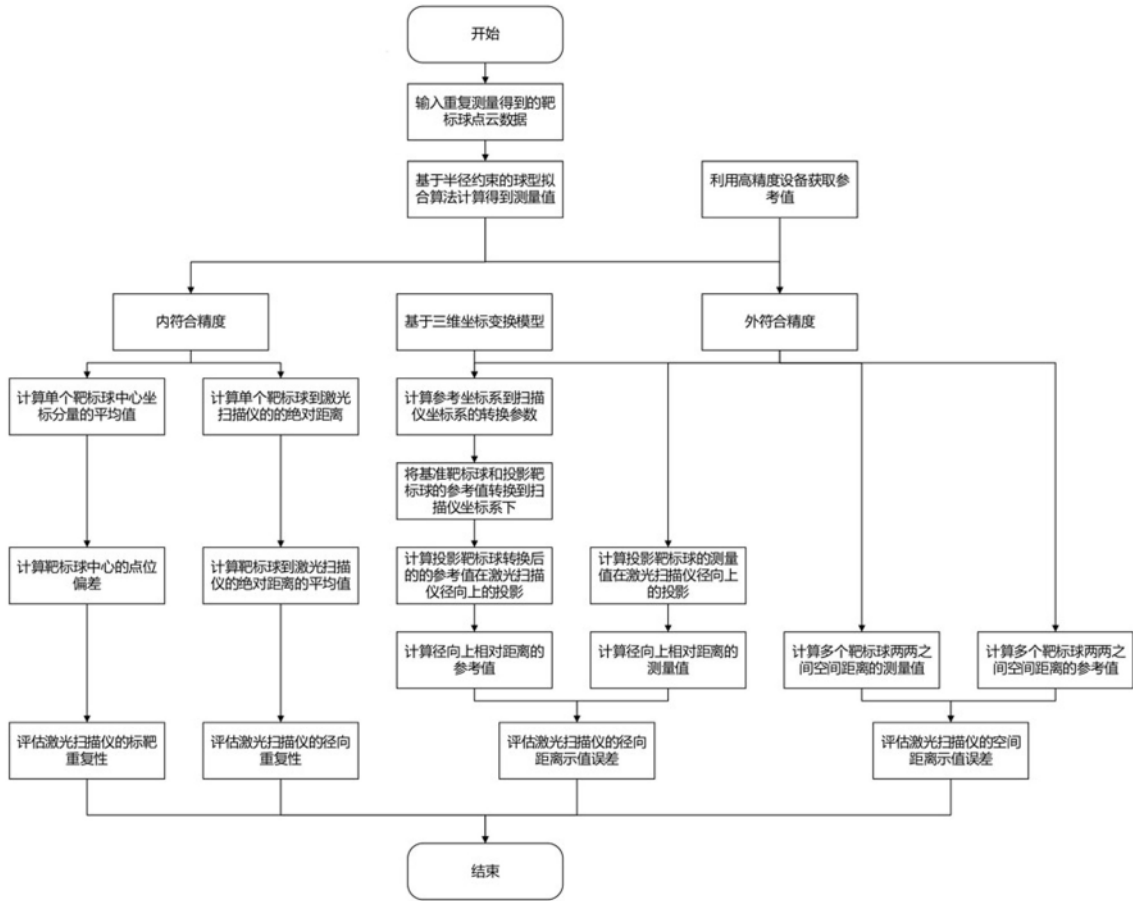


图 4