



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108759714 A

(43)申请公布日 2018. 11. 06

(21)申请号 201810497328.7

(22)申请日 2018.05.22

(71)申请人 华中科技大学

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路  
1037号

(72)发明人 李中伟 陈瀚 钟凯 史玉升  
王从军

(74)专利代理机构 华中科技大学专利中心  
42201

代理人 尚威 李智

(51) Int. Cl.

G01B 11/24(2006.01)

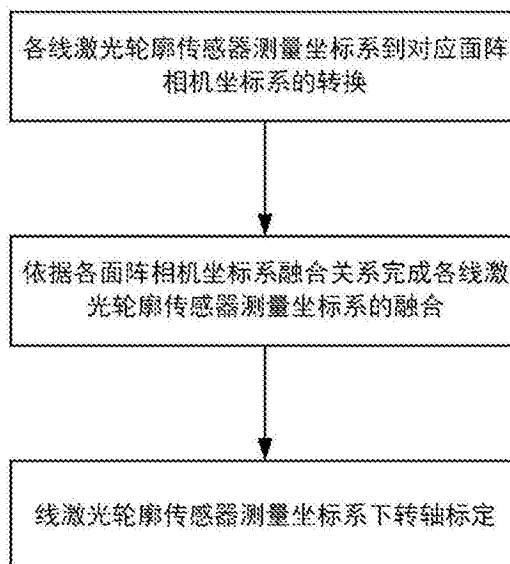
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法

(57)摘要

本发明公开了一种多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法,该方法借助于多个面阵相机,完成了多个线激光轮廓传感器测量坐标的融合,以及线激光轮廓传感器测量坐标系下转轴的标定,用于实现大型回转体零件的快速、高精度的旋转三维测量。本发明提出的一种基于多相机辅助的多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法,不依赖于机械结构的安装精度,大大降低了设备安装要求,提高测量的精度。同时,通过坐标系融合及转轴标定,有效的发挥了线激光轮廓传感器的测量速度和精度,比传统的面阵相机加线激光器模型的测量速度高出数倍,有利于大型回转体零件的在线测量。



1. 一种多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法,用于回转体零件激光扫描测量装置中的多个线激光轮廓传感器坐标系融合,以及旋转平台的转轴的标定,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1: 设置与线激光轮廓传感器的数量相等且一一对应的面阵相机,利用相互对应的线激光轮廓传感器和面阵相机,同时拍摄同一第一立体标靶,从而获得各线激光轮廓传感器的测量坐标系到对应的面阵相机坐标系的转换关系;

步骤2: 在旋转平台上放置第二立体标靶,利用多个面阵相机拍摄该第二立体标靶,求解出各面阵相机之间的坐标系转换关系,从而将各面阵相机坐标系进行融合;进而根据步骤1得到的各线激光轮廓传感器的测量坐标系到对应的面阵相机坐标系的转换关系,将各线激光轮廓传感器的测量坐标系融合;

步骤3: 使步骤2的第二立体标靶原位旋转,每旋转一角度,利用各面阵相机采集一次第二标靶的图像;根据多次采集的结果,拟合出旋转平台的转轴在面阵相机坐标系中的三维坐标,结合步骤2中各线激光轮廓传感器的测量坐标系的融合结果,完成旋转平台的转轴在线激光轮廓传感器的测量坐标系下的标定。

2. 根据权利要求1所述的一种多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法,其特征在于,步骤1中的第一标靶为阶梯块,在阶梯块的各台阶面上设置互不相同的编码标志点,且同一台阶面上设有两个不同的编码标志点,所有编码标志点在阶梯块自身坐标系下的三维坐标已知,步骤1包括以下子步骤:

1.1) 对于任意一个线激光轮廓传感器及与其对应的面阵相机,计算面阵相机坐标系相对于阶梯块坐标系的姿态;利用线激光轮廓传感器向阶梯块的台阶面投射激光条纹,提取激光条纹与阶梯块每个台阶上两个编码标志点中心连线的交点,结合各面阵相机坐标系相对于阶梯块坐标系的姿态计算出这一系列交点在面阵相机坐标系下的三维坐标;通过拟合这些交点,标定出线激光轮廓传感器的激光平面在面阵相机坐标系下的平面方程;

1.2) 步骤1.1的激光条纹沿阶梯块的各级台阶形成折线,面阵相机获取该激光条纹形成的折线的拐点,结合步骤1.1得到的线激光轮廓传感器的激光平面在面阵相机坐标系下的平面方程,求解出各拐点在相机坐标系下的三维坐标,进而计算出线激光轮廓传感器测量坐标系到面阵相机坐标系转换关系,重复上述步骤完成每个线激光轮廓传感器的测量坐标系到对应的面阵相机坐标系的转换。

3. 根据权利要求1或2所述的一种多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法,其特征在于,在第二立体标靶的侧面设置多个各不相同的编码标志点,且各编码标志点不在以旋转平台转轴为轴线的同一个圆上,各编码标志点在第二立体标靶自身坐标系下的三维坐标已知,步骤3包括如下子步骤:

3.1) 启动旋转平台带动第二立体标靶旋转,每隔 $\theta$ 度旋转一次,同时各面阵相机同时采集一次立体标靶图像,即可提取到一组编码标志点在相机坐标系下的三维坐标值,多次旋转则可提取到多组编码标志点坐标值;

3.2) 将同一个编码标志点在各个不同角度下的坐标点拟合成一个圆,则圆心即为旋转平台的转轴上的一点;

3.3) 重复步骤3.2,将第二立体标靶上每个编码标志点的轨迹均拟合成圆,提取所有圆的圆心,得到转轴上的一系列点,从而拟合出转轴,获得转轴在相机坐标系下的参数方程,

结合步骤2中各线激光轮廓传感器的测量坐标系的融合结果,完成旋转平台的转轴在线激光轮廓传感器的测量坐标系下的标定。

4.根据权利要求3所述的一种多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法,其特征在于,第二立体标靶的表面随机粘贴不同的编码标志点,且各编码标志点均匀分布。

## 一种多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于三维测量技术领域,更具体地,涉及一种基于多相机辅助的多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法。

### 背景技术

[0002] 大型回转体零件是水利水电、冶炼、石油化工、核电、铁路等重大工程项目的核心零部件之一。随着现代工业的对大型装备需求的不断扩大,对这些核心零件的加工质量提出了更高的要求,许多关键零件在出厂使用前都需要进行几何尺寸检测。但是由于这些核心零件尺寸大、曲面复杂、检测节拍要求高,采用传统的三坐标测量机难以满足要求,在生产线上还是由人工检测来完成。在车间内由工作人员使用轮径尺、卡尺、塞规等简单测量工具来测量车轮的相关尺寸。这种方法效率很低,容易受到工作人员的操作方法、熟练程度等因素影响,检测的准确性不高、精度差。

[0003] 为了快速有效的检测出大型回转体零件的关键尺寸,国内外制造企业开始引入非接触式光学三维测量技术实现零件快速高精度的测量。其中,结构光三维测量具有分辨率高、速度快的优势,特别适合复杂自由曲面的三维测量。面结构光三维测量是通过向被测物表面投射明暗相间的编码条纹,通过对条纹解码来获取被测物体表面的三维坐标信息。由于投射的是可见光,因此,对测量物体表面纹理、反光特性有较高的要求。线激光三维测量是向物体表面投射一条高亮度激光条纹,通过提取变形的激光条纹信息,计算出被测物上光带的物理坐标。大型零部件多为金属零件,反光性强,面结构光三维测量技术难以很好的实现测量,而线激光三维测量技术由于其激光波长恒定、亮度高,对环境和被测物体表面反射特性不敏感,能够很好的实现金属零件的三维测量。

[0004] 目前所使用的线激光轮廓仪测量范围均较小,且现有的基于线激光轮廓传感器的技术,多采用线激光轮廓传感器配合高精直滑轨进行三维测量,而且当涉及到多个线激光轮廓传感器测量坐标系融合时,主要时依靠安装精度来保证多个线激光轮廓传感器之间的测量精度,无法精确有效的标定出多个线激光轮廓传感器之间的相对位置关系。因此,在测量大型零件时精度往往难以保证。针对大型回转体零件的三维测量,单一的线激光轮廓传感器无法实现零件外表面的全覆盖,线激光轮廓传感器配合直线导轨又无法实现复杂曲面的测量。采用多个线激光轮廓传感器配合旋转平台同时进行测量是最优的解决办法,但多个线激光轮廓传感器之间测量坐标系的精确融合和转轴标定成为面临的关键问题。

[0005] 除了上述依靠安装精度来保证的方式之外,另一种是采用图像标定的方式实现多线激光轮廓传感器测量坐标系融合和转轴标定。但是,目前国内外主流的线激光轮廓传感器为了加大测量景深范围,提高测量速度和测量精度,均采用沙姆镜头的相机。这种倾斜镜头的相机与传统的小孔成像模型相机有很大的区别:成像时,在激光平面所在位置成像较清晰,偏离激光平面获取的图像为离焦图像,当对离焦图像进行特征提取时会造成较大精度的损失。因此,这种镜头为仅仅依靠线激光轮廓传感器自身的相机来进行坐标系融合和转轴标定的实现带来了巨大的阻碍。

[0006] 近年来,虽然国内外也有相关制造企业利用线激光轮廓传感器研制出一些大型回转体零件制造质量检测设备,但是由于上述高精度的坐标系融合及转轴标定的难题,测量方式仍然停留在基于零件横向某一断面的二维测量,检测的尺寸数据个数有限,检测结果无法及时、全面反映零件整体的质量状况,且对一些形状要求高的曲面无法完成形状检测。

### 发明内容

[0007] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种基于多相机辅助的多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法,其目的在于能够高精度的标定出多线激光轮廓传感器坐标系关系及转轴姿态,实现大型回转体零件的快速、精确地旋转三维测量。

[0008] 为了实现上述目的,按照本发明提供了一种多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法,用于回转体零件激光扫描测量装置中的多个线激光轮廓传感器坐标系融合,以及旋转平台的转轴的标定,包括如下步骤:

[0009] 步骤1:设置与线激光轮廓传感器的数量相等且一一对应的面阵相机,利用相互对应的线激光轮廓传感器和面阵相机,同时拍摄同一第一立体标靶,从而获得各线激光轮廓传感器的测量坐标系到对应的面阵相机坐标系的转换关系;

[0010] 步骤2:在旋转平台上放置第二立体标靶,利用多个面阵相机拍摄该第二立体标靶,求解出各面阵相机之间的坐标系转换关系,从而将各面阵相机坐标系进行融合;进而根据步骤1得到的各线激光轮廓传感器的测量坐标系到对应的面阵相机坐标系的转换关系,将各线激光轮廓传感器的测量坐标系融合;

[0011] 步骤3:使步骤2的第二立体标靶原位旋转,每旋转一角度,利用各面阵相机采集一次第二标靶的图像;根据多次采集的结果,拟合出旋转平台的转轴在面阵相机坐标系中的三维坐标,结合步骤2中各线激光轮廓传感器的测量坐标系的融合结果,完成旋转平台的转轴在线激光轮廓传感器的测量坐标系下的标定。

[0012] 进一步地,步骤1中的第一标靶为阶梯块,在阶梯块的各台阶面上设置互不相同的编码标志点,且同一台阶面上设有两个不同的编码标志点,所有编码标志点在阶梯块自身坐标系下的三维坐标已知,步骤1包括以下子步骤:

[0013] 1.1) 对于任意一个线激光轮廓传感器及与其对应的面阵相机,计算面阵相机坐标系相对于阶梯块坐标系的姿态;利用线激光轮廓传感器向阶梯块的台阶面投射激光条纹,提取激光条纹与阶梯块每个台阶上两个编码标志点中心连线的交点,结合各面阵相机坐标系相对于阶梯块坐标系的姿态计算出这一系列交点在面阵相机坐标系下的三维坐标;通过拟合这些交点,标定出线激光轮廓传感器的激光平面在面阵相机坐标系下的平面方程;

[0014] 1.2) 步骤1.1的激光条纹沿阶梯块的各级台阶形成折线,面阵相机获取该激光条纹形成的折线的拐点,结合步骤1.1得到的线激光轮廓传感器的激光平面在面阵相机坐标系下的平面方程,求解出各拐点在相机坐标系下的三维坐标,进而计算出线激光轮廓传感器测量坐标系到面阵相机坐标系转换关系,重复上述步骤完成每个线激光轮廓传感器的测量坐标系到对应的面阵相机坐标系的转换。

[0015] 进一步地,在第二立体标靶的侧面设置多个各不相同的编码标志点,且各编码标志点不在以旋转平台转轴为轴线的同一个圆上,各编码标志点在第二立体靶标自身坐标系下的三维坐标已知,步骤3包括如下子步骤:

[0016] 3.1) 启动旋转平台带动第二立体标靶旋转,每隔 $\theta$ 度旋转一次,同时各面阵相机同时采集一次立体标靶图像,即可提取到一组编码标志点在相机坐标系下的三维坐标值,多次旋转则可提取到多组编码标志点坐标值;

[0017] 3.2) 将同一个编码标志点在各个不同角度下的坐标点拟合成一个圆,则圆心即为旋转平台的转轴上的一点;

[0018] 3.3) 重复步骤3.2,将第二立体标靶上每个编码标志点的轨迹均拟合成圆,提取所有圆的圆心,得到转轴上的一系列点,从而拟合出转轴,获得转轴在相机坐标系下的参数方程,结合步骤2中各线激光轮廓传感器的测量坐标系的融合结果,完成旋转平台的转轴在线激光轮廓传感器的测量坐标系下的标定。

[0019] 进一步地,第二立体标靶的表面随机粘贴不同的编码标志点,且各编码标志点均匀分布。

[0020] 总体而言,本发明通过借助多个面阵相机,实现了在利用多个线激光轮廓传感器配合旋转平台对大型回转体零件的进行旋转三维测量的情形下,对多个线激光轮廓传感器测量坐标系关系及转轴姿态的精确标定。与现有技术相比,能够得到以下有益效果:

[0021] 1) 本发明借助于多个面阵相机,完成了多个线激光轮廓传感器测量坐标系的精确融合和转轴标定,不依赖于机械结构的安装精度,大大降低了设备安装要求,提高测量的精度。

[0022] 2) 本发明有效的发挥了线激光轮廓传感器的测量速度和测量精度,比传统的相机加线激光器模型的测量速度提高数倍,有利于大型回转体零件的在线测量。

## 附图说明

[0023] 图1为本发明的结构示意图;

[0024] 图2为本发明的阶梯块标靶;

[0025] 图3为本发明的流程图。

## 具体实施方式

[0026] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0027] 本发明所提供的一种基于多相机辅助的多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法,可以用于实现大型回转体零件的旋转三维测量。首先借助多个面阵相机实现多个线激光轮廓传感器的测量坐标系融合和转轴标定问题;然后,就可以通过多个线激光轮廓传感器同步采集大型回转体零件单一截面轮廓,结合安装于旋转平台转轴的旋转编码器提供的角度位置信息,将极坐标转换成直角坐标,完成零件的三维形貌重建。

[0028] 如图1所示,本发明提供的一种基于多相机辅助的多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法中的主要结构包括:龙门架1、五个线激光轮廓传感器2、五个面阵相机3、旋转平台4、十字支撑架5以及其他固定结构。其中,线激光轮廓传感器2和面阵相机3通过螺栓固定在龙门架1上,一个线激光轮廓传感器和一个临近的相机构成一个组合;龙门架3直

接固定在地面上；线激光轮廓传感器2和面阵相机3能够在龙门架上根据实际需要进行移动，且能够任意调整角度位置。十字支撑架5和旋转平台4固定在一起，用于承托零件且带动其平稳地旋转运动。十字支撑架5采用的是十字交叉的结构，主要是为了减小承托结构给零件测量带来的遮挡。旋转平台转轴上安装有高精度的旋转编码器，编码器的分辨率达到 $0.01^\circ$ ，便于精确得获取旋转角度位置信息。

[0029] 本发明的一种基于多相机辅助的多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定方法的具体操作步骤如下：

[0030] 采用本发明的三维测量装置进行大型回转体零件三维数据测量时，根据被测量零件外形及大小，调整好线激光轮廓传感器2的位置和角度，使线激光轮廓传感器2的激光平面照射的零件位置能够获得完整的零件截面轮廓。即每个线激光轮廓传感器能够测量零件一个截面上的一部分数据，多个线激光轮廓传感器各自获取部分截线组合在一起能够构成一个完整的零件截面轮廓。然后调整好面阵相机3的位置及高度，使其能够清晰的拍摄到激光条纹。

[0031] 接下来，通过以下步骤实现多面阵相机辅助多线激光轮廓传感器坐标系融合及转轴标定的方法，根据图3，进行详细说明。

[0032] 步骤1：各线激光轮廓传感器测量坐标系到对应面阵相机坐标系的转换。

[0033] 具体的采用粘贴有编码标志点的阶梯块（即第一立体标靶）进行激光平面的标定，如图2所示。阶梯块6共有10个台阶，每个台阶上粘贴有两个编码标志7，所有的编码标志的编码值唯一，且编码标志点的三维坐标已知。

[0034] 1.1、将阶梯块置于线激光轮廓传感器视场中，在阶梯块上形成一条折叠的激光条纹。利用对应已标定内参的面阵相机采集该激光条纹和阶梯块上的编码标志点的图像，对编码标志点进行解码和提取圆心，建立编码标志点二维像素坐标与三维坐标之间的对应关系。进一步通过EPNP算法，求解出阶梯块标靶坐标系到相机坐标系之间的 $[R, t]$ 关系， $R$ 为阶梯块靶标坐标系到相机坐标系的旋转矩阵， $t$ 为平移向量。这样即建立了从像素点 $(u, v)$ 到阶梯块靶标坐标点 $(x, y, z)$ 的转换关系：

$$[0035] \quad s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A_{3 \times 3} [R, t]_{3 \times 4} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0036] 其中 $A$ 为相机内参矩阵， $s$ 为比例因子。

[0037] 对上述采集的光条图像进行光条中心提取，然后计算光条中心与阶梯块每个台阶上两个编码标志点连线的交点，一共可以获得10个像素交点。将这10个像素交点通过上述公式(1)转换到相机坐标系下，拟合这10个交点获得的平面参数即为激光平面在相机坐标系下的参数方程：

$$[0038] \quad ax+by+cz+d=0 \quad (2)$$

[0039]  $a, b, c, d$ 均为拟合系数。

[0040] 1.2、对步骤1.1中的面阵相机中提取的光条信息，另外计算出激光条纹在阶梯块台阶上弯折的拐点。依据公式(1)、(2)即可求解出激光条纹上每个像素点对应的三维坐标，基于这一结果，可以计算出阶梯块棱角与激光条纹的交点（即拐点）在面阵相机坐标系下的

三维坐标 $P_c$ 。同时,对于同一激光条纹,线激光轮廓仪可以直接获取到该激光条纹的三维数据,通过拟合直线求解出阶梯块棱角与激光条纹的交点(即拐点)在线激光轮廓传感器测量坐标系下的三维坐标 $P_s$ 。本实施例中,对这10个对应的特征点(即拐点)进行最小二乘求解:

$$[0041] \quad \varepsilon^2(R_{cs}, t_{cs}) = \sum \|P_c - (R_{cs} P_s + t_{cs})\|^2 \quad (3)$$

[0042] 计算出线激光轮廓传感器测量坐标系到相机坐标系之间的 $[R_{cs}, t_{cs}]$ 矩阵, $R_{cs}$ 为线激光传感器测量坐标系到相机坐标系的旋转矩阵, $t_{cs}$ 为线激光轮廓传感器测量坐标系到相机坐标系之间的平移向量。

[0043] 步骤2:依据各面阵相机坐标系融合关系完成各线激光轮廓传感器测量坐标系的融合。

[0044] 由于本实施例测量对象为大型零部件,测量的区域很大,所以为了覆盖零件测量区域且使用最少的相机个数、降低成本,就必须使各面阵相机之间的重叠区域尽可能的小。在此情况下,由于面阵相机之间公共视场较小或者没有,因此需要采用大型标靶进行标定。系统中构建一个第二立体标靶,该立体标靶呈圆盘形回转体,表面粘贴有编码标志点,且编码标志点三维坐标值已知。第二立体标靶固定后,每个相机各拍摄一张第二立体标靶的图像,通过图像中编码标志点的二维像素信息和三维坐标信息,采用EPNP算法建立每个相机相对第二立体标靶的姿态关系,进一步则可求解出多个面阵相机间的坐标系转换关系,从而完成多个面阵相机坐标系的融合。

[0045] 同时,联立步骤1中线激光轮廓传感器测量坐标系到相机坐标系的转换关系,即可实现多个线激光轮廓传感器测量坐标系的融合。

[0046] 步骤3:线激光轮廓传感器测量坐标系下转轴标定。

[0047] 上述步骤已经建立了线激光轮廓传感器测量坐标系到相机坐标系之间的转换关系,具体的转轴标定过程:

[0048] 3.1、将步骤2中的立体标靶旋转起来,每隔30度旋转一次,同时相机采集一次立体标靶图像,即可提取到一组编码标志点在相机坐标系下的三维坐标值。旋转一周可采集12次,亦可获得12组编码标志点的坐标值。

[0049] 3.2、由于每个编码标志点的旋转轨迹均是围绕旋转平台轴线的一个圆形,依据编码标志点的编码值很方便的可以找到12组数据中对应的编码标志点坐标,将同一个编码标志点在12个不同位置下的坐标拟合成一个圆,则圆心即为转轴上一点。

[0050] 3.3、这样将立体标靶上每个编码标志点的轨迹均拟合成一个圆,提取圆心,就可以得到转轴上一系列点。利用最小二乘法拟合这一系列圆心,获得转轴在相机坐标系下的参数方程。又由于线激光轮廓传感器的测量坐标系已统一到相机坐标系下,亦即实现了线激光轮廓传感器测量坐标系下转轴的标定。

[0051] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。



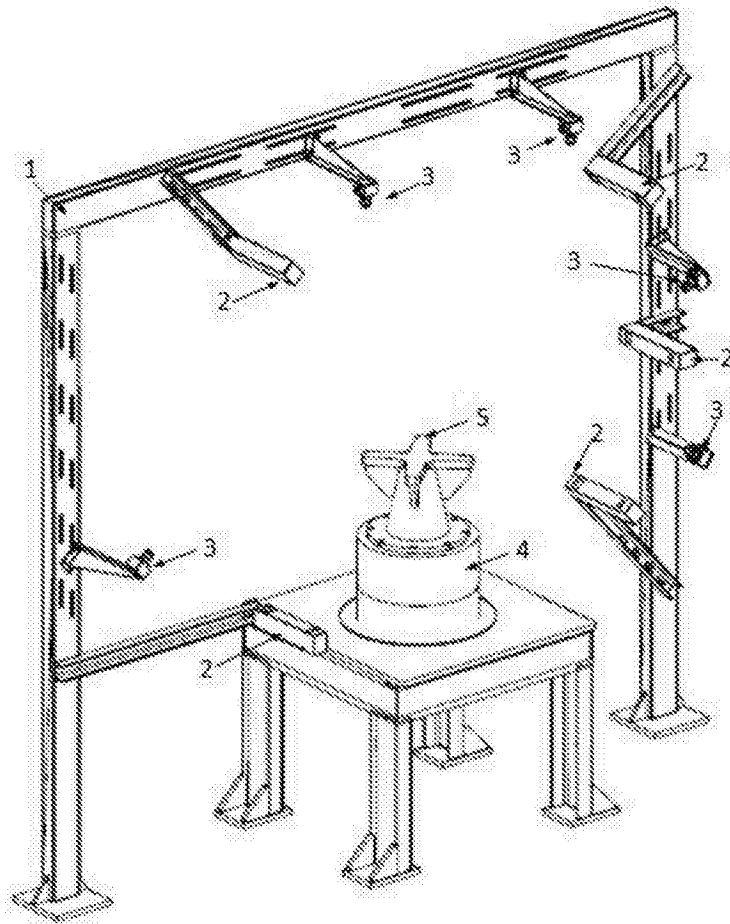


图1

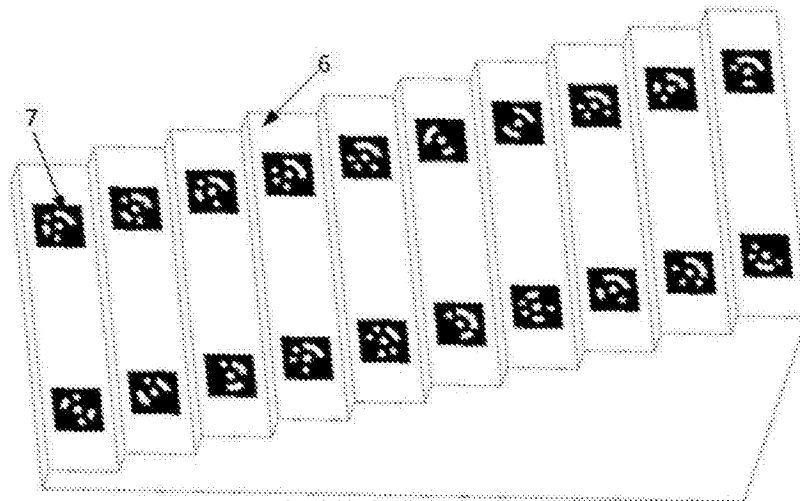


图2

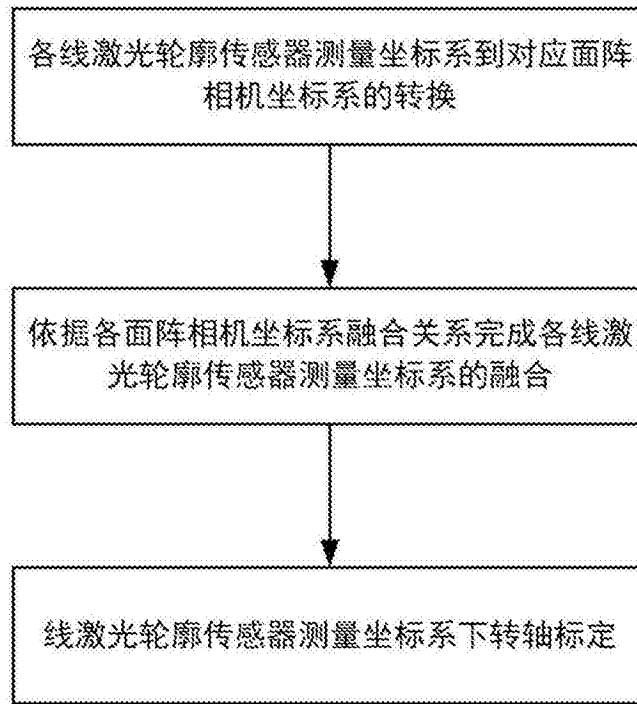


图3