



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115683059 B

(45) 授权公告日 2025. 05. 13

(21) 申请号 202211374739.X

G01C 15/10 (2006.01)

(22) 申请日 2022.11.04

G01B 11/00 (2006.01)

G06T 7/80 (2017.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115683059 A

(56) 对比文件

CN 106871799 A, 2017.06.20

(43) 申请公布日 2023.02.03

审查员 黄莹

(73) 专利权人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山

街道八一路299号

(72) 发明人 梅天灿 肖尧

(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 42222

专利代理师 许莲英

(51) Int. Cl.

G01C 11/00 (2006.01)

G01C 11/04 (2006.01)

权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种结构光三维垂线测量装置及方法

(57) 摘要

本发明提出了一种结构光三维垂线测量装置及方法。本发明方法通过张正友相机标定法对CCD相机参数进行标定;通过基于棋盘格的线结构光标定方法对激光平面参数进行标定;通过竖直放置两个姿态的棋盘格的方法,计算得到垂线方向向量标定参数;计算机控制CCD相机采集全景图像,提取水平方向的激光平面与垂线相交的光点和小球中心点的图像坐标,结合标定参数,构建垂线的解析方程和小球中心点投影成像的光线方程,联立求解得到小球中心点坐标,小球中心点坐标的变化量即为垂线在X、Y、Z三个方向上的位移。本发明的优点无需分别在三个方向配置相同结构的三套光源和传感器,简化结构,提高稳定性;使用高分辨率的相机和镜头,充分利用视场,可以提高测量精度和测量范围。



1. 一种结构光三维垂线测量装置的结构光三维垂线测量方法, 其特征在于, 所述结构光三维垂线测量装置包括: 计算机、CCD相机、线激光发射器、待测量垂线、支架、小球;

所述CCD相机与所示计算机连接;

所述线激光发射器放置于所述CCD相机下方, 朝向所述待测量垂线, 并发射水平方向的激光平面;

所述小球固定在所述待测量垂线上, 所述待测量垂线通过所述支架悬挂于所述CCD相机前方;

所述结构光三维垂线测量方法, 包括以下步骤:

步骤1: 计算机通过张正友相机标定法对CCD相机主点、CCD相机焦距、CCD相机畸变参数进行标定, 得到标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数;

步骤2: 计算机通过基于棋盘格的线结构光标定方法对激光平面参数进行标定, 得到激光平面方程参数;

步骤3: 将棋盘格竖直放置在CCD相机前方, 计算机通过CCD相机采集第一姿态棋盘格图像, 提取棋盘格角点的第一姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标, 计算局部棋盘格世界坐标系的第一姿态, 计算棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标, 将棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标通过最小二乘拟合方法计算得到第一姿态棋盘格平面的法向量;

步骤4: 将棋盘格旋转一定角度后, 计算机通过CCD相机采集第二姿态棋盘格图像, 提取棋盘格角点的第二姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标, 计算局部棋盘格世界坐标系的第二姿态, 计算棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标, 将棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标通过最小二乘拟合方法计算得到第二姿态棋盘格平面的法向量;

步骤5: 将第一姿态棋盘格平面的法向量、第二姿态棋盘格平面的法向量进行叉乘得到垂线方向向量标定参数;

步骤6: 计算机控制CCD相机采集全景图像, 结合CCD相机畸变参数对全景图像进行畸变矫正得到畸变校正后的图像, 提取水平方向的激光平面与垂线相交的光点的图像坐标, 提取小球中心点的图像坐标, 构建垂线的解析方程以及小球中心点投影成像的光线方程, 求解得到垂线在X、Y、Z三个方向上的位移。

2. 根据权利要求1所述的结构光三维垂线测量装置的结构光三维垂线测量方法, 其特征在于:

步骤3所述提取棋盘格角点的第一姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标, 具体为:

计算机采用棋盘格角点提取算法对第一姿态棋盘格图像进行处理, 提取棋盘格角点的第一姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标。

3. 根据权利要求1所述的结构光三维垂线测量装置的结构光三维垂线测量方法, 其特征在于:

步骤3所述计算局部棋盘格世界坐标系的第一姿态, 具体为:

计算机采用PnP算法, 结合棋盘格角点的第一姿态图像坐标和棋盘格角点在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标, 计算局部棋盘格世界坐标系的第一姿态;

步骤3所述计算棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标,具体为:

结合标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数、局部棋盘格世界坐标系的第一位姿,通过相机成像模型计算棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标。

4. 根据权利要求1所述的结构光三维垂线测量装置的结构光三维垂线测量方法,其特征在于:

步骤4所述提取棋盘格角点的第二姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标,具体如下:

计算机采用棋盘格角点提取算法对第二姿态棋盘格图像进行处理,提取棋盘格角点的第二姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标。

5. 根据权利要求1所述的结构光三维垂线测量装置的结构光三维垂线测量方法,其特征在于:

步骤4所述计算局部棋盘格世界坐标系的第二位姿,具体如下:

计算机采用PnP算法,结合棋盘格角点的第二姿态图像坐标和棋盘格角点在局部棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标,计算局部棋盘格世界坐标系的第二位姿;

步骤4所述计算棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标,具体为:

结合标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数、局部棋盘格世界坐标系的第二位姿,通过相机成像模型计算棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标。

6. 根据权利要求1所述的结构光三维垂线测量装置的结构光三维垂线测量方法,其特征在于:

步骤6所述取水平方向的激光平面与垂线相交的光点的图像坐标,具体为:

对畸变矫正后的图像处理,通过中值滤波、二值化、灰度质心法提取水平方向的激光平面与垂线相交的光点的图像坐标;

步骤6所述提取小球中心点的图像坐标,具体为:

计算机对畸变矫正后的图像通过形态学滤波、连通域分析截取包含小球的图像块,对包含小球的图像块通过高斯滤波、canny边缘提取、椭圆拟合提取小球中心点的图像坐标。

7. 根据权利要求1所述的结构光三维垂线测量装置的结构光三维垂线测量方法,其特征在于:

步骤6所述构建垂线的解析方程,具体为:

计算机结合激光平面方程参数,通过激光三角测量原理求解光点的坐标,结合垂线方向向量标定参数构建垂线的解析方程;

步骤6所述小球中心点投影成像的光线方程,具体为:

计算机结合标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数,根据相机成像模型,构建小球中心点投影成像的光线方程。

8. 根据权利要求1所述的结构光三维垂线测量装置的结构光三维垂线测量方法,其特征在于:

步骤6所述求解得到垂线在X、Y、Z三个方向上的位移,具体为:

计算机联立垂线的解析方程和小球中心点投影成像的光线方程,求解得到小球中心点坐标,小球中心点坐标的变化量即为垂线在X、Y、Z三个方向上的位移。

一种结构光三维垂线测量装置及方法

技术领域

[0001] 本发明方法属于计算机视觉领域,尤其涉及一种结构光三维垂线测量装置及方法。

背景技术

[0002] 垂线坐标仪是一种测量大型工程结构水平位移和(垂直位移)的传统仪器,广泛用于大坝、建筑物的水平位移和挠度监测,是确保大坝安全运行的重要仪表设备。为实现垂线仪观测数据实时采集、准确可靠、在线监控和快速反馈的目标,要求采用自动化测量方式。随着传感器技术的发展,采用自动遥测方式替代传统的人工观测模式,已经成为安全监测的一共重要发展方向。

[0003] 垂线坐标仪根据工作原理可以分为电容式、涡流式、光电式等类型。传统电容式垂线坐标仪可以实现对垂线大量程、高灵敏度、高精度的测量,但当测量环境潮湿多尘时,电容极板间介电常数容易发生缓慢变化,导致测量结果失真。CCD传感器由于体积小、重量轻、集成度高以及功耗低、线性好、动态范围大、寿命长和抗干扰能力强等优点在垂线坐标仪中得到广泛使用,现有自动化垂线坐标仪大多采用基于线阵CCD传感器的位移测量技术。基于CCD的垂线坐标仪的设计方法制了基于线阵CCD的垂线坐标仪用于矿井井壁变形观测。新型光电式垂线坐标仪的研制方法研制了一种大量程无透镜CCD垂线坐标仪。但仍存在只能测量平面两个方向、测量装置重复、量程小、测量精度受平行光源质量影响等问题。在此基础上,基于CCD的三维垂线坐标仪设计方法在水平方向的垂直基准线上固定一个与其垂直的圆盘,作为竖直方向的垂直基准,设计出三维垂线坐标仪。为扩大垂线仪的测量范围,大量程步进式垂线坐标仪的研制方法采用步进式测量原理,由步进电机驱动光电探头实现平面二维位移测量激光发射接收进行位置检测,采用对步进电机的驱动脉冲进行计数,通过丝杠导程来计算运动距离给出位移值。高速高精垂线坐标仪采用类似的思路研制了一种高速高精度垂线坐标仪,该仪器使用光栅尺进行位移测量。基于步进式测量原理的垂线仪由于仪器中包含电机及丝杠机构,结构较复杂,成本较高。

发明内容

[0004] 针对现有技术的问题,本发明提出了一种结构光三维垂线测量装置及方法,本发明不依赖高精度的平行光源和电机丝杠机构,结构简单,实时性好,对不同环境适应性强。

[0005] 本发明装置的技术方案为一种结构光三维垂线测量装置,包括:计算机、CCD相机、线激光发射器、待测量垂线、支架、小球;

[0006] 所述CCD相机与所示计算机连接;

[0007] 所述线激光发射器放置于所述CCD相机下方,朝向所述待测量垂线,并发射水平方向的激光平面;

[0008] 所述小球固定在所述待测量垂线上,所述待测量垂线通过所述支架悬挂于所述CCD相机前方;

[0009] 本发明方法的技术方案为一种结构光三维垂线测量方法,包括以下步骤:

[0010] 步骤1:计算机通过张正友相机标定法对CCD相机主点、CCD相机焦距、CCD相机畸变参数进行标定,得到标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数;

[0011] 步骤2:计算机通过基于棋盘格的线结构光标定方法对激光平面参数进行标定,得到激光平面方程参数;

[0012] 步骤3:将棋盘格竖直放置在CCD相机前方,计算机通过CCD相机采集第一姿态棋盘格图像,提取棋盘格角点的第一姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标,计算局部棋盘格世界坐标系的第一姿态,计算棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标,将棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标通过最小二乘拟合方法计算得到第一姿态棋盘格平面的法向量;

[0013] 步骤4:将棋盘格旋转一定角度后,计算机通过CCD相机采集第二姿态棋盘格图像,提取棋盘格角点的第二姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标,计算局部棋盘格世界坐标系的第二姿态,计算棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标,将棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标通过最小二乘拟合方法计算得到第二姿态棋盘格平面的法向量;

[0014] 步骤5:将第一姿态棋盘格平面的法向量、第二姿态棋盘格平面的法向量进行叉乘得到垂线方向向量标定参数;

[0015] 步骤6:计算机控制CCD相机采集全景图像,结合CCD相机畸变参数对全景图像进行畸变矫正得到畸变校正后的图像,提取水平方向的激光平面与垂线相交的光点的图像坐标,提取小球中心点的图像坐标,构建垂线的解析方程以及小球中心点投影成像的光线方程,求解得到垂线在X、Y、Z三个方向上的位移

[0016] 作为优选,步骤3所述提取棋盘格角点的第一姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标,具体为:

[0017] 计算机采用棋盘格角点提取算法对第一姿态棋盘格图像进行处理,提取棋盘格角点的第一姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标;

[0018] 作为优选,步骤3所述计算局部棋盘格世界坐标系的第一姿态,具体为:

[0019] 计算机采用PnP算法,结合棋盘格角点的第一姿态图像坐标和棋盘格角点在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标,计算局部棋盘格世界坐标系的第一姿态;

[0020] 作为优选,步骤3所述计算棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标,具体为:

[0021] 结合标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数、局部棋盘格世界坐标系的第一姿态,通过相机成像模型计算棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标;

[0022] 作为优选,步骤4所述提取棋盘格角点的第二姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标,具体如下:

[0023] 计算机采用棋盘格角点提取算法对第二姿态棋盘格图像进行处理,提取棋盘格角点的第二姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标;

[0024] 作为优选,步骤4所述计算局部棋盘格世界坐标系的第二姿态,具体如下:

[0025] 计算机采用PnP算法,结合棋盘格角点的第二姿态图像坐标和棋盘格角点在局部

棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标,计算局部棋盘格世界坐标系的第二位姿;

[0026] 作为优选,步骤4所述计算棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标,具体为:

[0027] 结合标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数、局部棋盘格世界坐标系的第二位姿,通过相机成像模型计算棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标;

[0028] 作为优选,步骤6所述取水平方向的激光平面与垂线相交的光点的图像坐标,具体为:

[0029] 对畸变矫正后的图像处理,通过中值滤波、二值化、灰度质心法提取水平方向的激光平面与垂线相交的光点的图像坐标;

[0030] 作为优选,步骤6所述提取小球中心点的图像坐标,具体为:

[0031] 计算机对畸变矫正后的图像通过形态学滤波、连通域分析截取包含小球的图像块,对包含小球的图像块通过高斯滤波、canny边缘提取、椭圆拟合提取小球中心点的图像坐标;

[0032] 作为优选,步骤6所述构建垂线的解析方程,具体为:

[0033] 计算机结合激光平面方程参数,通过激光三角测量原理求解光点的坐标,结合垂线方向向量标定参数构建垂线的解析方程;

[0034] 作为优选,步骤6所述构建小球中心点投影成像的光线方程,具体为:

[0035] 计算机结合标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数,根据相机成像模型,构建小球中心点投影成像的光线方程;

[0036] 作为优选,步骤6所述求解得到垂线在X、Y、Z三个方向上的位移,具体为:

[0037] 计算机联立垂线的解析方程和小球中心点投影成像的光线方程,求解得到小球中心点坐标,小球中心点坐标的变化量即为垂线在X、Y、Z三个方向上的位移。

[0038] 本发明的优点在于基于线结构光的激光三角测距原理,采用单一线结构光源,即可以实现垂线的三维位移测量,无需分别在X、Y、Z三个方向配置相同结构的三套光源和传感器,简化结构,提高稳定性;使用高分辨率的相机和镜头,充分利用视场,可以提高测量精度和测量范围。

附图说明

[0039] 图1:本发明实施例的装置结构示意图。

[0040] 图2:本发明实施例的方法流程图。

[0041] 图3:本发明实施例的三维垂线测量标定垂线方向向量原理图。

[0042] 图4:本发明实施例的三维垂线测量原理图。

具体实施方式

[0043] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0044] 具体实施时,本发明技术方案提出的方法可由本领域技术人员采用计算机软件技术实现自动运行流程,实现方法的系统装置例如存储本发明技术方案相应计算机程序的计算机可读存储介质以及包括运行相应计算机程序的计算机设备,也应当在本发明的保护范围内。

[0045] 图1为本发明实施例的装置结构示意图,本发明实施例装置的技术方案为一种结构光三维垂线测量装置,包括:计算机、CCD相机、线激光发射器、待测量垂线、支架、小球;

[0046] 所述CCD相机与所示计算机连接;

[0047] 所述线激光发射器放置于所述CCD相机下方,朝向所述待测量垂线,并发射水平方向的激光平面;

[0048] 所述小球固定在所述待测量垂线上,所述待测量垂线通过所述支架悬挂于所述CCD相机前方。

[0049] 所述计算机的选型为:i7-7700 CPU、16GB内存、Windows10操作系统;

[0050] 所述CCD相机的选型为:JAI GO-5000M-PGE;

[0051] 所述线激光发射器的选型为;恒久-100M-16A648-50-GLXS;

[0052] 所述待测量垂线的选型为:白色建筑弦线;

[0053] 所述支架的选型为:高50cm的实验室支架;

[0054] 所述小球的选型为直径5mm的白色塑料空心小球。

[0055] 下面结合图2-图4介绍本发明实施例提供的一种结构光三维垂线测量方法,具体如下:

[0056] 步骤1:计算机通过张正友相机标定法对CCD相机主点、CCD相机焦距、CCD相机畸变参数进行标定,得到标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数;

[0057] 步骤2:计算机通过基于棋盘格的线结构光标定方法对激光平面参数进行标定,得到激光平面方程参数;

[0058] 步骤3:将棋盘格竖直放置在CCD相机前方,计算机通过CCD相机采集第一姿态棋盘格图像,计算机采用棋盘格角点提取算法对第一姿态棋盘格图像进行处理,提取棋盘格角点的第一姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标;计算机采用PnP算法,结合棋盘格角点的第一姿态图像坐标和棋盘格角点在局部棋盘格世界坐标系下的第一姿态世界坐标,计算局部棋盘格世界坐标系的第一姿态;结合标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数、局部棋盘格世界坐标系的第一位姿,通过相机成像模型计算棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标,将棋盘格角点在相机坐标系下的第一姿态相机坐标通过最小二乘拟合方法计算得到第一姿态棋盘格平面的法向量;

[0059] 步骤4:将棋盘格旋转一定角度后,计算机通过CCD相机采集第二姿态棋盘格图像,计算机采用棋盘格角点提取算法对第二姿态棋盘格图像进行处理,提取棋盘格角点的第二姿态图像坐标和在局部棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标;计算机采用PnP算法,结合棋盘格角点的第二姿态图像坐标和棋盘格角点在局部棋盘格世界坐标系下的第二姿态世界坐标,计算局部棋盘格世界坐标系的第二位姿;结合标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数、局部棋盘格世界坐标系的第二位姿,通过相机成像模型计算棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标,将棋盘格角点在相机坐标系下的第二姿态相机坐标通过最小二乘拟合方法计算得到第二姿态棋盘格平面的法向量;

[0060] 步骤5:将第一姿态棋盘格平面的法向量、第二姿态棋盘格平面的法向量进行叉乘得到垂线方向向量标定参数;

[0061] 步骤6:计算机控制CCD相机采集全景图像,结合CCD相机畸变参数对全景图像进行畸变矫正,得到畸变校正后的图像;对畸变矫正后的图像处理,通过中值滤波、二值化、灰度质心法提取水平方向的激光平面与垂线相交的光点的图像坐标;计算机对畸变矫正后的图像通过形态学滤波、连通域分析截取包含小球的图像块,对包含小球的图像块通过高斯滤波、canny边缘提取、椭圆拟合提取小球中心点的图像坐标;计算机结合激光平面方程参数,通过激光三角测量原理求解光点的坐标,结合垂线方向向量标定参数构建垂线的解析方程;计算机结合标定后相机主点、标定后相机焦距、标定后相机畸变参数,根据相机成像模型,构建小球中心点投影成像的光线方程;计算机联立垂线的解析方程和小球中心点投影成像的光线方程,求解得到小球中心点坐标,小球中心点坐标的变化量即为垂线在X、Y、Z三个方向上的位移。

[0062] 本发明实施例的三维垂线测量标定垂线方向向量原理如图3所示,其中0-uv为相机成像面, $0_c-X_cY_cZ_c$ 为相机坐标系。棋盘格平面 α_1 为第一姿态下的棋盘格平面,棋盘格平面 α_2 为第二姿态下的棋盘格平面。 $P_{c,i,j}$ 为棋盘格平面 α_1 上一角点在相机坐标系下的坐标,其中下标c表示该坐标值基于相机坐标系,下标i表示该角点位于棋盘格的第i行,下标j表示该角点位于棋盘格的第j列,根据使用的标定板大小为 11×8 ,下标i的取值范围为1~11,下标j的取值范围为1~8。 $P_{w,i,j}$ 为第i行第j列的棋盘格角点在局部棋盘格世界坐标系下的坐标,其中下标w表示该坐标值基于局部棋盘格世界坐标系。 $p_{i,j}$ 为第i行第j列的棋盘格角点的投影点的图像坐标。 n_1 为棋盘格平面 α_1 的法向量, n_2 为棋盘格平面 α_2 的法向量, n 为垂线方向向量标定参数,其中垂线为平面 α_1 与平面 α_2 的交线,则垂线方向向量可由两平面的法向量叉乘求出,即 $n=n_1 \times n_2$ 。

[0063] 本发明实施例的三维垂线测量原理如图4所示,其中0-uv为相机成像面, $0_c-X_cY_cZ_c$ 为相机坐标系。 P_c 为小球中心点, p 为其成像的像点。 P_l 为激光平面与垂线相交的光点, p_l 为其成像的像点。其中小球中心点投影成像的光线 P_cp 与垂线相交于点 P_c ,则联立光线 P_cp 的方程与垂线方程有:

$$[0064] \begin{pmatrix} -f_x & 0 & u-u_0 \\ 0 & -f_y & v-v_0 \\ n_x & 0 & -n_x \\ 0 & n_y & -n_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ n_x x_1 - n_x z_1 \\ n_y y_1 - n_y z_1 \end{pmatrix}$$

[0065] 其中, f_x 为标定后X方向相机焦距, f_y 为标定后Y方向相机焦距, u_0 为标定后相机主点X方向偏移量, v_0 为标定后相机主点Y方向偏移量, n_x 为垂线方向向量标定参数 n 的X方向分量, n_y 为垂线方向向量标定参数 n 的Y方向分量, n_z 为垂线方向向量标定参数 n 的Z方向分量, x_c 为 P_c 在相机坐标系下的X坐标值, y_c 为 P_c 在相机坐标系下的Y坐标值, z_c 为 P_c 在相机坐标系下的Z坐标值。对上述超定方程组求最小二乘解即得到小球中心点 P_c 的坐标值 x_c 、 y_c 、 z_c 。

[0066] 实验:根据本发明所述方法,基于Windows平台构建基于结构光的三维垂线测量系统(以下简称本系统),在实验室移动平台上进行垂线位移测量实验,使用高精度光栅尺和导轨,控制垂线每次移动5mm,将测量的垂线位移与光栅尺读数对比,计算误差,实验数据如表1、表2所示:

[0067] 表1:垂线X方向位移测量实验结果表(单位:mm)

	移动次数	光栅尺读数	测量值	误差
	0	0	0	-
	1	5.000	4.983	0.018
	2	10.001	9.904	0.097
	3	15.005	14.980	0.025
	4	20.004	19.967	0.036
	5	25.004	24.919	0.085
	6	30.002	29.970	0.032
[0068]	7	35.001	35.008	-0.007
	8	40.003	39.923	0.080
	9	45.002	44.874	0.129
	10	50.002	49.893	0.109
	11	55.005	54.897	0.108
	12	60.003	59.876	0.127
	13	65.005	64.928	0.077
	14	70.006	69.943	0.064
	15	75.007	74.912	0.096
	16	80.007	79.886	0.121

[0069] 表2:垂线Y方向位移测量实验结果表(单位:mm)

	移动次数	光栅尺读数	测量值	误差
	0	0	0	-
	1	5.003	4.866	0.137
	2	10.003	9.803	0.200
	3	15.002	14.781	0.221
	4	20.001	19.812	0.189
	5	25.000	25.055	-0.055
	6	30.001	30.081	-0.080
[0070]	7	35.000	34.936	0.064
	8	40.000	40.066	-0.066
	9	45.003	45.282	-0.279
	10	50.003	50.103	-0.100
	11	55.001	55.122	-0.121
	12	60.000	60.201	-0.201
	13	65.003	65.135	-0.132
	14	70.001	70.056	-0.055
	15	75.002	75.095	-0.093
	16	80.000	80.146	-0.146

[0071] 垂线在Z方向的位移难以精确控制,因此在垂线上悬挂2个小球,用上述方法测量2个小球之间的距离,与用游标卡尺测量的距离对比,实验数据如表3所示:

[0072] 表3:垂线Z方向位移测量实验结果表(单位:mm)

	测量次数	游标卡尺读数	测量值	误差
[0073]	1	38.50	38.790	-0.290
	2	38.50	38.512	-0.012
	3	38.50	38.298	0.202
	4	38.50	38.246	0.254
	5	38.50	38.463	0.037

[0074] 综上所述,针对现有垂线坐标仪只能测量平面两个方向的位移、测量范围小、仪器结构复杂等问题,本发明基于激光三角测量原理,选择合适的相机与镜头,构建结构光测量系统,同时在垂线上固定小球,实现同时测量垂线在三个方向上的位移,精度高,测量范围大,测量速度快,结构简单,可靠性高。实验结果证实了本发明提出的方法可以同时测量垂线三个方向上的位移,测量精度达到要求。

[0075] 应当理解的是,本说明书未详细阐述的部分均属于现有技术。

[0076] 尽管本文较多地使用了计算机、CCD相机、线激光发射器、待测量垂线、支架、小球等术语,但并不排除使用其他术语的可能性。使用这些术语仅仅是为了更方便的描述本发明的本质,把它们解释成任何一种附加的限制都是与本发明精神相违背的。

[0077] 应当理解的是,上述针对较佳实施例的描述较为详细,并不能因此而认为是对本发明专利保护范围的限制,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明权利要求所保护的范围情况下,还可以做出替换或变形,均落入本发明的保护范围之内,本发明的请求保护范围应以所附权利要求为准。

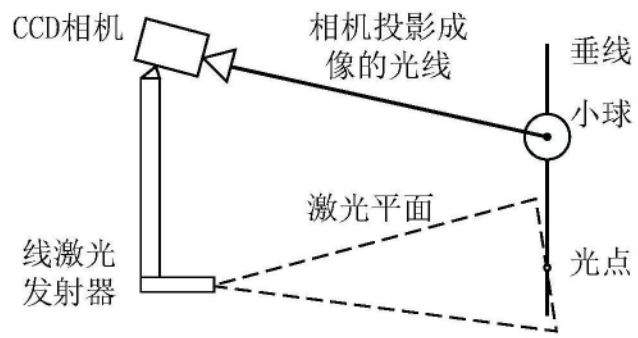


图1

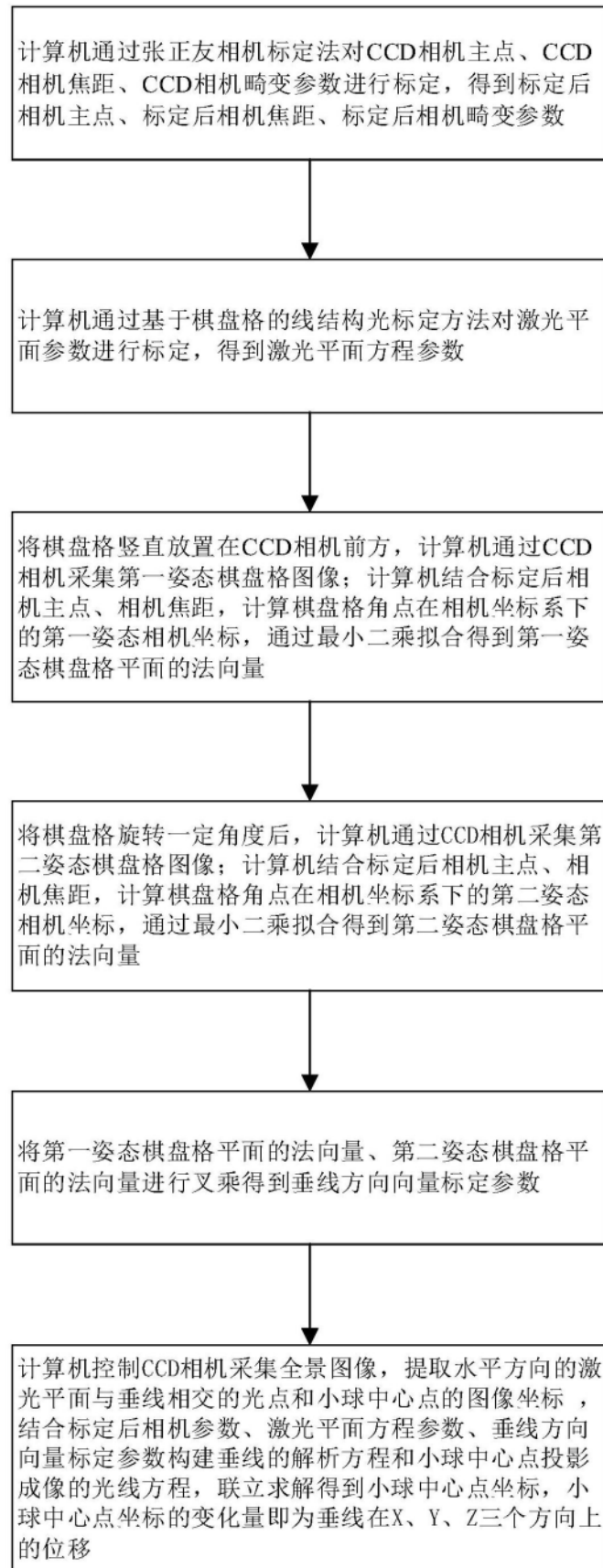


图2

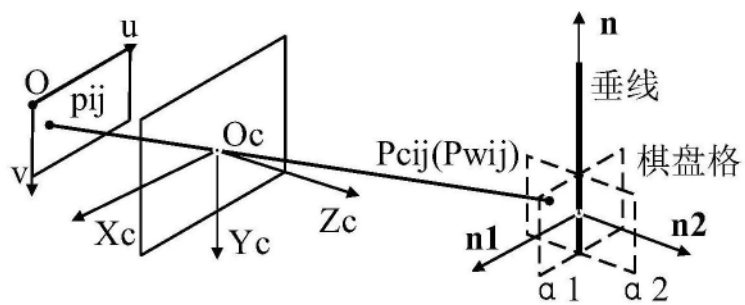


图3

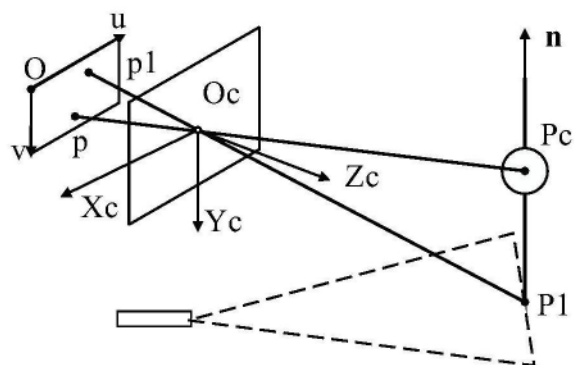


图4