

一种线性轮廓仪外参的标定方法、装置及电子设备

本申请要求于 2022 年 5 月 26 日提交中国专利局、申请号为 202210582401.7 发明名称为“一种线性轮廓仪外参的标定方法、装置及电子设备”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5 技术领域

本申请涉及测量技术领域，特别是涉及一种线性轮廓仪外参的标定方法、装置及电子设备。

背景技术

10 线性轮廓仪是测量各种机械零件素线形状和截面轮廓形状的精密设备。一般而言，采用线性轮廓仪对待测物体进行测量时，需要将待测物体放置于测量平台，测量平台多通过旋转或平移的方式带动待测物体运动，线性轮廓仪在待测物体运动过程中，持续采集待测物体的轮廓点云，进而基于线性轮廓仪采集的轮廓点云，确定待测物体的轮廓信息。

15 上述过程中，由于需要利用线性轮廓仪采集的轮廓点云，来确定待测物体的轮廓信息，而在确定待测物体的轮廓信息的过程中，需要利用到线性轮廓仪与测量平台间的外参，因此，在进行轮廓信息确定之前，需要对线性轮廓仪与测量平台间的外参进行标定，以确定线性轮廓仪与测量平台间的外参，因此，如何对线性轮廓仪与测量平台间的外参进行标定，是亟需解决的技术问题。

发明内容

本申请实施例的目的在于提供一种线性轮廓仪外参的标定方法、装置及电子设备，以实现线性轮廓仪的外参进行标定。具体技术方案如下：

20 第一方面，本申请实施例提供一种线性轮廓仪外参的标定方法，所述方法包括：获取标定块随测量平台运动过程中，线性轮廓仪针对所述标定块所采集的多帧轮廓点云；对每一轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云；针对每一表面点云，基于该表面点云中各特征点与该表面点云所属测量面的表面特征，建立该表面点云的约束关系；其中，每一测量面的表面特征为：描述该测量面几何属性的特征；基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对所述预估转换关系的目标优化函数；对所述目标优化函数进行优化，得到优化后的所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的转换参数，作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参。

25 可选的，所述对每一轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云，包括：针对每一轮廓点云，基于与所述标定块的类型对应的分割策略，对该轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云。

30 可选的，所述基于与所述标定块的类型对应的分割策略，对该轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云，包括：若所述标定块为圆锥体，则对该轮廓点云中各特征点，进行曲线拟合与直线拟合，并将拟合得到的曲线所对应的各特征点，作为圆锥面点云，以及将拟合得到的直线所对应的特征点，确定为底面点云；若所述标定块为球体，则对该轮廓点云中各特征点，进行圆拟合与直线拟合，并将拟合得到的曲线对应的各特征点，作为球面点云，以及将拟合得到的直线对应的各特征点，作为底面点云。

35 可选的，在所述基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对所述预估转换关系的目标优化函数之前，所述方法还包括：基于所获取的多帧轮廓点云，确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的坐标系转换关系，作为预估转换关系。

可选的,所述基于所获取的多帧轮廓点云,确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的坐标系转换关系,作为预估转换关系,包括:基于所述多帧轮廓点云,确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数;将所述初始转换参数作为所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间转换公式内各参数的预估值,以得到预估转换关系。

- 5 可选的,所述初始转换参数包括:初始旋转参数;所述基于所述多帧轮廓点云,确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数,包括:确定所述多帧轮廓点云中各底面特征点对应的拟合直线的斜率,并基于该斜率确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系的第一旋转角度;其中,所述底面特征点为属于所述测量平台的特征点;确定所述多帧轮廓点云中,高度值最大的特征点,作为最大特征点;计算所述最大特征点的高度值与所述标定块实际高度的比值,并基于该比值
10 确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系的第二旋转角度;基于所述第一旋转角度和所述第二旋转角度,确定所述初始旋转参数。

- 可选的,所述初始转换参数包括:初始平移参数;所述基于所述多帧轮廓点云,确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数,包括:针对任意相邻两帧轮廓点云,确定该两帧轮廓点云中,高度值最大的特征点的第一高度差;基于所述标定块的表面特征,确定所述第一高度差对应的曲面弧长和所述标定块在每一采样间隔内的水平位移;基于所述曲面弧长与所述水平位移,确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系在第一方向上的第一位移;基于所述曲面弧长与所述第一高度差,确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系在第二方向上的第二位移;其中,所述第一方向和所述第二方向正交;基于所述第一位移和所述第二位移,确定所述初始平移参数。
15

- 可选的,所述对所述目标优化函数进行优化,得到优化后的所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的转换参数,作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参,包括:迭代优化所述目标优化函数内的转换参数,直至所述目标优化函数的残差小于预设阈值;将所述目标优化函数的残差小于预设阈值时,所述目标优化函数内的转换参数,作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参获取在标定块随测量平台运行过程中,线性轮廓仪采集的多帧轮廓点云;针对每一帧轮廓点云,对该帧轮廓点云中各特征点进行特征点分割,得到多个轮廓特征点集;每一轮廓特征点集中各特征点为属于同一表面的特征点;针对每一轮廓特征点集,基于该轮廓特征点集中各特征点和该轮廓特征点集对应的表面特征,建立该轮廓特征点集对应的约束关系;其中,每一轮廓特征点集对应的表面特征为:该轮廓特征点集中各特征点所属表面的表面特征;基于预估的坐标系转换关系和各轮廓特征点集对应的约束关系,构建目标优化函数;其中,所述坐标系转换关系为:线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的转换关系;对所述目标优化函数进行优化,得到优化后的所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的转换参数,
20 30 作为所述线性轮廓仪的外参。

可选的,所述对该帧轮廓点云中各特征点进行特征点分割,得到多个轮廓特征点集,包括:基于与所述标定块的类型对应的分割策略,对该帧轮廓点云中各特征点进行特征点分割,得到多个轮廓特征点集。

- 可选的,所述基于与所述标定块的轮廓形状对应的分割策略,对该帧轮廓点云中各特征点进行特征点分割,得到多个轮廓特征点集,包括:若所述标定块为圆锥体,则对该帧轮廓点云中各特征点,进行曲线拟合与直线拟合,并基于拟合得到的曲线对应的特征点,确定圆锥面特征点集,以及基于拟合得到的直线对应的特征点,确定底面特征点集;若所述标定块为球体,则对该帧轮廓点云中各特征点,进行圆拟合与直线拟合,并基于拟合得到的曲线对应的特征点,确定球面特征点集,以及基于拟合得到的直
35

线对应的特征点，确定底面特征点集。

可选的，在所述基于预估的坐标系转换关系和各轮廓特征点集对应的约束关系，构建目标优化函数之前，所述方法还包括：基于所获取的轮廓点云，预估所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数，并将所述初始转换参数作为线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间转换关系转换的初值，得到预估的坐标系转换关系。

5 可选的，所述初始转换参数包括：初始旋转参数；所述基于所获取的轮廓点云，预估所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数，包括：确定所获取的轮廓点云中各底面特征点对应的拟合直线的斜率，并基于该斜率确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系的第一旋转角度；其中，所述底面特征点为属于所述测量平台的特征点；确定各轮廓点云中，高度值最大的特征点，作为最大特征点；计算所述最大特征点的高度值与所述标定块对应高度的比值，并基于该比值确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系的第二旋转角度；基于所述第一旋转角度和所述第二旋转角度，确定所述初始旋转参数。

10 可选的，所述初始转换参数包括：初始平移参数；所述基于所获取的轮廓点云，预估所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数，包括：针对任意相邻两帧轮廓点云，确定该两帧轮廓点云中，高度值最大的特征点的第一高度差；基于所述标定块的表面特征，确定所述第一高度差对应的曲面弧长和所述标定块在采样间隔内的水平位移；基于所述曲面弧长与所述水平位移，确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系在第一方向上的第一位移；基于所述曲面弧长与所述第一高度差，确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系在第二方向上的第二位移；其中，所述第一方向和所述第二方向正交；基于所述第一位移和所述第二位移，确定所述初始平移参数。

20 可选的，所述对所述目标优化函数进行优化，得到优化后的所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的转换参数，作为所述线性轮廓仪的外参，包括：迭代优化所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的转换参数，直至所述目标优化函数的残差小于预设阈值。

可选的，所述目标优化函数还包括所述线性轮廓仪的采样间隔；所述方法还包括：

25 通过对所述目标优化函数进行优化，得到优化后的所述采样间隔。第二方面，本申请实施例提供一种线性轮廓仪外参的标定装置，所述装置包括：点云获取模块，用于获取标定块随测量平台运动过程中，线性轮廓仪针对所述标定块所采集的多帧轮廓点云；点云分割模块，用于对每一轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云；关系建立模块，用于针对每一表面点云，基于该表面点云中各特征点与该表面点云所属测量面的表面特征，建立该表面点云的约束关系；函数构建模块，用于基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对所述预估转换关系的目标优化函数；函数优化模块，用于对所述目标优化函数进行优化，得到优化后的所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的转换参数，作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参。

30 第三方面，本申请实施例提供一种电子设备，包括处理器、通信接口、存储器和通信总线，其中，处理器，通信接口，存储器通过通信总线完成相互间的通信；存储器，用于存放计算机程序；处理器，用于执行存储器上所存放的程序时，实现第一方面所述的方法步骤。

35 第四方面，本申请实施例提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质内存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现第一方面所述的方法步骤。

本申请实施例有益效果：

本申请实施例所提供的线性轮廓仪外参的标定方法中，可以获取标定块随测量平台运动过程中，线

性轮廓仪针对标定块所采集的多帧轮廓点云，并对每一轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云，以及针对每一表面点云，基于该表面点云中各特征点与该表面点云所属测量面的表面特征，建立该表面点云的约束关系，以及基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对预估转换关系的目标优化函数，以及对目标优化函数进行优化，得到优化后的线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的转换参数，作为线性轮廓仪与测量平台间的外参。由于可以利用线性轮廓仪采集标定块的多帧轮廓点云，并按照所属测量面的不同，将各帧轮廓点云分割为不同测量面的表面点云，又因为标定块的几何模型是已知的，即标定块的每一测量面的表面特征是已知的，从而可以基于每一测量面的表面特征，建立属于该测量面的表面点云的约束关系，并构建目标优化函数，进而对线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的转换参数进行优化，得到线性轮廓仪与测量平台间的外参，可见，本申请实施例实现了对线性轮廓仪外参的标定，即实现了对线性轮廓仪与测量平台之间的外参进行标定。

当然，实施本申请的任一产品或方法并不一定需要同时达到以上所述的所有优点。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的实施例。

- 图 1 为本申请实施例所提供的第一种线性轮廓仪外参的标定方法流程图；
- 图 2 为本申请实施例所提供的线性轮廓仪采集示意图；
- 图 3 为本申请实施例所提供的轮廓示意图；
- 图 4 为本申请实施例所提供的各标定块的轮廓示意图；
- 图 5 为本申请实施例所提供的第二种线性轮廓仪外参的标定方法的流程图；
- 图 6 为本申请实施例所提供的 X 轴的正方向确定示意图；
- 图 7 为本申请实施例所提供的第三种线性轮廓仪外参的标定方法的流程图；
- 图 8 为本申请实施例所提供的第四种线性轮廓仪外参的标定方法的流程图；
- 图 9 为本申请实施例所提供的线性轮廓仪的圆锥标定的示意图；
- 图 10 为本申请实施例所提供的第五种线性轮廓仪外参的标定方法的流程图；
- 图 11 为本申请实施例所提供的一种线性轮廓仪外参的标定装置的结构示意图；
- 图 12 为本申请实施例所提供的电子设备的结构示意图。

具体实施方式

为使本申请的目的、技术方案、及优点更加清楚明白，以下参照附图并举实施例，对本申请进一步详细说明。显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

为了实现对线性轮廓仪外参的标定，本申请实施例提供了一种线性轮廓仪外参的标定方法、装置及电子设备。

需要说明的是，本申请实施例可以应用于各类电子设备，例如，个人电脑、服务器、手机以及其他具有数据处理能力的设备。并且，本申请实施例提供的线性轮廓仪外参的标定方法可以通过软件、硬件

或软硬件结合的方式实现。

其中，本申请实施例所提供的线性轮廓仪外参的标定方法，可以包括：

获取标定块随测量平台运动过程中，线性轮廓仪针对标定块所采集的多帧轮廓点云；

对每一轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云；

- 5 针对每一表面点云，基于该表面点云中各特征点与该表面点云所属测量面的表面特征，建立该表面点云的约束关系；其中，每一测量面的表面特征为：描述该测量面几何属性的特征；

基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对预估转换关系的目标优化函数；

- 10 对目标优化函数进行优化，得到优化后的线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的转换参数，作为线性轮廓仪与测量平台间的外参。

本申请上述实施例所提供方案中，由于可以利用线性轮廓仪采集标定块的多帧轮廓点云，并按照所属测量面的不同，将各帧轮廓点云分割为不同测量面的表面点云，又因为标定块的几何模型是已知的，即标定块的每一测量面的表面特征是已知的，从而可以基于每一测量面的表面特征，建立属于该测量面的表面点云的约束关系，并构建目标优化函数，进而对线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的转换参数进行优化，得到线性轮廓仪与测量平台间的外参，可见，本申请实施例实现了对线性轮廓仪外参的标定。

下面将结合说明书附图，对本申请实施例所提供的线性轮廓仪外参的标定方法进行详尽的阐述。

如图1所示，本申请实施例提供的一种线性轮廓仪外参的标定方法，可以包括如下步骤：

S101，获取标定块随测量平台运动过程中，线性轮廓仪针对标定块所采集的多帧轮廓点云；

- 20 其中，标定块为具有特定几何形状的物体，例如，圆锥体、圆球、环形山、梯形台等。当需要对线性轮廓仪的外参进行标定时，由于线性轮廓仪一次仅能采集到单条线状轮廓点云，因此，为了获取标定块完整的轮廓信息，需要使线性轮廓仪与标定块做相对运动，从而使线性轮廓仪在整个运动过程中，持续对标定块进行数据采集，以得到标定块完整的轮廓信息。

- 25 本申请实施例中，可以将标定块放置于测量平台，测量平台可以进行旋转或者平移，从而使得标定块在随测量平台运动过程中，线性轮廓仪可以持续对标定块进行数据采集。当测量平台做旋转运动时，标定块可以随着测量平台的旋转而做圆周运动；当测量平台做平移运动时，标定块可以随着测量平台做直线平移。

- 30 如图2所示，为本申请实施例提供的线性轮廓仪采集示意图。图中，底部圆盘为测量平台，底部圆盘上圆锥体为标定块，正方体表示线性轮廓仪，正方体下三角形为线性轮廓仪的数据采样面，即线性轮廓仪的激光平面（Laser plane）。测量平台绕中心轴旋转，圆锥体随着测量平台旋转而做圆周运动。在圆锥体运动过程中，当穿越线性轮廓仪的测量区域时，即圆锥体接触到线性轮廓仪的数据采样面时，线性轮廓仪可以按固定的采样频率，采集圆锥体的轮廓点云。圆锥体从进入数据采样面到离开数据采样面的期间内，线性轮廓仪可以采集圆锥体的多帧轮廓点云。其中，数据采样面为线性轮廓仪发射激光的光平面。图2中的坐标系 O_{obj} 为标定块坐标系，坐标系 O_{sys} 为测量平台坐标系，坐标系 O_{snr} 为线性轮廓仪的投影坐标系，其中，线性轮廓仪的投影坐标系的 X 轴、Y 轴及 Z 轴的方向与线性轮廓仪坐标系（图2中未示出）一致，其原点为线性轮廓仪中心点在测量平台上的投影点。
- 35

上述线性轮廓仪可以通过发射激光测量一条直线上的深度数据，如图 3 所示，为本申请实施例提供的线性轮廓仪采集的轮廓点云的示意图。图中，横坐标为线性轮廓仪坐标系的 X 轴，纵坐标为线性轮廓仪坐标系的 Z 轴。线性轮廓仪采集的每一帧轮廓点云为特征点的集合，针对任一轮廓点云中的特征点，该特征点的坐标为 (X 轮, 0, Z 轮)，由此可知，针对线性轮廓仪而言，其所采集的每一特征点在

5 线性轮廓仪坐标系的 Y 轴方向为 0，仅在线性轮廓仪坐标系的 X 轴方向和 Z 轴方向存在数据。

S102，对每一轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云；

其中，为了得到轮廓点云各特征点对应的约束关系，本申请实施例中，可以对每一轮廓点云进行点云分隔，进而得到属于不同测量面的表面点云。

由于线性轮廓仪是通过发射激光测量一条直线上的深度数据，其意味着，线性轮廓仪所采集的每帧

10 轮廓点云中往往包含属于不同测量面的特征点，其中，测量面由标定块的几何表面和测量平台组成，以图 3 所示轮廓点云为例，该轮廓点云大致由左侧直线线段、中间曲线线段和右侧直线线段组成，其中，左侧直线线段、右侧直线线段对应的特征点为线性轮廓仪在测量时，测量到测量平台所产生的特征点，中间曲线线段对应的特征点为线性轮廓仪在测量时，测量到标定块的几何表面所产生的特征点。

为正确建立约束关系，本申请实施例中，需要对每一轮廓点云进行点云分割，以得到属于不同测量

15 面的表面点云。

对不同的标定块进行测量时，所得到的轮廓点云中往往包含不同测量面的表面点云，例如，对圆锥体标定块进行测量得到的轮廓点云中包含圆锥面点云和底面点云，其中，圆锥面点云包含圆锥体的特征点，底面点云包含测量平台的特征点。对圆球标定块进行测量得到的轮廓点云中包含球面点云和底面点云，其中，球面点云包含圆球的特征点，底面点云包含测量平台的特征点。

20 可选的，针对每一轮廓点云，可以基于与标定块的类型对应的分割策略，对该轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云。

如前所述，对不同的标定块进行测量时，所得到的轮廓点云中往往包含不同测量面的表面点云，因此，需要采取不同的分割策略对轮廓点云进行分割。

如图 4 所示，本申请实施例提供各类型的标定块的轮廓示意图，图中直线段表示线性轮廓仪的光平面（既线性轮廓仪的激光平面）与标定块可能的相交位置。其中，梯形台标定块以不同的角度和位置与线性轮廓仪的激光平面相交，可能出现的表面轮廓类型最多能有 8 种，即线性轮廓仪所能采集的到的轮廓点云的表面轮廓类型最多有 8 种，环形山标定块有 5 种表面轮廓类型，圆锥体标定块有 3 种表面轮廓类型，球体标定块有 2 种表面轮廓类型。

25

对于点云分割来说，相交轮廓越简单，则点云分割越容易，并且对各种材料及环境的鲁棒性更高。

30 一种实现方式中，若标定块为圆锥体，则对该轮廓点云中各特征点，进行曲线拟合与直线拟合，并将拟合得到的曲线所对应的各特征点，作为圆锥面点云，以及将拟合得到的直线所对应的特征点，确定为底面点云；

其中，若标定块为圆锥体，则说明所得到的轮廓点云中包含圆锥体的特征点和测量平台的特征点，圆锥体的特征点通过曲线拟合，可以得到圆锥曲线，测量平台的特征点，通过直线拟合，可以得到直线。

35 因此，在得到轮廓点云后，可以通过曲线拟合与直线拟合，从轮廓点云包含的各特征点中，确定出拟合得到的曲线所对应的各特征点，作为圆锥面点云，以及确定出将拟合得到的直线所对应的特征点，确定

为底面点云。

一种实现方式中,若标定块为球体,则对该轮廓点云中各特征点,进行圆拟合与直线拟合,并将拟合得到的曲线对应的各特征点,作为球面点云,以及将拟合得到的直线对应的各特征点,作为底面点云。

其中,若标定块为圆球,则说明所得到的轮廓点云中包含圆球的特征点和测量平台的特征点。圆球的特征点通过曲线拟合,可以得到球面曲线,测量平台的特征点,通过直线拟合,可以得到直线。因此,在得到轮廓点云后,可以通过曲线拟合与直线拟合,从轮廓点云包含的各特征点中,确定出拟合得到的曲线所对应的各特征点,作为球面点云,以及将拟合得到的直线对应的各特征点,作为底面点云。

一种实现方式中,若所述标定块为梯形台,则对该轮廓点云中各特征点,进行直线拟合,得到多条拟合直线;对所述多条拟合直线划分,得到包含端点的端点直线,以及不包含端点中部直线;将所述中部直线对应的各特征点,作为台面点云,以及将所述端点直线对应的各特征点,作为底面点云。

其中,若标定块为梯形台,则说明所得到的轮廓点云中包含梯形台和测量平台的特征点。梯形台和测量平台的特征点通过直线划分,均可得到直线,作为拟合直线,其中,多条拟合直线中,包含端点的端点直线是属于测量平台的直线,因此,将所述端点直线对应的各特征点,作为底面点云。不包含端点的中部直线是属于梯形台的直线,因此,将所述中部直线对应的各特征点,作为台面点云。

S103,针对每一表面点云,基于该表面点云中各特征点与该表面点云所属测量面的表面特征,建立该表面点云的约束关系;其中,每一测量面的表面特征为:描述该测量面几何属性的特征;

在对轮廓点云分割得到表面点云后,可以构建该表面点云的约束关系。由于各表面点云内各特征点属于对应测量面上的特征点,而各测量面可以基于标点块的几何模型确定其表面特征,从而可以基于该表面点云中各特征点与该表面点云所属测量面的表面特征,建立该表面点云的约束关系。

示例性,所构建的约束关系为:

$$g_i(X_{O,i,j,k})=0$$

其中, $X_{O,i,j,k}$ 为标定块坐标系 O 下各测量面上特征点的坐标,i 表示针对标定块所采集的各轮廓点云,j 表示第 i 帧轮廓点云包含的各表面点云,k 表示第 i 帧轮廓点云上第 j 个表面点云上包含的各特征点, $g_i(X_{O,i,j,k})$ 表示标定块上的第 i 个测量面的表面特征与所对应表面点云的约束关系。

具体约束关系依赖于标定块的类型,不同的标定块具体不同的测量面,不同的测量面具有不同的表面特征。

若测量面为平面,则该平面的表面特征与所对应表面点云的约束关系为:

$$g_i(X_{O,i,j,k})=\frac{ax_{O,i,j,k}+by_{O,i,j,k}+cz_{O,i,j,k}+d}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}=0$$

其中,a、b、c 和 d 为标定块表面的平面参数, $x_{O,i,j,k}$ 为第 i 帧轮廓点云上第 j 个表面点云上的第 k 个特征点在标定块坐标系 O 下的 X 轴坐标, $y_{O,i,j,k}$ 为第 i 帧轮廓点云上第 j 个表面点云上的第 k 个特征点在标定块坐标系 O 下的 Y 轴坐标, $z_{O,i,j,k}$ 为第 i 帧轮廓点云上第 j 个表面点云上的第 k 个特征点在标定块坐标系 O 下的 Z 轴坐标。

若测量面对应表面点云的特征点为圆锥面,则该圆锥面的表面特征与所对应表面点云的约束关系为:

$$g_i(X_{O,i,j,k}) = \sqrt{x_{O,i,j,k}^2 + y_{O,i,j,k}^2} - \sqrt{\frac{D^2}{4h^2}(z_{O,i,j,k} - h)^2} = 0$$

其中, h 为圆锥体的高, D 为圆锥体的底面半径。

若测量面对应表面点云的特征点为球面, 则该球面的表面特征与所对应表面点云的约束关系为:

$$g_i(X_{O,i,j,k}) = \sqrt{(x_{O,i,j,k} - x_o)^2 + (y_{O,i,j,k} - y_o)^2 + (z_{O,i,j,k} - z_o)^2} - r = 0$$

其中, x_o 、 y_o 和 z_o 为球面的中心坐标, r 为球面的半径。

- 5 上述每一约束关系中, 各特征点的坐标是该特征点在标定块坐标系 O 下的坐标, 而表面点云中各特征点的坐标是线性轮廓仪坐标系 S 下的坐标, 因此, 需要将线性轮廓仪坐标系 S 转换到标定块坐标系 O 下的坐标。

- 10 示例性的, 以图 2 进行说明, 设标定块坐标系为 O , 即图 2 中的 $Oobj$; 测量平台坐标系为 M , 即图 2 中的 $Osys$; 线性轮廓仪坐标系为 S , 与线性轮廓仪标系相对固连的投影坐标系为 M' , 即图 2 中的 $Osnr$ 。其中, 坐标系 M' 的 X 轴、 Y 轴以及 Z 轴的方向与线性轮廓仪坐标系 S 相同, 其原点为线性轮廓仪中心点在测量平台上的投影点。

则线性轮廓仪坐标系转换到标定块坐标系的变换关系为:

$$X_{O,i,j,k} = f(X_{S,i,j,k})$$

- 15 其中, f 为线性轮廓仪坐标系 S 与标定块坐标系 O 之间的转换函数, $X_{S,i,j,k}$ 表示线性轮廓仪坐标系 S 下, 第 i 个测量面对应的表面点云中的各特征点的坐标。

当测量平台为旋转运动时, 上述转换关系可以展开为:

$$X_{O,i,j,k} = f(X_{S,i,j,k}) = T_{OM} X_{M,i,j,k} = T_{OM} T_{MM'} T_{M'S} X_{S,i,j,k} = T_{OM} \begin{bmatrix} \exp(j \cdot \text{step} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_{MM'} T_{M'S} X_{S,i,j,k}$$

- 20 其中, f 为线性轮廓仪坐标系 S 与标定块坐标系 O 之间的转换函数, $X_{S,i,j,k}$ 表示线性轮廓仪坐标系 S 下, 第 i 个测量面对应的表面点云中的各特征点的坐标, T_{OM} 为测量平台坐标系 M 与标定块坐标系 O 之间的转换参数, $X_{M,i,j,k}$ 表示测量平台坐标系 M 下, 第 i 个测量面对应的表面点云中的各特征点的坐标,

$T_{MM'}$ 及其变形 $\begin{bmatrix} \exp(j \cdot \text{step} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_{MM'}$ 为测量平台坐标系 M 与投影坐标系 M' 之间的转换参数, $T_{M'S}$ 为投影坐标系 M' 与线性轮廓仪坐标系 S 之间的转换参数, step 为线性轮廓仪的采样间隔。

上述转换关系中包含线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的外参, 为待标定量。

- 25 针对每一表面点云, 基于上述转换关系, 将其转换至标定块坐标系下的各特征点, 并代入前述各约束关系, 从而得到每一表面点云的约束关系。

$S104$, 基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系, 以及各表面点云的约束关系, 构建针对预估转换关系的目标优化函数;

其中, 预估转换关系中包含线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间外参的预估值, 从而可以将该预估值代入前述各表面点云的约束关系, 得到包含预估值的约束关系。上述预估值可以为基于所采集的各轮廓点云预估得到的, 具体实现方式将在后续实施例详细描述, 当然该预估值也可以为空。

在得到包含预估值的约束关系后, 即可基于各预设约束关系构建目标优化函数。可选的, 可以基于
5 各表面点云的约束关系, 构造各表面点云的残差为:

$$e_{P,i,j,k} = g_i(X_{O,i,i,k}) = g_i(h(X_{S,i,i,k})) = 0$$

其中, $e_{P,i,j,k}$ 为第 i 个表面点云对应的残差, $h(X_{S,i,i,k})$ 表示基于线性轮廓仪坐标系下, 第 i 个表面点云内各特征点, 所转换的标定块坐标系下第 i 各测量面的各特征点。

进而构造目标优化函数为:

$$10 \quad \min_{\arg[\xi_{OM} \quad \xi_{MS} \quad step]} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m e_{i,j,k}^T \sum_{i,j,k} e_{i,j,k}$$

上述公式中, ξ_{OM} 为标定块坐标系 O 与测量平台坐标系 M 之间的转换参数, ξ_{MS} 为投影坐标系 M' 与线性轮廓仪坐标系 S 之间的转换参数。

目标优化函数用于计算各表面点云对应残差之和的最小值。

S105, 对目标优化函数进行优化, 得到优化后的线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的转换
15 参数, 作为线性轮廓仪与测量平台间的外参。

在得到目标优化函数之后, 即可迭代优化目标优化函数内的转换参数, 在每一次迭代结束之后, 可以确定目标优化函数的残差是否小于预设阈值, 若小于, 则说明当前迭代的目标优化函数内的各参数符合要求, 此时, 可以将目标优化函数的残差小于预设阈值时, 目标优化函数内的转换参数, 作为线性轮廓仪与测量平台间的外参。若不小于, 则继续迭代, 直至目标优化函数的残差小于预设阈值。其中, 上
20 述预设阈值可以根据需求和经验所确定。目标优化函数的残差为各表面点云对应的残差之和。

本申请实施例所提供的上述方案, 可以利用线性轮廓仪采集标定块的多帧轮廓点云, 并按照所属测量面的不同, 将各帧轮廓点云分割为不同测量面的表面点云, 又因为标定块的几何模型是已知的, 即标定块的每一测量面的表面特征是已知的, 从而可以基于每一测量面的表面特征, 建立属于该测量面的表面点云的约束关系, 并构建目标优化函数, 进而对线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的转换参数
25 进行优化, 得到线性轮廓仪与测量平台间的外参, 可见, 本申请实施例实现了对线性轮廓仪外参的标定。

本申请实施例还提供另一种线性轮廓仪外参的标定方法, 在步骤 S104 之后, 还包括:

基于所获取的多帧轮廓点云, 确定线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的坐标系转换关系, 作为预估转换关系。

在得到多帧轮廓点云, 可以基于所获取的多帧轮廓点云, 先预估出线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的坐标系转换关系, 作为预估转换关系。该预估转换关系中线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间外参为预估值, 并不准确, 但在该预估值的基础上, 执行后续的目标优化函数的优化, 可以提高优化效率, 同时也可以提高优化的准确度。

一种实现方式中, 如图 5 所示, 上述基于所获取的多帧轮廓点云, 确定线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的坐标系转换关系, 作为预估转换关系, 可以包括步骤 S501-S502, 其中:

35 S501, 基于多帧轮廓点云, 确定线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的初始转换参数;

本申请实施例中, 测量平台坐标系以测量平台的中心为原点, 以垂直测量平台向上的方向为 Z 轴

方向,以指向线性轮廓仪的方向为 X 轴方向,测量平台坐标系中 Y 轴方向基于 Z 轴和 X 轴方向确定。标定块坐标系以标定块的几何中心为原点,其 X 轴、Y 轴以及 Z 轴的方向与测量平台坐标系相同。线性轮廓仪坐标系以线性轮廓仪的几何中心为原点,其 X 轴方向与测量平台坐标系的 X 轴方向平行,线性轮廓仪坐标系的 X 轴的正方向可以基于轮廓点云确定。

5 可选的,一种实现方式中,如图 6 所示,本申请实施例提供一种 X 轴的正方向确定示意图。

图 6 中,最外层半圆弧为标定块进行圆周运行的轨迹线,图中圆圈表示为圆锥体或球体的标定块的俯视图,图中由半圆弧中心点向外发散的多条线段为:每一采样时刻标定块顶点与测量平面中心点的连线,图中带箭头线段为每一采样时刻,线性轮廓仪在标定块上的采样位置,箭头线段上的原点为每一采样时刻,线性轮廓仪采样得到的轮廓点云中最大值的特征点所在的位置。

10 本方式中,可以计算每帧轮廓点云中最大值的特征点的坐标,进而确定各帧轮廓点云中最大值的特征点连线的曲率,进而将曲率方向确定为线性轮廓仪坐标系的 X 轴的正方向。例如,若曲率方向为负方向,则线性轮廓仪坐标系的 X 轴的正方向背向测量平台的中心,反之,若曲率方向为正方向,则线性轮廓仪坐标系的 X 轴的正方向指向测量平台的中心点。通过该方式确定的线性轮廓仪坐标系的 X 轴的正方向,可以用于判断后续欧拉角的方向。

15 上述线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的初始转换参数可以包括初始旋转参数和/或初始平移参数,其中,每一旋转参数指示将线性轮廓仪坐标系转换为测量平台坐标系时,其每一方向轴所需旋转的角度,每一平移参数指示将线性轮廓仪坐标系转换为测量平台坐标系时,其原点在每一方向轴上的移动距离。为了逻辑贯通,关于初始转换参数的确定过程将在后续实施例详细阐述。

20 S502,将初始转换参数作为线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间转换公式内各参数的预估值,以得到预估转换关系。

在得到线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的初始转换参数之后,即可将该初始转换参数作为线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间转换公式内各参数的预估值,得到预估转换关系。

25 本申请实施例所提供的上述方案,可以实现对线性轮廓仪与测量平台之间的外参进行标定。同时,通过多帧轮廓点云预估出线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系,可以提高对目标优化函数的优化效率和准确度。

可选的,在一实施例中,初始转换参数包括:初始旋转参数;

此时,在图 5 所示的实施例的基础上,如图 7 所示,本申请实施例还提供另一种线性轮廓仪外参的标定方法,步骤 S501 可以包括步骤 S701-S703:

30 S701,确定多帧轮廓点云中各底面特征点对应的拟合直线的斜率,并基于该斜率确定线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系的第一旋转角度;

其中,底面特征点为属于测量平台的特征点。如图 3 所示进行说明,可以计算底面点云对应的拟合直线的斜率,记作 r_y ,进而可以将 r_y 转换为角度值,作为线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系的第一旋转角度。

35 S702,确定多帧轮廓点云中,高度值最大的特征点,作为最大特征点;计算最大特征点的高度值与标定块实际高度的比值,并基于该比值确定线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系的第二旋转角度;

可选的,可以通过最大顶点计算第二旋转角度,记作 r_x 。由于每帧轮廓点云的圆锥曲线都能得到一个顶点,顶点到底面直线的距离即为测量得到的顶点高度,在所有轮廓点云中,最大高度的顶点即为圆锥顶部位置,从而可以计算该高度与实际圆锥高度的比值可以得到 r_x ,进一步的将 r_x 转换为角度值,

作为线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系的第二旋转角度。

S703, 基于第一旋转角度和第二旋转角度, 确定初始旋转参数。

本步骤中, 在得到第一旋转角度和第二旋转角度之后, 即可将第一旋转角度和第二旋转角度作为初始旋转参数。

5 本申请实施例所提供的上述方案, 可以实现对线性轮廓仪与测量平台之间的外参进行标定。同时, 同多帧轮廓点云, 可以确定线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的初始旋转参数, 从而为提高对目标优化函数的优化效率和准确度提高了实现基础。

可选的, 在一实施例中, 初始转换参数包括: 初始平移参数;

10 此时, 在图 5 示的实施例的基础上, 如图 8 所示, 本申请实施例还提供另一种线性轮廓仪外参的标定方法, 步骤 S502 可以包括步骤 S801-S805:

S801, 针对任意相邻两帧轮廓点云, 确定该两帧轮廓点云中, 高度值最大的特征点的第一高度差;

15 如图 9 所示, 本申请实施例提供一种高度差示意图。图 9 中左侧实现与虚线分别表示在标定块随测量平面移动过程中, 相邻两次测量时, 标定块的俯视图位置, 图 9 中右侧为标定块示意图, 标定块中虚线表示标定块中心线, 标定块上两实线线段表示在标定块随测量平面移动过程中, 相邻两次测量时, 线性轮廓仪的测量位置。上述第一高度差为各相邻轮廓点云中, 高度差值最大的特征点的高度差, 作为第一高度差, 即图 9 中的 dz 。

S802, 基于标定块的表面特征, 确定第一高度差对应的曲面弧长和标定块在每一采样间隔内的水平位移;

20 在确定出第一高度差之后, 即可结合标定块的测量面的表面特征, 确定确定第一高度差对应的曲面弧长, 即高度差值最大的两特征点之间的在标定块表面上的距离, 即图 9 中的 dx , 以及标定块在采样间隔内的水平位移, 即图 9 中的 dy 。

S803, 基于曲面弧长与水平位移, 确定线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系在第一方向上的第一位移;

25 计算曲面弧长与水平位移之间的比值, 进而求得线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系在第一方向上的第一位移。可选的, 该第一方向可以为 Z 轴方向, 即计算线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系在 Z 轴方向上的位移, 作为第一位移。

S804, 基于曲面弧长与第一高度差, 确定线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系在第二方向上的第二位移; 其中, 第一方向和第二方向正交;

30 计算曲面弧长与第一高度差之间的比值, 进而求得线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系在第二方向上的第二位移。可选的, 该第二方向可以为 X 轴方向, 即确定线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系在 X 轴方向上的位移, 作为第二位移。

S805, 基于第一位移和第二位移, 确定初始平移参数。

本步骤中, 可以将第一位移和第二位移作为初始平移参数。进一步的, 初始平移参数可以包括 $ty=0$, 即线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系在 Y 轴方向上平移距离为 0。

35 本申请实施例所提供的上述方案, 可以实现对线性轮廓仪与测量平台之间的外参进行标定。同时, 通过多帧轮廓点云, 可以确定线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的初始平移参数, 从而为提高对目标优化函数的优化效率和准确度提高了实现基础。

可选的, 在初始转换参数包括初始平移参数的另一实施例中, 上述标定块可以为梯形台, 此时, 在

图 5 示的实施例的基础上, 如图 10 所示, 本申请实施例还提供另一种线性轮廓仪外参的标定方法, 步骤 S502 可以包括步骤 S1001-S1003:

S1001, 基于各帧轮廓点云, 确定梯形台中指定点的横坐标, 作为第三位移; 其中, 指定点为梯形台上的任一点;

5 本步骤中, 可以基于各帧轮廓点云, 确定梯形台中指定点的横坐标, 作为第三位移。其中, 指定点为梯形台上的任一点, 例如梯形台顶面的中心点, 或顶面四个角点中任一角点, 或梯形台中底面四个角点中的任一角点。可选的, 上述第三位移还可以为 0, 这也是可以的。

可选的, 当指定点为梯形台顶面的中心点时, 可以从各帧轮廓点云中确定位于中间位置的轮廓点云, 进而确定中间位置处特征点的横坐标, 作为第三位移。

10 S1002, 基于属于梯形台顶面的表面点云和属于测量平台的底面点云, 确定梯形台的高度, 作为第四位移;

可选的, 可以利用属于梯形台顶面的表面点云和属于测量平台的底面点云, 确定梯形台顶面与测量平台的底面的高度差, 作为梯形台的高度, 即第四位移。

S1003, 基于第三位移和第四位移, 确定初始平移参数。

15 本步骤中, 可以将第三位移和第四位移作为初始平移参数。进一步的, 初始平移参数可以包括 $t_y=0$, 即线性轮廓仪坐标系相对于测量平台坐标系在 Y 轴方向上平移距离为 0。

本申请实施例所提供的上述方案, 可以实现对线性轮廓仪与测量平台之间的外参进行标定。同时, 通过多帧轮廓点云, 可以确定线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的初始平移参数, 从而提高对目标优化函数的优化效率和准确度提高了实现基础。

20 相应于本申请上述实施例所提供的方法, 如图 11 所示, 本申请实施例还提供了一种线性轮廓仪外参的标定装置, 所述装置包括:

点云获取模块 1101, 用于获取标定块随测量平台运动过程中, 线性轮廓仪针对所述标定块所采集的多帧轮廓点云;

25 点云分割模块 1102, 用于对每一轮廓点云进行点云分割, 得到属于不同测量面的表面点云;

关系建立模块 1103, 用于针对每一表面点云, 基于该表面点云中各特征点与该表面点云所属测量面的表面特征, 建立该表面点云的约束关系;

函数构建模块 1104, 用于基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系, 以及各表面点云的约束关系, 构建针对所述预估转换关系的目标优化函数;

30 函数优化模块 1105, 用于对所述目标优化函数进行优化, 得到优化后的所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的转换参数, 作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参。

可选的, 所述点云分割模块, 具体用于针对每一轮廓点云, 基于与所述标定块的类型对应的分割策略, 对该轮廓点云进行点云分割, 得到属于不同测量面的表面点云。

35 可选的, 所述点云分割模块, 具体用于若所述标定块为圆锥体, 则对该轮廓点云中各特征点, 进行曲线拟合与直线拟合, 并将拟合得到的曲线所对应的各特征点, 作为圆锥面点云, 以及将拟合得到的直线所对应的特征点, 确定为底面点云; 若所述标定块为球体, 则对该轮廓点云中各特征点, 进行圆拟合与直线拟合, 并将拟合得到的曲线对应的各特征点, 作为球面点云, 以及将拟合得到的直线对应的各特征点, 作为底面点云; 若所述标定块为梯形台, 则对该轮廓点云中各特征点, 进行直线拟合, 得到多条

拟合直线；对所述多条拟合直线划分，得到包含端点的端点直线，以及不包含端点中部直线；将所述中部直线对应的各特征点，作为台面点云，以及将所述端点直线对应的各特征点，作为底面点云。

可选的，所述装置还包括：

5 关系预估模块，用于在所述函数构建模块执行所述基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对所述预估转换关系的目标优化函数之前，基于所获取的多帧轮廓点云，确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的坐标系转换关系，作为预估转换关系。

10 可选的，所述关系预估模块，具体用于基于所述多帧轮廓点云，确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数；将所述初始转换参数作为所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间转换公式内各参数的预估值，以得到预估转换关系。

可选的，所述初始转换参数包括：初始旋转参数；

15 所述关系预估模块，具体用于确定所述多帧轮廓点云中各底面特征点对应的拟合直线的斜率，并基于该斜率确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系的第一旋转角度；其中，所述底面特征点为属于所述测量平台的特征点；确定所述多帧轮廓点云中，高度值最大的特征点，作为最大特征点；计算所述最大特征点的高度值与所述标定块实际高度的比值，并基于该比值确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系的第二旋转角度；基于所述第一旋转角度和所述第二旋转角度，确定所述初始旋转参数。

可选的，所述初始转换参数包括：初始平移参数；

20 所述关系预估模块，具体用于针对任意相邻两帧轮廓点云，确定该两帧轮廓点云中，高度值最大的特征点的第一高度差；基于所述标定块的表面特征，确定所述第一高度差对应的曲面弧长和所述标定块在每一采样间隔内的水平位移；基于所述曲面弧长与所述水平位移，确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系在第一方向上的第一位移；基于所述曲面弧长与所述第一高度差，确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系在第二方向上的第二位移；其中，所述第一方向和所述第二方向正交；基于所述第一位移和所述第二位移，确定所述初始平移参数；或者，基于各帧轮廓点云，确定所述梯形台中指定点的横坐标，作为第三位移；其中，所述指定点为所述梯形台上的任一点；基于属于所述梯形台顶面的表面点云和属于所述测量平台的底面点云，确定所述梯形台的高度，作为第四位移；基于所述第三位移和所述第四位移，确定所述初始平移参数。

30 可选的，所述函数优化模块，具体用于迭代优化所述目标优化函数内的转换参数，直至所述目标优化函数的残差小于预设阈值；将所述目标优化函数的残差小于预设阈值时，所述目标优化函数内的转换参数，作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参。

35 本申请实施例所提供的上述方案，可以利用线性轮廓仪采集标定块的多帧轮廓点云，并按照所属测量面的不同，将各帧轮廓点云分割为不同测量面的表面点云，又因为标定块的几何模型是已知的，即标定块的每一测量面的表面特征是已知的，从而可以基于每一测量面的表面特征，建立属于该测量面的表面点云的约束关系，并构建目标优化函数，进而对线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的转换参数进行优化，得到线性轮廓仪与测量平台间的外参，可见，本申请实施例实现了对线性轮廓仪外参的标定。

本申请实施例还提供了一种电子设备，如图 12 所示，包括处理器 1201、通信接口 1202、存储器 1203 和通信总线 1204，其中，处理器 1201，通信接口 1202，存储器 1203 通过通信总线 1204 完成相互间的通信，

存储器 1203, 用于存放计算机程序;

处理器 1201, 用于执行存储器 1203 上所存放的程序时, 实现本申请上述实施例所提供的方法步骤。

上述电子设备提到的通信总线可以是外设部件互连标准 (Peripheral Component Interconnect, PCI) 总线或扩展工业标准结构 (Extended Industry Standard Architecture, EISA) 总线等。该通信总线可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示, 图中仅用一条粗线表示, 但并不表示仅有一根总线或一种类型的总线。

通信接口用于上述电子设备与其他设备之间的通信。

存储器可以包括随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM), 也可以包括非易失性存储器 (Non-Volatile Memory, NVM), 例如至少一个磁盘存储器。可选的, 存储器还可以是至少一个位于远离前述处理器的存储装置。

上述的处理器可以是通用处理器, 包括中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)、网络处理器 (Network Processor, NP) 等; 还可以是数字信号处理器 (Digital Signal Processing, DSP)、专用集成电路 (Application Specific Integrated Circuit, ASIC)、现场可编程门阵列 (Field-Programmable Gate Array, FPGA) 或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件。

在本申请提供的又一实施例中, 还提供了一种计算机可读存储介质, 该计算机可读存储介质内存储有计算机程序, 所述计算机程序被处理器执行时实现上述任一线性轮廓仪外参的标定方法的步骤。

在本申请提供的又一实施例中, 还提供了一种包含指令的计算机程序产品, 当其在计算机上运行时, 使得计算机执行上述实施例中任一线性轮廓仪外参的标定方法。

在上述实施例中, 可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或者其任意组合来实现。当使用软件实现时, 可以全部或部分地以计算机程序产品的形式实现。所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令。在计算机上加载和执行所述计算机程序指令时, 全部或部分地产生按照本申请实施例所述的流程或功能。所述计算机可以是通用计算机、专用计算机、计算机网络、或者其他可编程装置。所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中, 或者从一个计算机可读存储介质向另一个计算机可读存储介质传输, 例如, 所述计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线 (例如同轴电缆、光纤、数字用户线 (DSL)) 或无线 (例如红外、无线、微波等) 方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输。所述计算机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质集成的服务器、数据中心等数据存储设备。所述可用介质可以是磁性介质, (例如, 软盘、硬盘、磁带)、光介质 (例如, DVD)、或者固态硬盘 Solid State Disk (SSD) 等。

需要说明的是, 在本文中, 诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来, 而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且, 术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含, 从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素, 而且还包括没有明确列出的其他要素, 或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下, 由语句“包括一个……”限定的要素, 并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

本说明书中的各个实施例均采用相关的方式描述, 各个实施例之间相同相似的部分互相参见即可, 每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处。尤其, 对于装置、设备、系统实施例而言, 由于其基本相似于方法实施例, 所以描述的比较简单, 相关之处参见方法实施例的部分说明即可。

权 利 要 求

- 1、一种线性轮廓仪外参的标定方法，其特征在于，所述方法包括：
- 获取标定块随测量平台运动过程中，线性轮廓仪针对所述标定块所采集的多帧轮廓点云；
- 对每一轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云；
- 5 针对每一表面点云，基于该表面点云中各特征点与该表面点云所属测量面的表面特征，建立该表面点云的约束关系；其中，每一测量面的表面特征为：描述该测量面几何属性的特征；
- 基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对所述预估转换关系的目标优化函数；
- 对所述目标优化函数进行优化，得到优化后的所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的
- 10 转换参数，作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参。
- 2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述对每一轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云，包括：
- 针对每一轮廓点云，基于与所述标定块的类型对应的分割策略，对该轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云。
- 15 3、根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述基于与所述标定块的类型对应的分割策略，对该轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云，包括：
- 若所述标定块为圆锥体，则对该轮廓点云中各特征点，进行曲线拟合与直线拟合，并将拟合得到的曲线所对应的各特征点，作为圆锥面点云，以及将拟合得到的直线所对应的特征点，确定为底面点云；
- 若所述标定块为球体，则对该轮廓点云中各特征点，进行圆拟合与直线拟合，并将拟合得到的曲线
- 20 对应的各特征点，作为球面点云，以及将拟合得到的直线对应的各特征点，作为底面点云；
- 若所述标定块为梯形台，则对该轮廓点云中各特征点，进行直线拟合，得到多条拟合直线；对所述多条拟合直线划分，得到包含端点的端点直线，以及不包含端点中部直线；将所述中部直线对应的各特征点，作为台面点云，以及将所述端点直线对应的各特征点，作为底面点云。
- 4、根据权利要求1-3任一项所述的方法，其特征在于，在所述基于线性轮廓仪坐标系与测量平台
- 25 坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对所述预估转换关系的目标优化函数之前，所述方法还包括：
- 基于所获取的多帧轮廓点云，确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的坐标系转换关系，作为预估转换关系。
- 5、根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述基于所获取的多帧轮廓点云，确定所述线性轮
- 30 廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的坐标系转换关系，作为预估转换关系，包括：
- 基于所述多帧轮廓点云，确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数；
- 将所述初始转换参数作为所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间转换公式内各参数的预估值，以得到预估转换关系。
- 6、根据权利要求5所述的方法，其特征在于，所述初始转换参数包括：初始旋转参数；
- 35 所述基于所述多帧轮廓点云，确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数，包括：
- 确定所述多帧轮廓点云中各底面特征点对应的拟合直线的斜率，并基于该斜率确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系的第一旋转角度；其中，所述底面特征点为属于所述测量平台的特征

点；

确定所述多帧轮廓点云中，高度值最大的特征点，作为最大特征点；计算所述最大特征点的高度值与所述标定块实际高度的比值，并基于该比值确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系的第二旋转角度；

5 基于所述第一旋转角度和所述第二旋转角度，确定所述初始旋转参数。

7、根据权利要求5所述的方法，其特征在于，所述初始转换参数包括：初始平移参数；

所述基于所述多帧轮廓点云，确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数，包括：

10 针对任意相邻两帧轮廓点云，确定该两帧轮廓点云中，高度值最大的特征点的第一高度差；基于所述标定块的表面特征，确定所述第一高度差对应的曲面弧长和所述标定块在每一采样间隔内的水平位移；基于所述曲面弧长与所述水平位移，确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系在第一方向上的第一位移；基于所述曲面弧长与所述第一高度差，确定所述线性轮廓仪坐标系相对于所述测量平台坐标系在第二方向上的第二位移；其中，所述第一方向和所述第二方向正交；基于所述第一位移和所述第二位移，确定所述初始平移参数；或者，

15 基于各帧轮廓点云，确定所述梯形台中指定点的横坐标，作为第三位移；其中，所述指定点为所述梯形台上的任一点；基于属于所述梯形台顶面的表面点云和属于所述测量平台的底面点云，确定所述梯形台的高度，作为第四位移；基于所述第三位移和所述第四位移，确定所述初始平移参数。

20 8、根据权利要求1-7任一项所述的方法，其特征在于，所述对所述目标优化函数进行优化，得到优化后的所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的转换参数，作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参，包括：

迭代优化所述目标优化函数内的转换参数，直至所述目标优化函数的残差小于预设阈值；

将所述目标优化函数的残差小于预设阈值时，所述目标优化函数内的转换参数，作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参。

9、一种线性轮廓仪外参的标定装置，其特征在于，所述装置包括：

25 点云获取模块，用于获取标定块随测量平台运动过程中，线性轮廓仪针对所述标定块所采集的多帧轮廓点云；

点云分割模块，用于对每一轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云；

关系建立模块，用于针对每一表面点云，基于该表面点云中各特征点与该表面点云所属测量面的表面特征，建立该表面点云的约束关系；

30 函数构建模块，用于基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对所述预估转换关系的目标优化函数；

函数优化模块，用于对所述目标优化函数进行优化，得到优化后的所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的转换参数，作为所述线性轮廓仪与所述测量平台间的外参。

35 10、根据权利要求9所述的装置，其特征在于，所述点云分割模块，具体用于针对每一轮廓点云，基于与所述标定块的类型对应的分割策略，对该轮廓点云进行点云分割，得到属于不同测量面的表面点云。

11、根据权利要求10所述的装置，其特征在于，所述点云分割模块，具体用于若所述标定块为圆锥体，则对该轮廓点云中各特征点，进行曲线拟合与直线拟合，并将拟合得到的曲线所对应的各特征点，

作为圆锥面点云，以及将拟合得到的直线所对应的特征点，确定为底面点云；若所述标定块为球体，则对该轮廓点云中各特征点，进行圆拟合与直线拟合，并将拟合得到的曲线对应的各特征点，作为球面点云，以及将拟合得到的直线对应的各特征点，作为底面点云；若所述标定块为梯形台，则对该轮廓点云中各特征点，进行直线拟合，得到多条拟合直线；对所述多条拟合直线划分，得到包含端点的端点直线，以及不包含端点中部直线；将所述中部直线对应的各特征点，作为台面点云，以及将所述端点直线对应的各特征点，作为底面点云。

5

12、根据权利要求 9-11 任一项所述的装置，其特征在于，所述装置还包括：

关系预估模块，用于在所述函数构建模块执行所述基于线性轮廓仪坐标系与测量平台坐标系之间的预估转换关系，以及各表面点云的约束关系，构建针对所述预估转换关系的目标优化函数之前，基于所

10

获取的多帧轮廓点云，确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的坐标系转换关系，作为预估转换关系。

13、根据权利要求 12 所述的装置，其特征在于，所述关系预估模块，具体用于基于所述多帧轮廓点云，确定所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间的初始转换参数；将所述初始转换参数作为所述线性轮廓仪坐标系与所述测量平台坐标系之间转换公式内各参数的预估值，以得到预估转换关系。

15

14、一种电子设备，其特征在于，包括处理器、通信接口、存储器和通信总线，其中，处理器，通信接口，存储器通过通信总线完成相互间的通信；

存储器，用于存放计算机程序；

处理器，用于执行存储器上所存放的程序时，实现权利要求 1-8 任一所述的方法步骤。

15、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内存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1-8 任一所述的方法步骤。

20