



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106767913 B

(45)授权公告日 2020.05.12

(21)申请号 201611094763.2

(22)申请日 2016.12.02

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106767913 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(73)专利权人 中国科学技术大学  
地址 230026 安徽省合肥市包河区金寨路  
96号

(72)发明人 王克逸 何建争 简慧杰 陶家园

(74)专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责  
任公司 11251

代理人 杨学明 顾炜

(51)Int.Cl.

G01C 25/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 104165626 A,2014.11.26,

CN 101755190 A,2010.06.23,

US 2010128249 A1,2010.05.27,

JP 4717863 B2,2011.07.06,

郭方等.用于大视场目标定位的复眼系统标  
定.《光学精密工程》.2012,第20卷(第5期),第  
913-920页.

审查员 沈新华

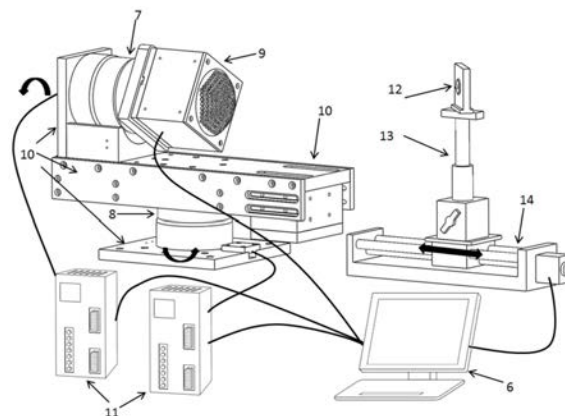
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种基于单LED发光点和二维转台的复眼系  
统标定装置及标定方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于单LED发光点和二维转台的复眼系统标定装置及标定方法,标定装置系统由LED、二维转台和被测复眼系统等组成,二维转台包括支撑框架、高精度电机和配套驱动器,被标定的复眼系统安装在转台横轴的末端。标定过程中,计算机通过控制驱动器驱动转台转动,采集两电机不同转动角度下复眼捕获的目标图像,计算图像光斑中心坐标,记录转台电机转动角度与相应的斑点坐标,通过数学模型,建立两者映射关系。本发明可以构建覆盖复眼全视场的高精度靶标,能够统一众多子眼的坐标系,无需考虑复杂的系统成像和畸变模型,可以实现无人值守自动化标定,能够完成子眼多、畸变复杂、大视场的复眼系统的精确标定,且标定装置简单,标定精度高。



1. 一种基于单LED发光点和二维转台的复眼系统标定装置,其特征在于:包括二维转台、电机驱动器、LED、磁性表座支撑架、一维平移台、计算机和复眼系统,其中二维转台包括高精度伺服电机和固定框架,复眼系统安装在转台横轴的末端,复眼跟随竖轴和横轴转动,LED安置在磁性表座支撑架顶端,其安放位置可进行调整,支撑架固定于一维平移台,LED可在一维平移台上沿转台横轴方向实现一维平移运动,标定过程中,控制驱动器来驱动竖轴和横轴转动,通过控制一维平移台实现LED位置移动,复眼系统捕获三维空间目标点获得光斑图像,图像通过USB接口传输到计算机中,计算图像光斑点中心坐标,记录竖轴、横轴角度值和光斑中心坐标,从而在统一的坐标系下的两个位置上建立每个子眼的坐标-角度的映射关系。

2. 一种基于单LED发光点和二维转台的复眼系统标定方法,利用上述权利要求1的基于单LED发光点和二维转台的复眼系统标定装置,其特征在于:包括以下步骤:

步骤(1) 调节二维转台装置,实现竖轴与横轴相交于复眼球冠面的球心位置,并使竖轴与横轴相互垂直;

步骤(2) 设置两个电机转动轴的角度零点位置,作为标定过程中角度转动的起点,并将两个电机转动到零点位置;

步骤(3) 将LED放置在复眼前方500mm处,在 $360^\circ$ 内等角度间隔转动横轴,在每个位置采集复眼捕获的斑点图像,通过USB接口将图像传输到计算机中计算光斑中心坐标,沿转台横轴方向调整LED位置,在转动横轴时,使中心子眼的成像光斑中心位置不变;

步骤(4) 从角度零点位置开始,计算机的控制流程实现标定过程的自动化运行,驱动上下电机带动复眼转动,记此时LED的位置为 $Z_1$ ,在设定的一系列角度位置上,采集LED成像在CMOS上的光斑图像,计算图像光斑中心点坐标,将光斑与对应子眼通道进行匹配,确定斑点所属子眼,并记录子眼通道此时上下电机的转动角度与光斑点坐标;

步骤(5) 第一个位置记录完了后,测量LED到复眼球冠面球心的距离;

步骤(6) 控制一维平移台移动LED到新的位置 $Z_2$ ,在 $Z_2$ 位置上重复步骤(4)和(5);

步骤(7) 在两轴转动时,可以把两轴的转动转换为LED的旋转,因此可以认为转台静止,而LED在空间中围绕两轴交点旋转,建立统一的坐标系,可以在 $Z_1$ 和 $Z_2$ 两个位置上分别得到LED在空间中呈球面分布的虚拟三维靶标,记录 $Z_1$ 和 $Z_2$ 两个位置上LED与两轴交点的距离、每个子眼对应的两电机转轴转动的角度和图像点的坐标;

步骤(8) 根据记录的坐标和角度关系,通过离散点插值的方法可以得到斑点在每个虚拟球面上的对应位置,进一步可以得到每一个图像斑点与入射光线矢量的映射关系,即可完成标定过程。

3. 根据权利要求2所述的一种基于单LED发光点和二维转台的复眼系统标定方法,其特征在于:所述标定步骤中的数学模型包括:竖轴相对于其角度零点转动角度记为 $\alpha$ ,横轴相对于其角度零点转动角度记为 $\beta$ ,图像上光斑点坐标记为 $P(u, v)$ ,则对于每个子眼在 $Z_1$ 位置两电机转动的角度和光斑位置可以记为 $(\alpha_{11}, \beta_{11}, P_{11}), (\alpha_{12}, \beta_{12}, P_{12}), \dots, (\alpha_{1n}, \beta_{1n}, P_{1n})$ ,在 $Z_2$ 位置两个电机转动的角度和光斑位置记为 $(\alpha_{21}, \beta_{21}, P_{21}), (\alpha_{22}, \beta_{22}, P_{22}), \dots, (\alpha_{2n}, \beta_{2n}, P_{2n})$ ,建立了每个子眼的图像上点与对应 $Z_1$ 和 $Z_2$ 两个位置的球面上点与转台坐标系夹角的关系 $P(u, v) \leftrightarrow (\alpha_1, \beta_1)$ 和 $P(u, v) \leftrightarrow (\alpha_2, \beta_2)$ ;

建立OXYZ世界坐标系,坐标系原点位于两轴交点,Y轴与竖轴重合,正方向为远离下电机的方向,Z轴于横轴重合,正方向为远离上电机的方向,坐标系为右手坐标系,在距离原点为R的位置上,上下电机的角度为 $(\alpha, \beta)$ ,其虚拟靶标点的三维坐标 $(x, y, z)$ 为:

$$\begin{cases} x = R \times \sin(\alpha) \times \cos(\beta) \\ y = R \times \sin(\alpha) \times \sin(\beta) \\ z = R \times \cos(\alpha) \end{cases}$$

在两个这样的位置上建立斑点-角度的对应关系,对于一个已知的角度,通过插值,可以得到对应角度,从而分别获得在Z1和Z2两个位置上虚拟球面上的对应点,对应点连线的直线方程即为入射光线,设入射光线与坐标系夹角为 $(\theta, \varphi)$ ,因此可以建立斑点与入射光线矢量的关系 $P(u, v) \leftrightarrow (\theta, \varphi)$ ,实现标定。

## 一种基于单LED发光点和二维转台的复眼系统标定装置及标定方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于机器视觉领域,具体涉及一种基于单LED发光点和二维转台的复眼系统标定装置及标定方法。

### 背景技术

[0002] 自然昆虫复眼以其大视场、运动高度敏感性和结构紧凑等优点在工业、安防、军事等领域具有极大的潜在应用价值。为此我们设计了一种新型仿生复眼装置,如附图1所示,系统保留了自然昆虫复眼的子眼曲面分布特点;并引入弯月透镜,使光线更加垂直的照射到图像传感器上;半球形复眼球壳上共分布141个子眼,子眼采用对数型锥透镜,以提高光斑聚焦特性;所有子眼共用一个CMOS相机,图像传感器分辨率为 $2048\text{pixel} \times 2048\text{pixel}$ ,像元大小 $12\mu\text{m} \times 12\mu\text{m}$ 。复眼装置尺寸约为 $110\text{mm} \times 110\text{mm} \times 80\text{mm}$ ,总体视场为 $100^\circ \times 100^\circ$ ,捕获的图像可以通过USB接口传输到计算机中。

[0003] 复眼系统各子眼成像不可避免的会存在非线性畸变,为了使用这套装置能够进行目标点探测定位等工作,需要先对其进行标定。在机器视觉应用中,相机标定的目的是为确定空间物体表面某点的三维几何位置与其在图像中对应点之间的相互关系。为了确定复眼系统中图像点与空间点的对应关系,复眼的标定需要解决的问题包括:如何建立每个子眼通道图像光斑与入射光线矢量的关系;怎样才能统一众多子眼坐标系;怎么减少对众多子眼标定耗费的大量时间与资源。

[0004] 目前常用的相机标定方法主要是先构造成像模型和畸变模型,然后采用基于径向约束、2D靶标、交比不变性等一系列标定方法求解这些相机模型中的内、外和畸变参数,从而建立图像与空间点的关系。而在复眼系统中,子眼数目众多,越靠近球壳边缘子眼的畸变越大越复杂,如果分别对每个子眼标定,面临模型难以构造,子眼坐标系众多,标定工作量大等问题;同时在复眼大视场内进行标定,需要的大尺度靶标价格昂贵,同时靶标精度难以保证。因此这些常见标定方法不能适用于此场合。

[0005] 考虑到复眼系统标定的复杂性,因此,必须设计一套标定高精度、坐标系统一、自动化运行的标定装置和对应的高效灵活的标定方法。

[0006] 需要根据仿生复眼系统结构特点,设计一套标定装置和对应的标定方法,不再需要集中于如何求解系统具体的成像和畸变参数,从而克服现有标定方法的不足,实现构造覆盖复眼全视场范围的高精度靶标,通过软件控制实现标定过程的自动化运行,实现在统一坐标系下建立每个子眼通道光斑点与靶点角度之间的非线性对应关系,从而解决子眼多、畸变复杂、视场大的复眼系统的标定问题,同时提高标定效率,减小系统标定误差。

### 发明内容

[0007] 本发明要解决的技术问题为:克服现有标定方法的不足,提供一套标定高精度、坐标系统一、自动化运行的标定装置和对应的高效灵活的标定方法,实现近景大视场下复眼

系统的精确标定,且标定装置简单,标定精度高。

[0008] 本发明采用的技术方案为:一种基于单LED发光点和二维转台的复眼系统标定装置,包括二维转台、电机驱动器、LED、磁性表座支撑架、一维平移台、计算机和复眼系统。其中二维转台包括高精度伺服电机和固定框架,复眼系统安装在转台横轴的末端,复眼跟随竖轴和横轴转动。LED安置在磁性表座支撑架顶端,其安放位置可进行调整,支撑架固定于一维平移台,LED可在平移台上沿转台横轴方向实现一维平移运动。标定过程中,控制驱动器来驱动竖轴和横轴转动,通过控制一维平移台实现LED位置移动,复眼系统捕获三维空间目标点获得光斑图像,图像通过USB接口传输到计算机中,计算图像光斑点中心坐标,记录竖轴、横轴角度值和光斑中心坐标,从而在统一的坐标系下的两个位置上建立每个子眼的坐标-角度的映射关系。

[0009] 另外,本发明还提供一种基于单LED发光点和二维转台的复眼系统标定方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤(1) 调节二维转台装置,实现竖轴与横轴相交于复眼球冠面的球心位置,并使竖轴与横轴相互垂直。

[0011] 步骤(2) 设置两个电机转动轴的角度零点位置,作为标定过程中角度转动的起点,并将两个电机转动到零点位置。

[0012] 步骤(3) 将LED放置在复眼前方约500mm处,在 $360^\circ$ 内等角度间隔转动横轴,在每个位置采集复眼捕获的斑点图像,通过USB接口将图像传输到计算机中计算光斑中心坐标,沿导轨方向调整LED位置,在转动横轴时,使中心子眼的成像光斑中心位置不变。

[0013] 步骤(4) 从角度零点位置开始,计算机的控制流程(图5)实现标定过程的自动化运行,驱动上下电机带动复眼转动。记此时LED的位置为 $Z_1$ ,在设定的一系列角度位置上,采集LED成像在CMOS上的光斑图像,计算图像光斑中心点坐标,将光斑与对应子眼通道进行匹配,确定斑点所属子眼,并记录子眼通道此时上下电机的转动角度与光斑点坐标。

[0014] 步骤(5) 第一个位置记录完了后,测量LED到复眼球冠面球心的距离。

[0015] 步骤(6) 控制一维平移台移动LED到新的位置 $Z_2$ ,在 $Z_2$ 位置上重复步骤(4)和(5)。

[0016] 步骤(7) 在两轴转动时,可以把两轴的转动转换为LED的旋转,因此可以认为转台静止,而LED在空间中围绕两轴交点旋转。根据这一关系,如图3所示,建立统一的坐标系,可以在 $Z_1$ 和 $Z_2$ 两个位置上分别得到LED在空间中呈球面分布的虚拟三维靶标,记录 $Z_1$ 和 $Z_2$ 两个位置上LED与两轴交点的距离、每个子眼对应的两电机转轴转动的角度和图像点的坐标。

[0017] 步骤(8) 根据记录的坐标和角度关系,通过离散点插值的方法可以得到斑点在每个虚拟球面上的对应位置,进一步可以得到每一个图像斑点与入射光线矢量的映射关系,即可完成标定过程。

[0018] 上述的标定方法用数学模型表达为:

[0019] 竖轴相对于其角度零点转动角度记为 $\alpha$ ,横轴相对于其角度零点转动角度记为 $\beta$ ,图像上光斑点坐标记为 $P(u, v)$ ,则对于每个子眼在 $Z_1$ 位置两电机转动的角度和光斑位置可以记为 $(\alpha_{11}, \beta_{11}, P_{11})$ ,  $(\alpha_{12}, \beta_{12}, P_{12})$ ,  $\dots$ ,  $(\alpha_{1n}, \beta_{1n}, P_{1n})$ ,在 $Z_2$ 位置两个电机转动的角度和光斑位置记为 $(\alpha_{21}, \beta_{21}, P_{21})$ ,  $(\alpha_{22}, \beta_{22}, P_{22})$ ,  $\dots$ ,  $(\alpha_{2n}, \beta_{2n}, P_{2n})$ 。因此我们建立了每个子眼的图像上点与对应 $Z_1$ 和 $Z_2$ 两个位置的球面上点与转台坐标系夹角的关系 $P(u, v) \leftrightarrow (\alpha_1, \beta_1)$ 和 $P$

$(u,v) \leftrightarrow (\alpha_2, \beta_2)$ 。

[0020] 建立如图3所示OXYZ世界坐标系,坐标系原点位于两轴交点,Y轴与竖轴重合,正方向为远离下电机的方向,Z轴于横轴重合,正方向为远离上电机的方向,坐标系为右手坐标系,X方向如图所示。如图4所示,在距离原点为R的位置上,上下电机的角度为 $(\alpha, \beta)$ ,其虚拟靶标点的三维坐标 $(x, y, z)$ 为:

$$[0021] \quad \begin{cases} x = R \times \sin(\alpha) \times \cos(\beta) \\ y = R \times \sin(\alpha) \times \sin(\beta) \\ z = R \times \cos(\alpha) \end{cases}$$

[0022] 在两个这样的位置上建立斑点-角度的对应关系,对于一个已知的角度,通过插值,可以得到对应角度,从而分别获得在Z1和Z2两个位置上虚拟球面上的对应点,对应点连线的直线方程即为入射光线,设入射光线与坐标系夹角为 $(\theta, \varphi)$ ,因此可以建立斑点与入射光线矢量的关系 $P(u,v) \leftrightarrow (\theta, \varphi)$ ,实现标定。

[0023] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0024] (1) 本发明的标定装置由单LED和二维转台组成,可以构建覆盖复眼全视场的靶标,统一了众多子眼的坐标系,不需考虑成像和畸变的具体模型,所以适合子眼多、畸变复杂、视场大复眼系统的标定。

[0025] (2) 本发明标定装置采用高精度伺服电机,保证转动角度位置精确;使用LED发光点,避免像点不清晰的现象,提高光斑中心提取精度;标定过程实现自动化使人为干扰少等原因使得标定精度较高。

[0026] (3) 本发明的系统调节完成以后,通过编写的软件控制可以实现无人值守自动化标定,在每个位置上很容易自动获得此时转台两轴的角度和计算复眼捕获目标得到的光斑点坐标,从而使标定过程更为便捷。

## 附图说明

[0027] 图1为本发明需要标定的新型仿生复眼结构示意图;

[0028] 图2为本发明标定系统示意图;

[0029] 图3为本发明标定方法原理图;

[0030] 图4为本发明中LED在坐标系中的位置关系示意图;

[0031] 图5为本发明中计算机控制流程图;

[0032] 图6为本发明用于三维目标定位示意图;

[0033] 图中标号:1-子眼透镜、2-弯月透镜、3-CMOS图像传感器、4-PCB、5-复眼球壳、6-计算机、7-上方电机、8-下方电机、9-复眼系统、10-转台固定框架、11-电机驱动器、12-LED(发光二极管)、13-磁性表座支撑架、14-一维平移台、15-上电机回转轴(横轴)、16-下电机回转轴(竖轴)、17-LED在第一个位置上形成的球形虚拟靶标、18-LED在第二个位置上形成的球形虚拟靶标。

## 具体实施方式

[0034] 下面根据附图并结合具体实施步骤对本发明的技术方案作进一步详细说明。

[0035] 需要标定的复眼系统如图1所示,由子眼透镜,弯月透镜、CMOS相机、球壳和外壳组成。半球形球壳上每个子眼透镜负责约 $20^\circ$ 视场区域的目标成像,弯月透镜处在子眼透镜与CMOS相机之间,用来优化视场中经过子眼透镜后的入射光线,CMOS相机将子眼和弯月透镜接收的光学图像转换为数字图像并输出,球壳与外壳是整个复眼系统的机械支撑结构。

[0036] 本发明提供的一种新型仿生复眼系统标定装置,具体由如下部分组织配合而成:

[0037] 如图2所示,本发明主要由二维转台、LED灯珠12、复眼系统9和计算机6组成,二维转台主要由两个伺服电机(7、8)和固定框架10组成,两个电机各自配备高精度驱动器11,复眼系统9固定在横轴末端,可随横轴15同步转动,竖轴16的转动可以带动两轴转台及横轴15在水平方向运动,横轴15和竖轴16可以在 $360^\circ$ 范围内转动。被标定的复眼系统9安装在横轴15上,通过调节复眼周围紧固螺母可以微调复眼固定在横轴15上的上下左右位置,从而便于调节竖轴和横轴与复眼球冠面球心相交。LED灯珠12安放于磁性表座支撑架13上,支撑架13固定在一维平移台14上,LED灯珠12位于转台原点位置的正前方。

[0038] 本发明提供的一种新型仿生复眼系统标定装置对应的标定方法,该标定方法具体包括以下步骤:

[0039] (1) 调节二维转台装置,如图3所示,实现横轴15与竖轴16相交于复眼9球冠面的球心位置,并使横轴15与竖轴16相互垂直。

[0040] (2) 设置两个电机转动轴的角度零点位置,作为标定过程中角度转动的起点,并将横轴和竖轴转动到零点位置。

[0041] (3) 将LED灯珠12放置在复眼前方约500mm处,在 $360^\circ$ 内等角度间隔转动横轴15,在每个角度位置上,复眼系统的子眼1捕获LED发光点12经过弯月透镜2成像在CMOS图像传感器3上,通过USB接口将图像传输到计算机6中计算光斑中心坐标,不断调整LED灯珠12的位置使横轴在不同角度下中间子眼的成像光斑中心重合。

[0042] (4) 从两轴角度零点位置开始,计算机的控制流程如图5所示,驱动横轴15和竖轴16带动复眼9转动,其中转动角度不等间隔,确保每个子眼通道1获得的图像光斑点的分布均匀性。记此时LED的位置为 $Z_1$ ,在设定的每个角度位置上,采集LED发光点12成像在CMOS图像传感器3上的光斑图像,计算图像光斑中心点坐标,将光斑与对应子眼通道进行匹配,确定斑点所属子眼,并记录子眼此时横竖轴的转动角度与对应光斑点坐标。

[0043] (5) 第 $Z_1$ 位置记录完了后,测量LED灯珠12到复眼9球冠面球心的距离。

[0044] (6) 控制一维平移台14移动LED灯珠12到新的位置 $Z_2$ ,在LED灯珠12的新位置上重复步骤(4)和(5)。

[0045] (7) 在两轴转动时,可以把两轴的转动转换为LED灯珠12的旋转,因此可以认为转台静止,而LED灯珠12在空间中围绕两轴交点旋转。根据这一关系,如图3所示,可以在 $Z_1$ 和 $Z_2$ 两个位置上分别得到LED发光点12在空间中呈球面分布的虚拟三维靶标17,18,记录两个位置上LED灯珠12与两轴交点的距离、每个子眼对应的两电机转轴转动的角度和图像点的坐标。

[0046] (8) 对于编号为 $m$  ( $1 \leq m \leq 141$ ) 的子眼,图像光斑中心点坐标为 $P(u, v)$ ,同时上下电机转动的角度为 $(\alpha, \beta)$ ,于是可以建立此子眼的光斑-角度对应关系 $(\alpha, \beta, P)$ 。当目标被复眼捕获后,通过计算得到图像上斑点坐标,需要获取此时的角度信息,而得到的斑点坐标不能完全与已知数据重合,使用离散点插值的方法依据已知斑点坐标和现有斑点-角度关系可

以获取未知角度信息。通过插值的方法得到在 $Z_1$ 和 $Z_2$ 两个位置上的角度信息,即可得到图像光斑在两个球面上的对应点,一个光斑对应两点构成的直线即为入射光线,因此建立了图像坐标与入射光线矢量之间的关系,完成复眼系统的标定过程。

[0047] 上述过程给出了本发明提供的的一种新型仿生复眼系统标定装置和对应的标定方法的实施过程,可以实现仿生复眼系统的高精度自动化标定。当标定完成后,可以使用复眼装置开展三维空间目标探测定位等工作。

[0048] 如图6所示,当空间中的一个目标点被复眼捕获时,假设其三维坐标为 $(x, y, z)$ ,图像上每个斑点可以通过角度插值的方法在标定的两个位置上得到对应角度 $(\alpha_1, \beta_1)$ 和 $(\alpha_2, \beta_2)$ ,已知角度可以在两个球面上得到对应点。如图4所示,记第一个球面位置与坐标系原点的距离为 $L_1$ ,第二个球面位置与原点的距离为 $L_2$ ,则在两个球面上计算得到两点坐标分别为 $M_1(x_1, y_1, z_1)$ 和 $M_2(x_2, y_2, z_2)$ 。

$$[0049] \quad \begin{cases} x_1 = L_1 \times \sin(\alpha_1) \times \cos(\beta_1) \\ y_1 = L_1 \times \sin(\alpha_1) \times \sin(\beta_1) \\ z_1 = L_1 \times \cos(\alpha_1) \end{cases} \quad \begin{cases} x_2 = L_2 \times \sin(\alpha_2) \times \cos(\beta_2) \\ y_2 = L_2 \times \sin(\alpha_2) \times \sin(\beta_2) \\ z_2 = L_2 \times \cos(\alpha_2) \end{cases}$$

[0050] 则同一光斑点在两个球面上的对应点构成的直线方程即为入射光线,其直线方程为:

$$[0051] \quad \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1}$$

[0052] 当发光点被多个子眼捕获时,可以得到多条入射光线,入射光线都是从目标点发出,因此入射光线的交点即为被测目标点,可以联立方程得:

$$[0053] \quad \begin{cases} \frac{x - x_{11}}{x_{21} - x_{11}} = \frac{y - y_{11}}{y_{21} - y_{11}} = \frac{z - z_{11}}{z_{21} - z_{11}} \\ \frac{x - x_{12}}{x_{22} - x_{12}} = \frac{y - y_{12}}{y_{22} - y_{12}} = \frac{z - z_{12}}{z_{22} - z_{12}} \\ \dots\dots \\ \frac{x - x_{1n}}{x_{2n} - x_{1n}} = \frac{y - y_{1n}}{y_{2n} - y_{1n}} = \frac{z - z_{1n}}{z_{2n} - z_{1n}} \end{cases}$$

[0054] 实际情况下空间目标点一般会被4到8个子眼捕获到,因此 $4 \leq n \leq 8$ ( $n$ 代表斑点个数),而需要求解的坐标参数只有三个,方程个数大于被求解参数个数,这是一个超定方程,通过最小二乘法可以解得空间点的三维坐标 $(x, y, z)$ 的最优解。

[0055] 在前述理论和工作基础上,我们不仅可以对三维大尺度物体进行测量,还可以对一个物体表面进行点云扫描从而实现面形重构。说明该发明的标定装置和标定方法实现的功能可以很好的应用到空间定位、面形测量、三维重构等工作中。



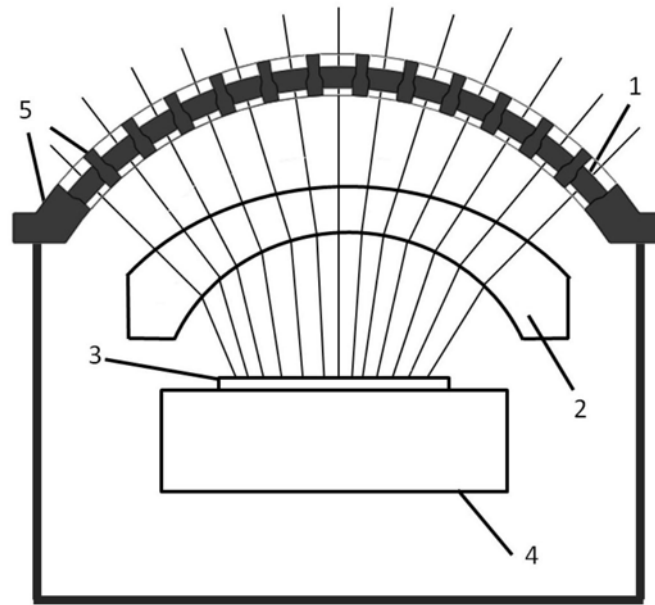


图1

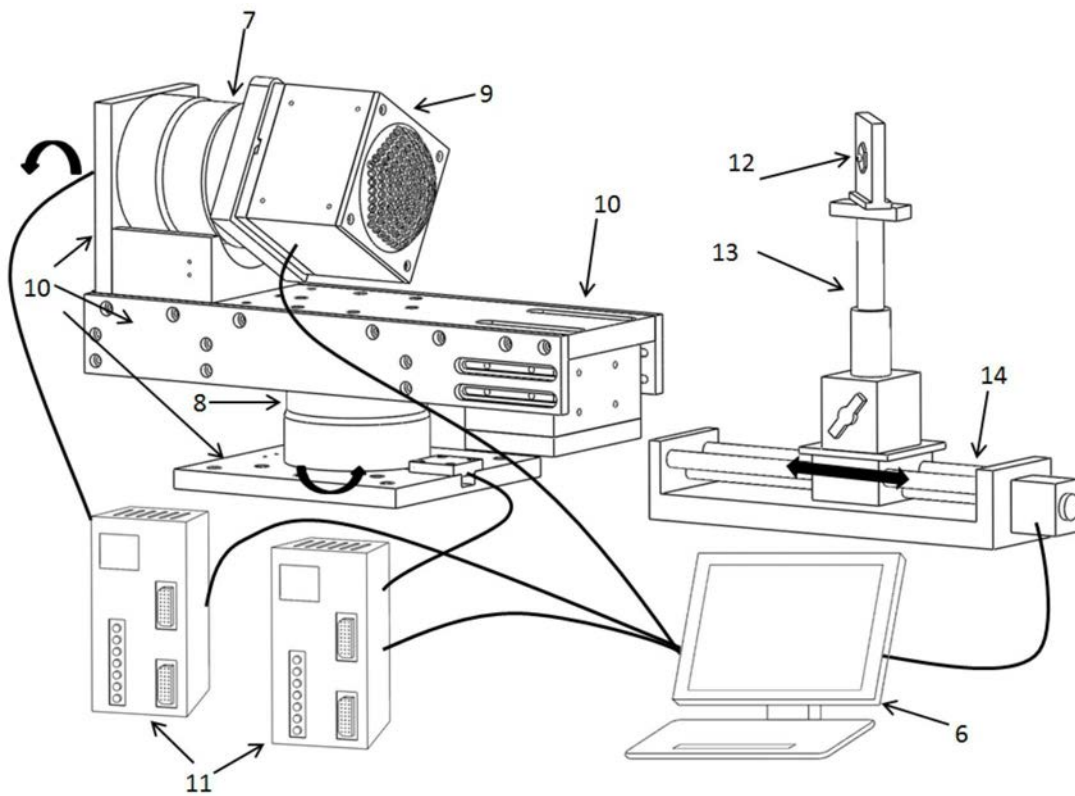


图2

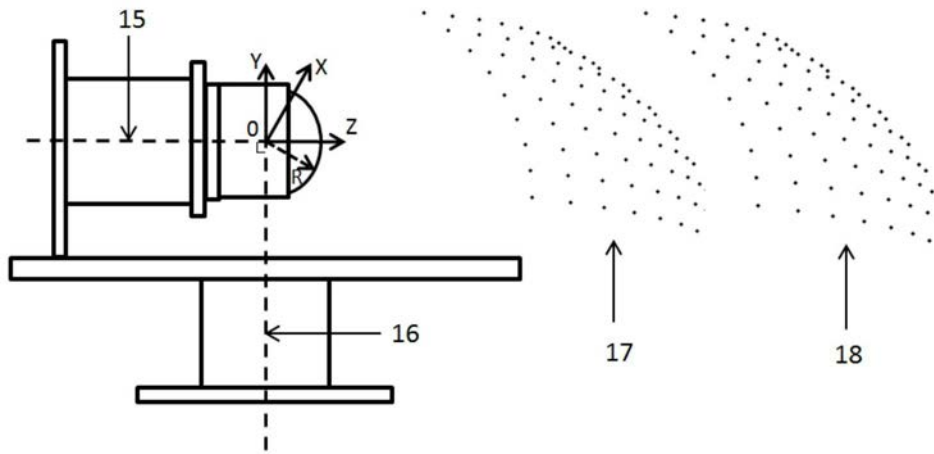


图3

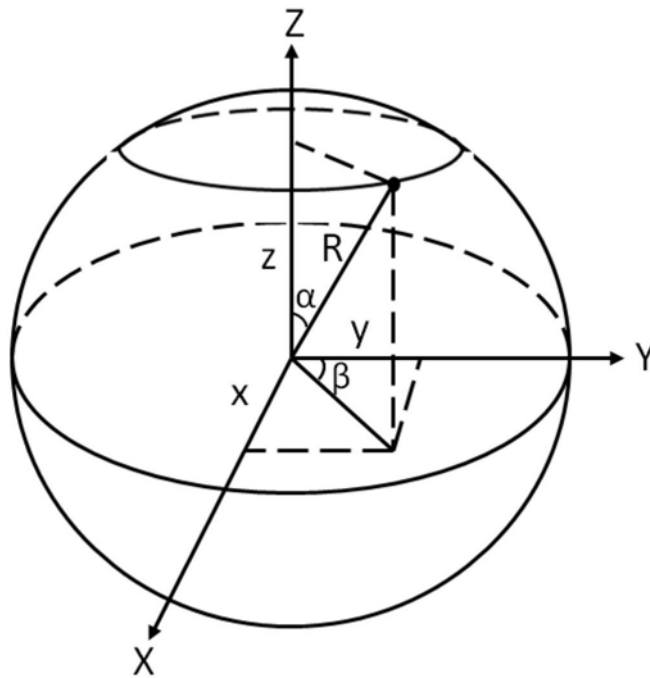


图4

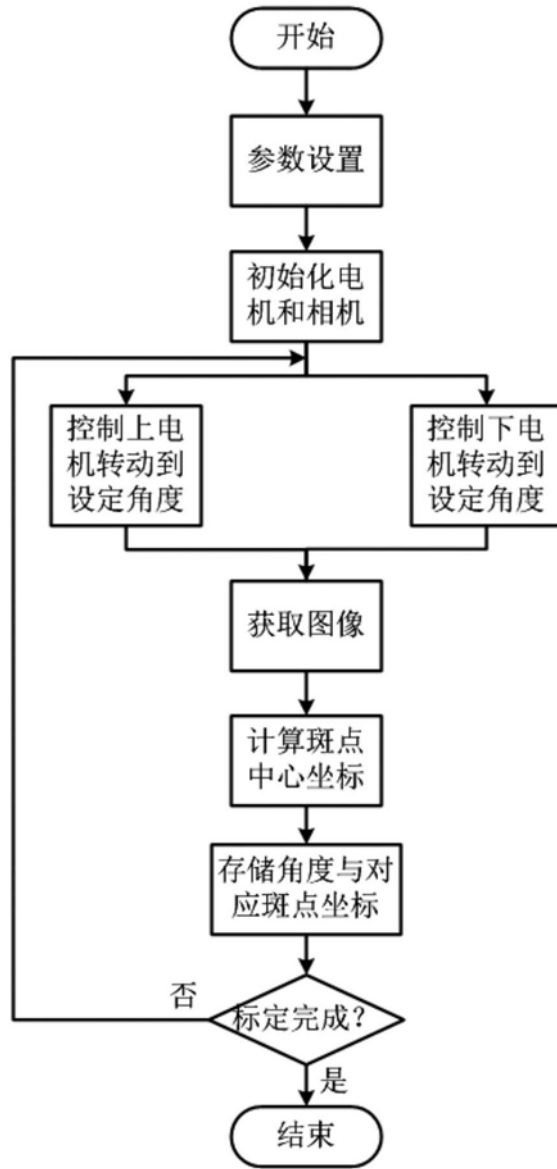


图5

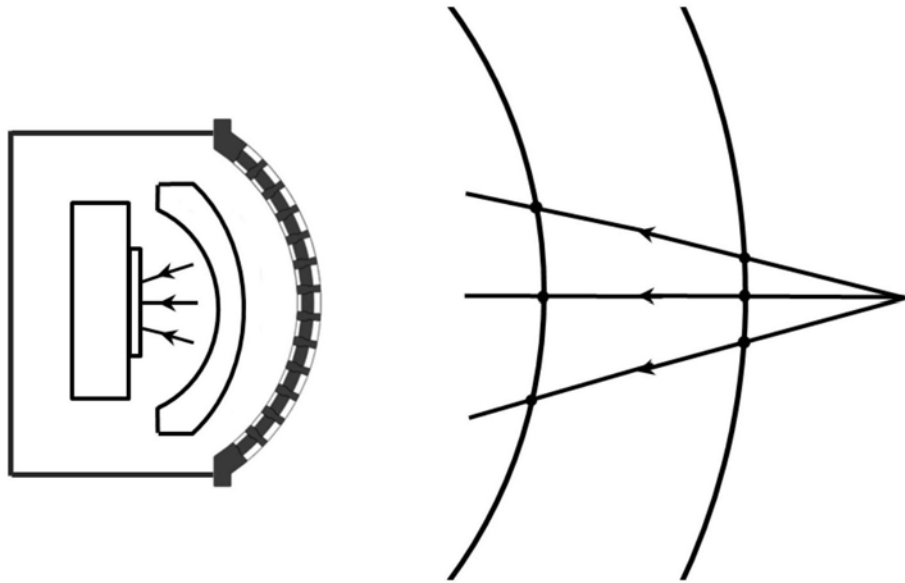


图6