



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118009878 A

(43) 申请公布日 2024.05.10

(21) 申请号 202410079102.0

(22) 申请日 2024.01.19

(71) 申请人 成都飞机工业(集团)有限责任公司
地址 610092 四川省成都市青羊区黄田坝
纬一路88号

(72) 发明人 杜微 黄玉璐 缪东晶 孔歌星
李建双 刘小翠 梁楚彦 黄道勤

(74) 专利代理机构 成都君合集专利代理事务所
(普通合伙) 51228
专利代理师 尹新路

(51) Int. Cl.

G01B 11/00 (2006.01)

G06F 17/10 (2006.01)

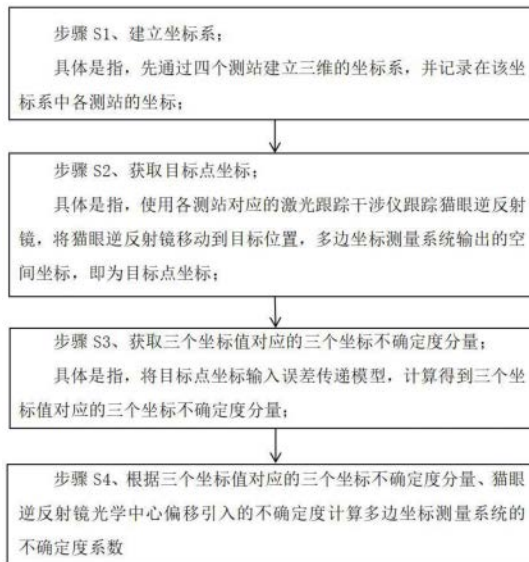
权利要求书2页 说明书12页 附图2页

(54) 发明名称

一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法、系统、设备及介质

(57) 摘要

本发明属于外形尺寸测量技术领域,具体涉及一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法、系统、设备及介质。所述方法,将获取的目标点坐标输入误差传递模型获得坐标值对应的三个坐标不确定度分量,再结合反射镜光学中心偏移引入的不确定度,计算多边坐标测量系统的不确定度系数,进行不确定度评价。本发明从多边坐标测量系统基本原理入手,简化系统坐标系从而缩减参数,可减小计算量,并给出具体数学解析式,有利于测量现场的快速评估,同时便于计量人员学习与运用。



1. 一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法,对由4个台激光跟踪干涉仪及一个反射镜组成的大尺寸多边坐标测量系统进行不确定度评价,一台激光跟踪干涉仪作为一个测站,用于构建三维的坐标系;其特征在于:所述方法将获取的目标点坐标输入误差传递模型获得坐标值对应的三个坐标不确定度分量,再结合反射镜光学中心偏移引入的不确定度,计算多边坐标测量系统的不确定度系数,进行不确定度评价。

2. 根据权利要求1所述的一种线缆屏蔽效能测量方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

步骤S1、建立坐标系;

具体是指,先通过四个测站建立三维的坐标系,并记录在该坐标系中各测站的坐标;

步骤S2、获取目标点坐标;

具体是指,使用各测站对应的激光跟踪干涉仪跟踪反射镜,将反射镜移动到目标位置,多边坐标测量系统输出的空间坐标,即为目标点坐标;

步骤S3、获取三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量;

具体是指,将目标点坐标输入误差传递模型,计算得到三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量;

步骤S4、根据三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量、反射镜光学中心偏移引入的不确定度计算多边坐标测量系统的不确定度系数。

3. 根据权利要求2所述的一种线缆屏蔽效能测量方法,其特征在于,所述步骤S3中误差传递模型根据各测站的坐标、各测站与目标点的实际距离、各测站的测距不确定度计算三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量。

4. 根据权利要求3所述的一种线缆屏蔽效能测量方法,其特征在于,所述步骤S3中各测站与目标点的实际距离通过以下方法获得:先获取反射镜在初始点时各测站与初始点之间的距离;然后,移动反射镜到N个离散的不同的测量点,各测站跟踪反光镜从初始点移动到测量点,并测得各测站与初始点、测量点二者长度之差,记为长度增量 $d1_{pk}$;最后,各测站与初始点的距离与长度增量 $d1_{pk}$ 之和即为各测站与目标点的实际距离;所述N大于10。

5. 根据权利要求3所述的一种线缆屏蔽效能测量方法,其特征在于,所述步骤S3中各测站的测距不确定度根据激光跟踪干涉仪自身的测量不确定度、环境补偿不全所引入的不确定度进行计算。

6. 根据权利要求3所述的一种线缆屏蔽效能测量方法,其特征在于,所述步骤S4中多边坐标测量系统的不确定度系数通过坐标系中X、Y、Z三轴对应的三个不确定度分量 u_x 、 u_y 、 u_z 以及反射镜光学中心偏移引入的不确定度 u_b 四个参数分别平方后求和再开根号。

7. 根据权利要求3-6任一项所述的一种线缆屏蔽效能测量方法,其特征在于,所述反射镜为猫眼逆反射镜。

8. 一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价系统,其特征在于,包括误差传递模型,用于在如权利要求1-7任一项所述的方法中实现获得坐标值对应的三个坐标不确定度分量的作用。

9. 一种电子设备,其特征在于,包括存储器和处理器;所述存储器上存储有计算机程序;当所述计算机程序在所述处理器上执行时,实现如权利要求1-7任一项所述的不确定度评价方法。

10. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质上存储有计算机指令;当所述计算机指令在如权利要求9所述的电子设备上执行时,实现如权利要求1-7任一项所述的不确定度评价方法。

一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法、系统、设备及介质

技术领域

[0001] 本发明属于外形尺寸测量技术领域,具体涉及一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法、系统、设备及介质。

背景技术

[0002] 航空航天、轨道交通、船舶以及风能等几米至上百米的大尺寸装备制造的生产质量需要通过高精度大尺寸测量技术进行保证。为满足各类结构大尺寸零部件测量精度需求,目前已发展了多种大尺寸坐标测量系统,包括3坐标机、多边坐标测量系统、激光跟踪绝对测距仪、近景摄影测量系统、室内定位系统(indoor Global Positioning System:iGPS)、室内空间测量定位系统(workspace Measuring and Positioning System:wMPS)等,其中多边坐标测量系统具有最高的理论精度且具有柔性,大范围的优点。

[0003] 多边坐标测量系统的测量不确定度是指系统对某个被测位置的测量分散程度。非线性、多输入量的系统不确定度评价方法有不确定度传播定律法和蒙特卡洛法两类。不确定度传播定律法是通过求解测量不确定度系数,从而评估各项间输入量对结果的影响,具有方便快捷的优势。现有技术中,如孙威等人在《多边法坐标测量系统中解算方式对测量精度的影响研究》中公开:与同步解算方式相比较,预先准确标定系统参数方式能有效提升测量精度。但孙威等人在技术文献中提及的方法仅考虑了系统参数标定过程一个变量,并未对整个测量系统的不确定度评定方法提出方案,而大尺寸多边坐标测量系统的输出结果是多维变量,因此其测量不确定度评价往往通过耗时较长的蒙特卡洛法来评估。然而,蒙特卡洛法虽然能有效评估不同误差模型的测量方法,但需要数据量非常大且耗时长、成本高。

发明内容

[0004] 针对现有技术中采用蒙特卡洛法对大尺寸多边坐标测量系统的不确定度进行评价时存在耗时长、成本高的问题,本发明的目的在于提供一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法、系统、设备及介质,从多边坐标测量系统基本原理入手,简化系统坐标系从而缩减参数,减小计算量,有利于测量现场的快速评估,同时便于计量人员学习与运用。

[0005] 本发明主要通过以下技术方案实现:一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法,对由4个台激光跟踪干涉仪及一个反射镜组成的大尺寸多边坐标测量系统进行不确定度评价,一台激光跟踪干涉仪作为一个测站,用于构建三维的坐标系;所述方法将获取的目标点坐标输入误差传递模型获得坐标值对应的三个坐标不确定度分量,再结合反射镜光学中心偏移引入的不确定度,计算多边坐标测量系统的不确定度系数,进行不确定度评价。

[0006] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述方法包括以下步骤:

[0007] 步骤S1、建立坐标系;

[0008] 具体是指,先通过四个测站建立三维的坐标系,并记录在该坐标系中各测站的坐标;

[0009] 步骤S2、获取目标点坐标;

[0010] 具体是指,使用各测站对应的激光跟踪干涉仪跟踪反射镜,将反射镜移动到目标位置,多边坐标测量系统输出的空间坐标,即为目标点坐标;

[0011] 步骤S3、获取三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量;

[0012] 具体是指,将目标点坐标输入误差传递模型,计算得到三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量;

[0013] 步骤S4、根据三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量、反射镜光学中心偏移引入的不确定度计算多边坐标测量系统的不确定度系数。

[0014] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述步骤S3中误差传递模型根据各测站的坐标、各测站与目标点的实际距离、各测站的测距不确定度计算三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量。

[0015] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述步骤S3中各测站与目标点的实际距离通过以下方法获得:先获取反射镜在初始点时各测站与初始点之间的距离;然后,移动反射镜到N个离散的不同的测量点,各测站跟踪反光镜从初始点移动到测量点,并测得各测站与初始点、测量点二者长度之差,记为长度增量 $d_{l_{pk}}$;最后,各测站与初始点的距离与长度增量 $d_{l_{pk}}$ 之和即为各测站与目标点的实际距离;所述N大于10。

[0016] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述步骤S3中各测站的测距不确定度根据激光跟踪干涉仪自身的测量不确定度、环境补偿不全所引入的不确定度进行计算。

[0017] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述步骤S4中多边坐标测量系统的不确定度系数通过坐标系中X、Y、Z三轴对应的三个不确定度分量 u_x 、 u_y 、 u_z 以及反射镜光学中心偏移引入的不确定度 u_b 四个参数分别平方后求和再开根号。

[0018] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述反射镜为猫眼逆反射镜。

[0019] 本发明提供的一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法,对由4个测站及一个反射镜组成的大尺寸多边坐标测量系统进行坐标测量不确定度评价;所述方法,先通过四个测站建立坐标系并记录各个测站在该坐标系中的坐标;接着,以反射镜的光学中心作为被测点,将反射镜从初始点分别移动到N个不同位置的控制点,通过各测站对应的激光跟踪干涉仪获取测站分别到初始点、N个控制点的相对长度;然后,根据激光跟踪干涉仪自身的测量不确定度、环境补偿不全所引入的不确定度,计算各测站的测距不确定度和反射镜光学中心偏移引入的不确定度;最后,将反射镜放置在待测量位置,获取此时被测点的坐标,由被测点的坐标、各测站在坐标系中的坐标、各测站的测距不确定度和反射镜光学中心偏移引入的不确定度计算多边坐标测量系统的不确定度。

[0020] 本发明还提供了一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价系统,包括误差传递模型,用于在上述的方法中实现获得坐标值对应的三个坐标不确定度分量的作用。

[0021] 本发明还提供了一种电子设备,包括存储器和处理器;所述存储器上存储有计算机程序;当所述计算机程序在所述处理器上执行时,实现上述的不确定度评价方法。

[0022] 一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质上存储有计算机指令;当所述计算机指令在上述的电子设备上执行时,实现上述的不确定度评价方法。

[0023] 本发明的有益效果如下：

[0024] 本发明将获取的目标点坐标输入误差传递模型获得坐标值对应的三个坐标不确定度分量,再结合反射镜光学中心偏移引入的不确定度,计算多边坐标测量系统的不确定度系数,从多边坐标测量系统基本原理入手,简化系统坐标系从而缩减参数,减小计算量,有利于测量现场的快速评估,同时便于计量人员学习与运用。

附图说明

[0025] 图1为四个测站构建的测站坐标系。

[0026] 图2为本发明主要步骤流程图。

具体实施方式

[0027] 实施例1：

[0028] 本实施例提供了一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法,对由4个台激光跟踪干涉仪及一个反射镜组成的大尺寸多边坐标测量系统进行不确定度评价,一台激光跟踪干涉仪作为一个测站,用于构建三维的坐标系;所述方法将获取的目标点坐标输入误差传递模型获得坐标值对应的三个坐标不确定度分量,再结合反射镜光学中心偏移引入的不确定度,计算多边坐标测量系统的不确定度系数,进行不确定度评价。

[0029] 本实施例采用不同于现有技术的不确定度评价方法,从多边坐标测量系统基本原理入手,简化系统坐标系从而缩减参数,减小计算量,有利于测量现场的快速评估,同时便于计量人员学习与运用。

[0030] 实施例2：

[0031] 在实施例1的基础上,本实施例中以猫眼逆反射镜为例说明一种大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法的详细内容。

[0032] 所述方法包括以下步骤：

[0033] 步骤S1、建立坐标系；

[0034] 具体是指,先通过四个测站建立三维的坐标系,并记录在该坐标系中各测站的坐标；

[0035] 步骤S2、获取目标点坐标；

[0036] 具体是指,使用各测站对应的激光跟踪干涉仪跟踪猫眼逆反射镜,将猫眼逆反射镜移动到目标位置,多边坐标测量系统输出的空间坐标,即为目标点坐标；

[0037] 步骤S3、获取三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量；

[0038] 具体是指,将目标点坐标输入误差传递模型,计算得到三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量；

[0039] 步骤S4、根据三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量、猫眼逆反射镜光学中心偏移引入的不确定度计算多边坐标测量系统的不确定度系数。

[0040] 进一步地,所述步骤S1具体包括：

[0041] 步骤S11、将4台激光跟踪干涉仪分别固定于不同的4个位置,并将激光跟踪干涉仪按顺序设为测站A、测站B、测站C、测站D；

[0042] 步骤S12、建立测站对应的三维坐标系,设测站A的测量中心为坐标系原点,由测站

A的测量中心指向测站B的方向为X轴的正方向;设测站C的测量中心位于XOY平面上,测站A、测站B、测站C、测站D的坐标分别为: $(0,0,0)$ 、 $(x_B,0,0)$ 、 $(x_C,y_C,0)$ 、 (x_D,y_D,z_D) 。

[0043] 进一步地,所述步骤S3中误差传递模型根据各测站的坐标、各测站与目标点的实际距离、各测站的测距不确定度计算三个坐标值对应的三个坐标不确定度分量。

[0044] 进一步地,所述步骤S3中各测站与目标点的实际距离通过以下方法获得:先获取反射镜在初始点时各测站与初始点之间的距离;然后,移动反射镜到N个离散的不同的测量点,各测站跟踪反光镜从初始点移动到测量点,并测得各测站与初始点、测量点二者长度之差,记为长度增量 $d1_{pk}$;最后,各测站与初始点的距离与长度增量 $d1_{pk}$;之和即为各测站与目标点的实际距离;所述N大于10。

[0045] 进一步地,所述步骤S3中各测站的测距不确定度根据激光跟踪干涉仪自身的测量不确定度、环境补偿不全所引入的不确定度进行计算。

[0046] 进一步地,所述步骤S4中多边坐标测量系统的不确定度系数通过坐标系中X、Y、Z三轴对应的三个不确定度分量 u_x 、 u_y 、 u_z 以及反射镜光学中心偏移引入的不确定度 u_b 四个参数分别平方后求和再开根号。

[0047] 本实施例所述的不确定度评价方法,首先,通过测站构建坐标系,并获得各测站在坐标系中的坐标;接着,以反射镜的光学中心作为被测点,将反射镜从初始点分别移动到N个不同位置的控制点,通过各测站对应的激光跟踪干涉仪获取测站到初始点及N个控制点的相对长度;然后,按照激光跟踪干涉仪自身的测量不确定度、环境补偿不全所引入的不确定度,计算各测站的测距不确定度和反射镜光学中心偏移引入的不确定度;最后,由各测站在坐标系中的坐标、各测站的测距不确定度和反射镜光学中心偏移引入的不确定度计算多边坐标测量系统的不确定度。

[0048] 实施例3:

[0049] 本实施例基于实施例1或实施例2,提供一种具体使用场景。

[0050] 本实施例采用的多边坐标测量系统由4台激光跟踪干涉仪及猫眼逆反射镜组成,大尺寸多边坐标测量系统的不确定度评价方法包括以下操作:

[0051] 首先,将4激光跟踪干涉仪分别固定于不同的4个位置,并按任意顺序将激光跟踪干涉仪设为测站A、B、C、D;

[0052] 其次,建立测站坐标系,设测站A的测量中心为坐标系原点,由测站A的测量中心指向B的方向为X轴的正方向;设测站C的测量中心位于XOY平面上,A、B、C、D的坐标分别为: $(0,0,0)$ 、 $(x_B,0,0)$ 、 $(x_C,y_C,0)$ 、 (x_D,y_D,z_D) ;

[0053] 然后,使多边坐标测量系统的激光跟踪干涉仪跟踪猫眼逆反射镜,将猫眼逆反射镜放置待测量位置,多边坐标测量系统的输出为测站坐标系下某个位置的空间坐标 x 、 y 、 z ,按照以下误差传递公式来评估 x 、 y 、 z 标准不确定度 u_x 、 u_y 、 u_z :

$$[0054] \quad u_x = \left| \frac{l_{PA}}{x_B} u_A \right| + \left| \frac{l_{PB}}{x_B} u_B \right| \quad (1)$$

$$[0055] \quad u_y = \left| \frac{(x_B - x_C)l_{PA}}{x_B y_C} u_A \right| + \left| \frac{l_{PB} x_C}{x_B y_C} u_B \right| + \left| \frac{l_{PC}}{y_C} u_C \right| \quad (2)$$

$$[0056] \quad u_z = \left| \left(\left(1 - \frac{x}{x_B} - \frac{x_B - x_C}{x_B y_C} y \right) l_{PA} / z \right) u_A \right| + \left| \left(\left(\frac{x}{x_B} - \frac{x_C y}{x_B y_C} \right) l_{PB} / z \right) u_B \right| + \left| \left(\frac{y l_{PC}}{z y_C} \right) u_C \right| \quad (3)$$

[0057] 最后, 多边坐标测量系统的不确定度系数 u_G 计算方法如式(4) (4)所示:

$$[0058] \quad u_G = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2 + u_b^2} \quad (4)$$

[0059] 式(1) (1) (2)、(1) (2) (2)、(1) (3) (2)中所用到的参数有: x_B 、 x_C 、 y_C 、 u_A 、 u_B 、 u_C 、 l_{PA} 、 l_{PB} 、 l_{PC} 共9个独立参数。

[0060] 其中: x_B 为测站B的X轴坐标值, x_C 为测站C的X轴坐标值, y_C 为测站C的Y轴坐标值; u_A 、 u_B 、 u_C 分别为测站A、测站B、测站C的测距不确定度; l_{PA} 、 l_{PB} 、 l_{PC} 分别为测站A、测站B、测站C到猫眼逆反射镜光学中心的长度; u_b 为猫眼逆反射镜光学中心偏移引入的不确定度。

[0061] 在另一具体实施方式中, 提供了本实施例中不确定度评估公式推导过程。

[0062] 现有3台激光跟踪干涉仪: 测站A、测站B、测站C; 并按照实施例2的步骤S1建立测站坐标系, 如图1所示, 其中P为目标点, 即猫眼逆反射镜在被测位置时猫眼逆反射镜光学中心的坐标。

[0063] 若已知 x_B 、 x_C 、 y_C , 根据多边坐标测量原理, 被测位置对应目标点P的坐标 x 、 y 、 z 的求解公式如下:

$$[0064] \quad x = (l_{PA}^2 - l_{PB}^2 - x_B^2) / 2x_B \quad (5)$$

$$[0065] \quad y = (l_{PA}^2 - l_{PC}^2 + x_C^2 + y_C^2 - 2x_C x) / 2y_C \quad (6)$$

$$[0066] \quad z = \pm \sqrt{l_{PA}^2 - x^2 - y^2} \quad (7)$$

[0067] 式(7)中“ \pm ”号可按测量要求取正负。

[0068] 函数随机误差合成方法如下: 设被测量Y的估计值 y 由 n 个相互独立的测量值 x_1 , x_2, \dots, x_n 的函数求得, 即: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$; y 的函数随机误差合成为 u_G 的计算公式为:

$$[0069] \quad \delta_y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \delta_{x_i} \quad (8)$$

[0070] 其中, δ_{x_1} , $\delta_{x_2}, \dots, \delta_{x_n}$ 分别为测量值 x_1, x_2, \dots, x_n 的误差, $\partial f / \partial x_i$ 函数 f 对变量 x_i 的偏微分。

[0071] 式(8) (5) (7)中的 x 、 y 、 z 分别与独立的测量值 l_{PA} 、 l_{PB} 、 l_{PC} 成函数关系, 以下根据多边法测量结果中 x 、 y 、 z 方向的坐标误差极限 δ_x 、 δ_y 、 δ_z 来表征不确定度 u_x 、 u_y 、 u_z :

$$[0072] \quad \begin{aligned} \delta_x &= \frac{\partial x}{\partial l_{PA}} \delta_A + \frac{\partial x}{\partial l_{PB}} \delta_B + \frac{\partial x}{\partial l_{PC}} \delta_C \\ &\leq \left| \frac{\partial x}{\partial l_{PA}} \delta_A \right| + \left| \frac{\partial x}{\partial l_{PB}} \delta_B \right| + \left| \frac{\partial x}{\partial l_{PC}} \delta_C \right| = \left| \frac{l_{PA}}{x_B} \delta_A \right| + \left| \frac{l_{PB}}{x_B} \delta_B \right| + 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
\delta_y &= \frac{\partial y}{\partial l_{PA}} \delta_A + \frac{\partial y}{\partial l_{PB}} \delta_B + \frac{\partial y}{\partial l_{PC}} \delta_C \leq \left| \frac{\partial y}{\partial l_{PA}} \delta_A \right| + \left| \frac{\partial y}{\partial l_{PB}} \delta_B \right| + \left| \frac{\partial y}{\partial l_{PC}} \delta_C \right| \\
[0073] \quad &= \left| \frac{(x_B - x_C) l_{PA}}{x_B y_C} \delta_A \right| + \left| \frac{l_{PB} x_C}{x_B y_C} \delta_B \right| + \left| \frac{l_{PC}}{y_C} \delta_C \right|
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
\delta_z &= \frac{\partial z}{\partial l_{PA}} \delta_A + \frac{\partial z}{\partial l_{PB}} \delta_B + \frac{\partial z}{\partial l_{PC}} \delta_C \leq \left| \frac{\partial z}{\partial l_{PA}} \delta_A \right| + \left| \frac{\partial z}{\partial l_{PB}} \delta_B \right| + \left| \frac{\partial z}{\partial l_{PC}} \delta_C \right| \\
[0074] \quad &= \left| \left(l_{PA} \left(1 - \frac{x}{x_B} - \frac{x_B - x_C}{x_B y_C} y \right) / z \right) \delta_A \right| + \left| \left(l_{PB} \left(\frac{x}{x_B} - \frac{x_C y}{x_B y_C} \right) / z \right) \delta_B \right| + \left| \left(\frac{y l_{PC}}{z y_C} \right) \delta_C \right|
\end{aligned} \tag{11}$$

[0075] 其中： δ_A 、 δ_B 、 δ_C 分别为测站A、测站B、测站C的激光测距误差。

$$[0076] \quad u_x = \left| \frac{l_{PA}}{x_B} u_A \right| + \left| \frac{l_{PB}}{x_B} u_B \right| + 0 \tag{12}$$

$$[0077] \quad u_y = \left| \frac{(x_B - x_C) l_{PA}}{x_B y_C} u_A \right| + \left| \frac{l_{PB} x_C}{x_B y_C} u_B \right| + \left| \frac{l_{PC}}{y_C} u_C \right| \tag{13}$$

$$[0078] \quad u_z = \left| \left(\left(1 - \frac{x}{x_B} - \frac{x_B - x_C}{x_B y_C} y \right) l_{PA} / z \right) u_A \right| + \left| \left(\left(\frac{x}{x_B} - \frac{x_C y}{x_B y_C} \right) l_{PB} / z \right) u_B \right| + \left| \left(\frac{y l_{PC}}{z y_C} \right) u_C \right| \tag{14}$$

[0079] 通过极限误差来表征不确定度,则有式(1) (12) (3) - (14)。

[0080] 在另一具体实施方式中,提供了所用到 x_B 、 x_C 、 y_C 、 l_{PA} 、 l_{PB} 、 l_{PC} 、 x 、 y 、 z 、 u_A 、 u_B 、 u_C 共各个独立参数的测量计算方法。

[0081] 一、获取 x_B 、 x_C 、 y_C 。

[0082] x_B 、 x_C 、 y_C 是测站B的X轴坐标值、测站C的X轴坐标值、测站C的Y轴坐标值,直接读取即可。

[0083] 二、获取 l_{PA} 、 l_{PB} 、 l_{PC} 。

[0084] 激光跟踪干涉仪直接得到的测量值是相对距离,一般按以下方式来表示:定义一个初始点 P_0 ,设 l_{A0} 、 l_{B0} 、 l_{C0} 、 l_{D0} 分别为测站A、测站B、测站C、测站D至初始点 P_0 的距离。当某测站k跟踪猫眼逆反射镜从初始点 P_0 移动到测量点P时,可测得测站k分别与 P_0 、P连线之间的长度之差 $d l_{Pk}$ ($k=A, B, C, D$); $k=A, B, C, D$ 。 $d l_{Pk}$ 本质就是增量,所以 $d l_{Pk}$ 与 l_{k0} 的和为测站k到测量点P的距离。

[0085] 所以 l_{PA} 、 l_{PB} 、 l_{PC} 及 l_{PD} 一般表示为:

$$[0086] \quad \begin{cases} l_{PA} = l_{A0} + d l_{PA} \\ l_{PB} = l_{B0} + d l_{PB} \\ l_{PC} = l_{C0} + d l_{PC} \\ l_{PD} = l_{D0} + d l_{PD} \end{cases} \tag{15}$$

[0087] 其中, $d l_{Pk}$ 是激光跟踪干涉仪直接测量值。

[0088] 三、获取目标点P的坐标 x 、 y 、 z 。

[0089] 计算被测位置坐标的推导过程中需额外引入测站D到目标点的距离 l_{PD} 及坐标 x_D 、

y_D, z_D , 但实际计算时仅需使用到 $x_B, x_C, y_C, l_{PA}, l_{PB}, l_{PC}$ 6个参数即可计算被测位置坐标。具体地, 将获得的 $x_B, x_C, y_C, l_{PA}, l_{PB}, l_{PC}$ 6个参数带入式(5)、式(6)、式(7), 获得目标点P的坐标 x, y, z 。

[0090] 四、解算控制点最小值。

[0091] 需要说明的时, $x_B, x_C, y_C, x_D, y_D, z_D, l_{A0}, l_{B0}, l_{C0}, l_{D0}$ 需要通过冗余信息构建方程, 再进行解算; 解算方法如下。

[0092] (1) 将4台激光跟踪干涉仪跟踪同一猫眼逆反射镜, 并将猫眼反射镜放置到 P_0 进行测量, 并将猫眼反射镜分别移动至相对分散的N个位置、测得N个控制点相对于初始点的相对长度, 其中N不小于20, 第i个控制点对应的方程如下:

$$f_i = ((l_{A0}^2 - l_{B0}^2 - x_B^2) / 2x_B - x_D)^2 + (\sqrt{l_{A0}^2 - x_i^2 - y_i^2 - z_D^2} + ((l_{A0}^2 - l_{C0}^2 + x_C^2 + y_C^2 - 2x_C x_i) / 2y_C - y_D)^2 - (l_{D0} + dl_{Di})^2 \quad (16)$$

[0094] 其中, $f_i(\delta)$ 为第i个控制点到测站D距离的估算值与测量值的差。

[0095] x_i, y_i 分别为第i个控制点的X轴、Y轴坐标, 且 $x_i = (l_{A0}^2 - l_{B0}^2 - x_B^2) / 2x_B - x_D$, $y_i = (l_{A0}^2 - l_{C0}^2 + x_C^2 + y_C^2 - 2x_C x_i) / 2y_C - y_D$; δ 为 $(x_B, x_C, y_C, x_D, y_D, z_D, l_{A0}, l_{B0}, l_{C0}, l_{D0})$ 。

[0096] (2) 通过卷尺等长度测量器具测量4台激光跟踪干涉仪的位置间距以及4台激光跟踪干涉仪分别到初始点 P_0 的距离从而获得待求参数的迭代初始值。

[0097] (3) 通过Matlab软件, 将N个控制点的方程的平方和最小化进行求解, 令:

$$\phi(\delta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N f_i^2; \quad i=1, 2, 3, \dots, N \quad (17)$$

[0099] 函数 $\phi(\delta)$ 的极小点 δ^* 就是 δ 的解, 即:

$$\phi(\delta^*) = \min \phi(\delta) = \min \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N f_i^2; \quad i=1, 2, 3, \dots, N \quad (18)$$

[0101] 为求 δ^* 由多元函数 $\phi(\delta)$ 取极值的必要条件, 令 $\phi(\delta)$ 的梯度函数 $g(\delta) = \nabla \phi(\delta) = 0$ 即:

$$g(\delta) = \nabla \phi(\delta) = 0.5 \times Df_i^T(x) \times f_i(x) = 0 \quad (19)$$

$$[0103] \quad \text{其中, } Df_i^T(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial x_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_{10}} & \frac{\partial f_2}{\partial x_{10}} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial x_{10}} \end{bmatrix}, \text{ 记为 } J(\delta)。$$

[0104] δ 有解时, N至少大于10, 即控制点的数量需大于10。

[0105] 五、获取 u_A, u_B, u_C 。

[0106] 测站A对应的测长不确定度 u_A 、测站B对应的测长不确定度 u_B 以及测站C对应的测长不确定度 u_C 均可以按以下方法进行评估。用测站k表示测站A、测站B、测站C中任意一个测站。

[0107] (1) 本发明采用Etalon的激光跟踪干涉仪,正态分布95%置信区间,测距不确定度 $U=0.2\mu\text{m}+0.3\mu\text{m}/\text{m}$,激光跟踪干涉仪测距的标准不确定度为:

$$[0108] \quad u_{\text{IFM}}=0.1+0.15\times 10^{-3}/l \quad (20)$$

[0109] (2) 由于温度、湿度及气压等随机变化的环境因素引起的空气折射率变化,从而造成激光跟踪干涉仪测距误差。按照空气温度梯度为 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$,环境补偿不全所引入的标准不确定度:

$$[0110] \quad u_E=93.0\times 10^{-8}\times 0.5l/\sqrt{3} \quad (21)$$

[0111] (3) 测距的标准不确定度合成:

$$[0112] \quad u_k=\sqrt{u_E^2+u_{\text{IFM}}^2} \quad (k=A,B,C) \quad (22)$$

[0113] 其中, l 为测站到被测点的距离(单位:m)。

[0114] 六、获取 u_b 。

[0115] 本实施例中采用猫眼逆反射镜的光学中心误差为 $\pm 4\mu\text{m}$,假设服从均匀分布,猫眼逆反射镜光学中心偏移引入的标准不确定度计算公式如下:

$$[0116] \quad u_b=4/\sqrt{3}\approx 2.3 \quad (23)$$

[0117] 已知猫眼逆反射镜的光学中心误差的情况下, u_b 可以直接解算。

[0118] 将获得的获取各测站的测长不确定度 u_A 、 u_B 、 u_C 以及猫眼逆反射镜光学中心偏移引入的标准不确定度 u_b ,即可获得多边坐标测量系统的不确定度系数 u_G 。

[0119]

[0120] 实施例4:

[0121] 本实施例在实施例3的基础上,提供一种验证方法。

[0122] 本实施例通过估算坐标误差极限以作为本发明的验算复核方法,具体方法以下进行说明及解释。

[0123] 设目标点P分别与测站A、测站B、测站C的理论距离为 l_{PA} 、 l_{PB} 、 l_{PC} ,并设距离测量值分别为 $l_{\text{PA}}+\delta l_{\text{PA}i}$ 、 $l_{\text{PB}}+\delta l_{\text{PB}i}$ 、 $l_{\text{PC}}+\delta l_{\text{PC}i}$,其中 $\delta l_{\text{PA}i}$ 、 $\delta l_{\text{PB}i}$ 、 $\delta l_{\text{PC}i}$ 为各测站对P点激光测距的误差; $i=1,2,\dots,n$ 。

[0124] 设目标点P在测站坐标系下的理论坐标为 x_0 、 y_0 、 z_0 ,实际测量值为 x_i 、 y_i 、 z_i 。

[0125] 设空间坐标理论值 x_0 、 y_0 、 z_0 分别关于激光测距理论值的函数关系为:

$$[0126] \quad \begin{cases} x_0=f_x(\mathbf{l}) \\ y_0=f_y(\mathbf{l}) \\ z_0=f_z(\mathbf{l}) \end{cases} \quad (24)$$

[0127] 其中 $\mathbf{l}=(l_{\text{PA}},l_{\text{PB}},l_{\text{PC}})^{\text{T}}$ 。

[0128] 设空间坐标测量值 x_i 、 y_i 、 z_i 分别关于激光测距理论值的函数关系为:

$$[0129] \quad \begin{cases} x_i=f_x(\mathbf{l}+\delta\mathbf{l}) \\ y_i=f_y(\mathbf{l}+\delta\mathbf{l}) \\ z_i=f_z(\mathbf{l}+\delta\mathbf{l}) \end{cases} \quad (25)$$

[0130] 其中 $\delta\mathbf{l}=(\delta l_{\text{PA}i},\delta l_{\text{PB}i},\delta l_{\text{PC}i})^{\text{T}}$ 。

[0131] 令 $(\delta l_{PAi}, \delta l_{PBi}, \delta l_{PCi})$ 分别取表1中的值,然后计算核验值 $M_{\text{核验}} = ((x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2)^{0.5}$,不考虑 u_b 的前提下,计算结果中的最大值约等于不确定度 u_G 。由于 u_G 是根据误差极限来计算的所以, u_G 大于 $M_{\text{核验}}$,但不超出 $1\mu\text{m}(0.001\text{mm})$ 。

[0132] 表1测距误差取值

	δl_{PAi}	δl_{PBi}	δl_{PCi}
	u_A	u_B	u_C
	$-u_A$	$-u_B$	$-u_C$
	$-u_A$	u_B	u_C
[0133]	u_A	$-u_B$	$-u_C$
	u_A	$-u_B$	u_C
	$-u_A$	u_B	$-u_C$
	u_A	u_B	$-u_C$
	$-u_A$	$-u_B$	u_C

[0134] 具体参数举例说明。

[0135] 步骤a.先按照本发明的方法对某点坐标的不确定度估算。

[0136] 设测站A、B、C以及被测点P的坐标值见表2。

[0137] 表2A、B、C以及被测点P的坐标值 (mm)

	x	y	z
A	0	0	0
[0138] B	4000	0	0
C	500	2000	0
P	2000	4000	2000

[0139] 然后可求得目标点P分别至测站A、B、C的理论距离值 l_{PA} 、 l_{PB} 、 l_{PC} 见表3。

[0140] 表3P分别至A、B、C的理论距离值 (mm)

	长度值
[0141] l_{PA}	4898.979
l_{PB}	4898.979
l_{PC}	3201.562

[0142] 根据激光干涉测距的不确定度 $U=0.1\mu\text{m}+0.15\mu\text{m}/\text{m}$,有 u_A 、 u_B 、 u_C ,见表4。

[0143] 表4 3测站对P点的测距不确定度 (mm)

不确定度	
[0144]	u_A 0.00083
	u_B 0.00083
	u_C 0.00058

[0145] 根据实施例3中式(1)、(2)、(3),进而估算出 u_x 、 u_y 、 u_z ,见表5。

[0146] 表5x、y、z方向的不确定度

[0147]	u_x	0.0020
	u_y	0.0030
	u_z	0.0049

[0148] 不计入 u_b 时坐标不确定度 u_G 估算为: $\sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2} = 0.0061\text{mm}$ 。步骤b.然后根据前文的验核方法进行验核。

[0149] 首先计算 x_0 、 y_0 、 z_0 以及 x_i 、 y_i 、 z_i 。

$$\begin{cases}
 x_0 = f_x(l_{PA}, l_{PB}, l_{PC}) = (l_{PA}^2 - l_{PB}^2 - x_B^2) / 2x_B \\
 y_0 = f_y(l_{PA}, l_{PB}, l_{PC}) = (l_{PA}^2 - l_{PC}^2 + x_C^2 + y_C^2 - 2x_C x) / 2y_C \\
 z_0 = f_z(l_{PA}, l_{PB}, l_{PC}) = \sqrt{l_{PA}^2 - x^2 - y^2}
 \end{cases} \quad (3)$$

[0151] 计算得到 $(x_0, y_0, z_0) = (2000\text{mm}, 4000\text{mm}, 2000\text{mm})$ 。

[0152] 按照表1设置的测距误差有:

[0153] 表6模拟测距误差值组合 (mm)

序号	δl_{PAi}	δl_{PBi}	δl_{PCi}
1	0.00083	0.00083	0.00058
2	-0.00083	-0.00083	-0.00058
3	-0.00083	0.00083	-0.00058
[0154] 4	0.00083	-0.00083	-0.00058
5	0.00083	-0.00083	0.00058
6	-0.00083	0.00083	0.00058
7	0.00083	0.00083	-0.00058
8	-0.00083	-0.00083	0.00058

[0155] 然后计算 x_i 、 y_i 、 z_i 。

[0156] 令:

[0157]
$$\begin{cases} l_{PAi} = l_{PA} + \delta l_{PAi} \\ l_{PBi} = l_{PB} + \delta l_{PBi} \\ l_{PCi} = l_{PC} + \delta l_{PCi} \end{cases} \quad (4)$$

[0158]
$$\begin{cases} x_0 = f_x(l_{PAi}, l_{PBi}, l_{PCi}) = (l_{PAi}^2 - l_{PBi}^2 - x_B^2) / 2x_B \\ y_0 = f_y(l_{PAi}, l_{PBi}, l_{PCi}) = (l_{PAi}^2 - l_{PCi}^2 + x_C^2 + y_C^2 - 2x_C x) / 2y_C \\ z_0 = f_z(l_{PAi}, l_{PBi}, l_{PCi}) = \sqrt{l_{PAi}^2 - x_0^2 - y_0^2} \end{cases} \quad (5)$$

[0159] 最后按照8中测距误差组合计算核验值 $M_{\text{核验}} = ((x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2 + (z_0 - z_i)^2)^{0.5}$ 。

[0160] 表7 8中测距误差组合计算核验值(mm)

误差组合序号	$M_{\text{核验}}$
1	0.0011
2	0.0011
3	0.0025
4	0.0059
5	0.0025
6	0.0059
7	0.0049
8	0.0049
Max	0.0059

[0161] $M_{\text{核验}}$ 最大值0.0059mm与步骤a.中计算的不确定度估算值 $u_G = 0.0061\text{mm}$ 仅相差0.0002mm低于0.001mm(即1 μm)。

[0162] 本实施例中所述验证方法的理由说明如下:

[0163] 因为 $x_0 - x_i, y_0 - y_i, z_0 - z_i$ 有以下关系:

[0164]
$$\begin{cases} x_0 - x_i = f_x(\mathbf{l}) - f_x(\mathbf{l} + \delta \mathbf{l}) \\ y_0 - y_i = f_y(\mathbf{l}) - f_y(\mathbf{l} + \delta \mathbf{l}) \\ z_0 - z_i = f_z(\mathbf{l}) - f_z(\mathbf{l} + \delta \mathbf{l}) \end{cases} \quad (6)$$

[0165] 令 $\delta x = x_0 - x_i, \delta y = y_0 - y_i, \delta z = z_0 - z_i$, 并且令 $\delta \mathbf{x} = (\delta x, \delta y, \delta z)$, 则有:

[0166]
$$\delta \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x(\mathbf{l}) - f_x(\mathbf{l} + \delta \mathbf{l}) \\ f_y(\mathbf{l}) - f_y(\mathbf{l} + \delta \mathbf{l}) \\ f_z(\mathbf{l}) - f_z(\mathbf{l} + \delta \mathbf{l}) \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0167] 根据一阶泰勒展开公式,有:

$$[0170] \quad \delta \mathbf{x} = \begin{bmatrix} f_x(\mathbf{l}) - f_x(\mathbf{l} + \delta \mathbf{l}) \\ f_y(\mathbf{l}) - f_y(\mathbf{l} + \delta \mathbf{l}) \\ f_z(\mathbf{l}) - f_z(\mathbf{l} + \delta \mathbf{l}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial f_x}{\partial l_{PA}} & \frac{\partial f_x}{\partial l_{PB}} & \frac{\partial f_x}{\partial l_{PC}} \right] \times \delta \mathbf{l} \\ \left[\frac{\partial f_y}{\partial l_{PA}} & \frac{\partial f_y}{\partial l_{PB}} & \frac{\partial f_y}{\partial l_{PC}} \right] \times \delta \mathbf{l} \\ \left[\frac{\partial f_z}{\partial l_{PA}} & \frac{\partial f_z}{\partial l_{PB}} & \frac{\partial f_z}{\partial l_{PC}} \right] \times \delta \mathbf{l} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[0171] \quad \delta \mathbf{x} = \mathbf{M} \times \delta \mathbf{l} \quad (9)$$

$$[0172] \quad \text{其中 } \mathbf{M} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_x}{\partial l_{PA}} & \frac{\partial f_x}{\partial l_{PB}} & \frac{\partial f_x}{\partial l_{PC}} \\ \frac{\partial f_y}{\partial l_{PA}} & \frac{\partial f_y}{\partial l_{PB}} & \frac{\partial f_y}{\partial l_{PC}} \\ \frac{\partial f_z}{\partial l_{PA}} & \frac{\partial f_z}{\partial l_{PB}} & \frac{\partial f_z}{\partial l_{PC}} \end{bmatrix}。$$

[0173] 对式(6)取2范数,有:

$$[0174] \quad \|\delta \mathbf{x}\|_2 = \|\mathbf{M} \times \delta \mathbf{l}\|_2 \quad (10) \text{ 根据2范数的相容性这一特点,有不等式:}$$

$$[0175] \quad \|\delta \mathbf{x}\|_2 = \|\mathbf{M} \times \delta \mathbf{l}\|_2 \leq \|\mathbf{M}\|_2 \times \|\delta \mathbf{l}\|_2 \quad (11) \text{ 即有:}$$

$$[0176] \quad \|\delta \mathbf{x}\|_2 = (\delta x^2 + \delta y^2 + \delta z^2)^{0.5} \leq \|\mathbf{M}\|_2 \times \|\delta \mathbf{l}\|_2 \quad (12)$$

[0177] 即P的理论坐标与测量坐标点的间距所表征的误差最大不超出 $\|\mathbf{M}\|_2 \times \|\delta \mathbf{l}\|_2$ 。其中M测站位置和测量点相对测站的位置确定了;而 $\|\delta \mathbf{l}\|_2$ 取最大值(即测距不确定度数值 u_A 、 u_B 、 u_C)时可估算出坐标误差的最大值,可逼近极限误差。

[0178] 实施例5:

[0179] 本实施例在上述实施例1-实施例3任一项的基础上,提出一种大尺寸多边形坐标测量系统的不确定度评价系统,包括误差传递模型,用于在上述的方法中实现获得坐标值对应的三个坐标不确定度分量的作用。

[0180] 实施例:6:

[0181] 本发明还提供了一种电子设备,包括存储器和处理器;所述存储器上存储有计算机程序;当所述计算机程序在所述处理器上执行时,实现上述的不确定度评价方法。

[0182] 实施例7:

[0183] 一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质上存储有计算机指令;当所述计算机指令在上述的电子设备上执行时,实现上述的不确定度评价方法。

[0184] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明做任何形式上的限制,凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化,均落入本发明的保护范围之内。

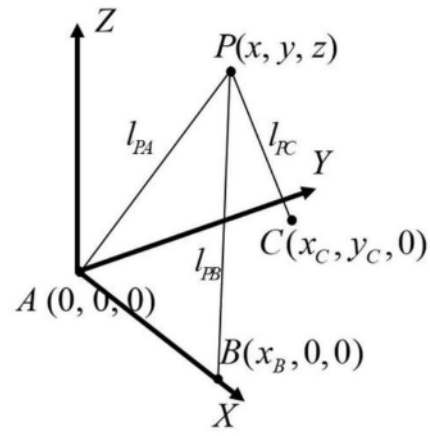


图1

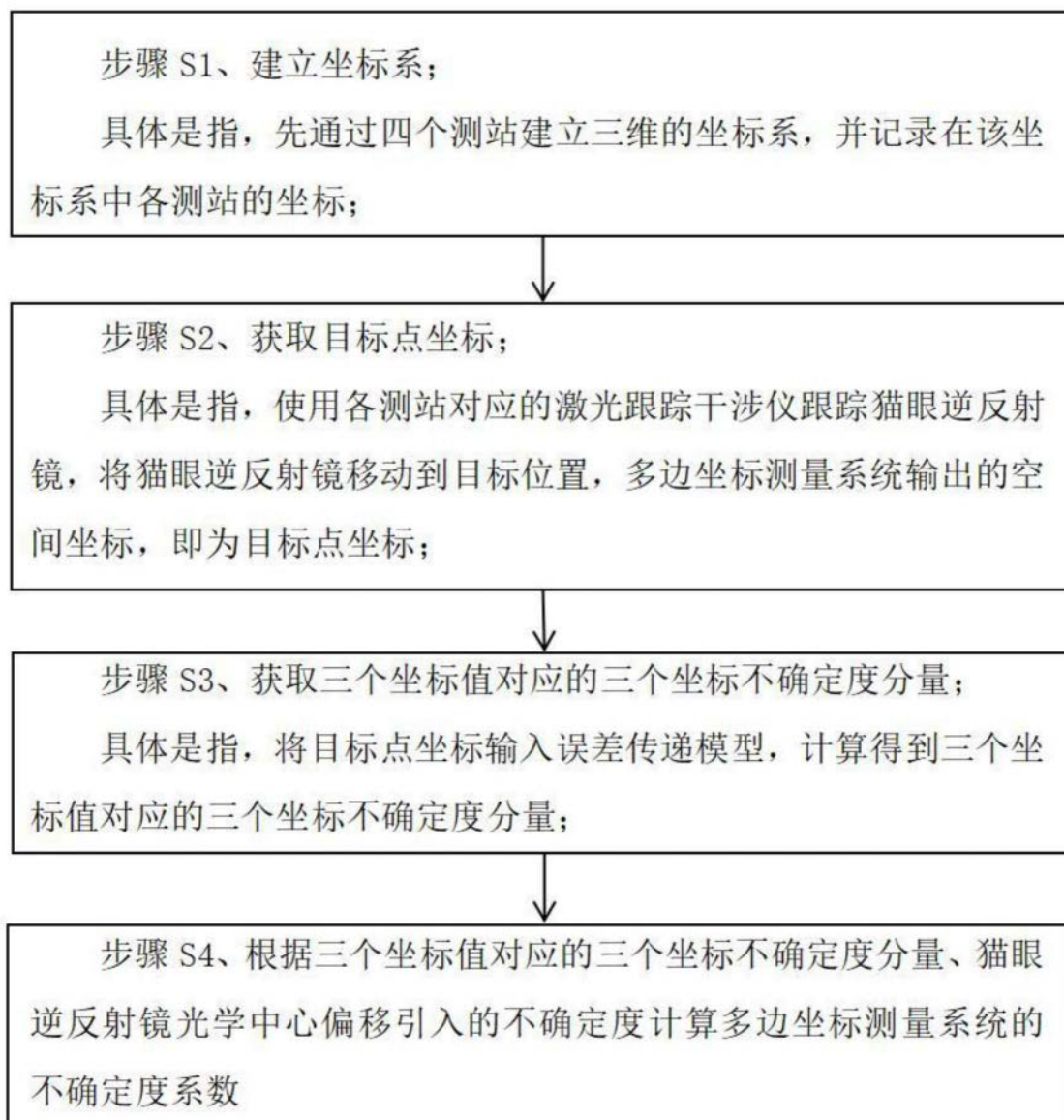


图2