



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102239421 B

(45) 授权公告日 2013. 06. 12

(21) 申请号 200980148438. 1

G01C 25/00(2006. 01)

(22) 申请日 2009. 12. 03

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

US 4627723 , 1986. 12. 09, 全文 .

12/329, 455 2008. 12. 05 US

US 2006/0236746 A1, 2006. 10. 26, 全文 .

(85) PCT申请进入国家阶段日

审查员 阎冬

2011. 06. 02

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2009/066282 2009. 12. 03

(87) PCT申请的公布数据

W02010/063781 EN 2010. 06. 10

(73) 专利权人 莱卡地球系统公开股份有限公司

地址 瑞士海尔博瑞格

(72) 发明人 格雷戈里·查尔斯·沃尔什

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

公司 11127

代理人 李辉 张旭东

(51) Int. Cl.

G01S 7/497(2006. 01)

G01S 17/42(2006. 01)

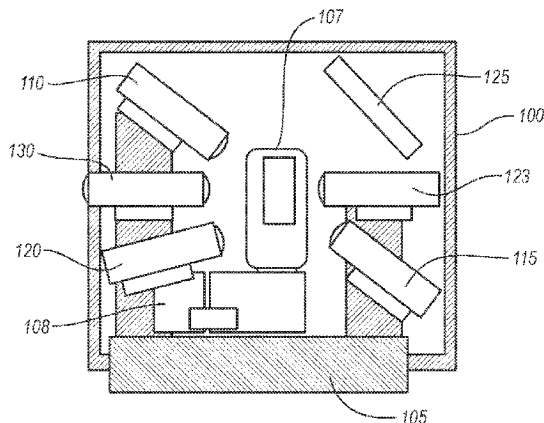
权利要求书1页 说明书12页 附图7页

(54) 发明名称

基于望远镜的三维光学扫描仪校准

(57) 摘要

本发明的实施方式包括使用一组望远镜来校准三维光学扫描仪。针对测量级校准公开了三个单独的校准:(1) 使用至少一对对映望远镜实现的角度校准,(2) 使用至少一个安装有光纤循环器的望远镜实现的测程校准,和(3) 使用未按照对映配置安装的至少一对望远镜和一体的倾斜台实现的倾斜校准。还公开了用于对准或测量对映望远镜对之间的未对准的方法。



1. 一种用于校准三维光学扫描系统的倾斜传感器的方法,该方法包括:
 - 将所述扫描系统定位在对映校准架内的倾斜台上,其中所述对映校准架包括安装在所述对映校准架上的两个或更多个望远镜,其中所述两个或更多个望远镜用于测量所述三维光学扫描系统的倾斜;
 - 对所述三维光学扫描系统执行角度校准;
 - 求解所述三维光学扫描系统的倾斜系数;
 - 执行一组步骤,该一组步骤包括:
 - 将所述倾斜台移动到下一倾斜位置;
 - 获得所述倾斜传感器的实际输出;
 - 测量所述两个或更多个望远镜的位置;以及
 - 使用所测量的所述两个或更多个望远镜的位置来计算所述倾斜传感器的期望输出;
 - 针对所述三维光学扫描系统的总共三个或更多个倾斜位置重复所述一组步骤;以及
 - 使用以上测量结果来计算估计的倾斜传感器模型。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述三维光学扫描系统包括 LIDAR 扫描仪。
3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,安装在所述对映校准架上的所述两个或更多个望远镜包括位于一个或更多个望远镜内的靶物。
4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,安装在所述对映校准架上的所述两个或更多个望远镜包括自动准直仪。
5. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,求解所述倾斜系数包括圆测量和最小二乘法计算。
6. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,求解所述倾斜系数包括双面测量。
7. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述一组步骤还包括:在将所述倾斜台移动到下一倾斜位置之前,计算下一近似倾斜位置。
8. 根据权利要求1或2所述的方法,其中,计算估计的倾斜传感器模型包括计算换算因数和交叉项。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中,所述换算因数包括所述倾斜传感器的输出与实际倾斜之间的差。
10. 根据权利要求9所述的方法,其中,交叉项包括所述传感器沿垂直于预想倾斜轴的轴的倾斜。
11. 根据权利要求1或2所述的方法,该方法还包括:使用所述测量结果来计算误差图。

基于望远镜的三维光学扫描仪校准

[0001] 针对真实世界物体的数据采集和随后的计算机模型生成在许多行业中并且对于许多应用是受关注的,这些行业和应用包括建筑、实物产业设计、娱乐应用(例如,电影和游戏中)、测量、制造质量控制、医疗成像和构造、以及制图和地理应用。为了获得物体的准确 3D 模型以及物体在真实世界中的面积,必需对组成物体的表面和周围区域的元素进行准确测量或取样。历史上,使用以最多每小时数十或数百的速率提供取样的技术来执行该取样。

[0002] 近来在扫描技术(如利用 LIDAR 扫描的技术)中的进展已经使得能够在大约数小时内在大区域上收集物理表面上的数十亿的点样本。在 LIDAR 扫描处理中,扫描装置将激光束扫描过包围关注结构的场景,并且由扫描装置捕获从场景反射的光束。扫描装置由此测量位于场景中可见的表面上的大量点。每个扫描点在 3D 空间中具有测量位置,在一定的测量误差内,该测量位置通常针对在扫描仪的本地坐标系中的点(x、y、z)被记录。所得到的点集合通常称为一个或多个点云(point cloud),其中每个点云可以包括位于扫描视野中的许多不同表面上的点。

[0003] 常规 LIDAR 扫描系统并不天然地创建点,而是替代地创建被转换为 x、y 和 z 坐标的具有关联镜面角的测程组。将这些天然测量结果映射为 x、y 和 z 坐标的功能取决于扫描仪如何装配,并且对于高精度系统,该功能针对每个扫描仪都是不同的,并且是温度和其他环境条件的函数。扫描仪系统之间的差别通常由称为校准参数的一组数据表示。校准系统的目的是估计校准参数。

[0004] 扫描仪的校准系统现在通常包括测量一组已知靶物并根据这些测量结果来估计校准参数。扫描仪系统将测量一个或多个靶物的位置。这些相同靶物的位置由受信基准系统(例如使用某种其他方法校准的全站仪(total station))测量。接着估计在该测量条件下的校准参数。在一个或多个温度处可以执行前述处理。

[0005] 这样的方法遇到至少三个问题。首先,需要辅助测量系统来定位激光扫描靶物。第二,如果在利用辅助测量系统测量靶物的时间和由被校准的扫描仪测量靶物的时间之间靶物发生移动——这或许是因为靶物例如固定到建筑物的随时间由于太阳光或其他因素而变形的部分,这些移动将系统性误差引入到校准参数中。第三,估计校准参数的能力不会比利用扫描仪和辅助测量系统来定位靶物的能力更好。靶物距扫描仪越远,校准的角度部分的估计值就越好。这已经导致现有技术成为宽范围地隔开靶物的大校准系统。这需要大的稳定空间。空间的尺寸占用太大并且倾向于加重第二个问题;即,靶物需随时间保持稳定或者固定在适当位置。

[0006] 全站仪是在测量中使用的手动操作光学仪器。全站仪是电子经纬仪(经纬仪)、电子测距计(EDM)和运行在称为数据收集器的外部计算机上的软件的组合。利用全站仪,可以确定从仪器到待测量点的角度和距离。利用三角法和三角测量法,可以使用角度和距离来计算被测量点的实际位置的坐标(x、y 和 z 或北距、东距和仰角)或者按照绝对项的仪器距已知点的位置。多数现代全站仪仪器通过对刻蚀在仪器内的旋转玻璃圆柱或盘上的极其精密的数字条形码进行光电扫描来测量角度。最好质量的全站仪能够测量低至 0.5 弧秒的

角度。不昂贵的“结构级”的全站仪一般可以测量 5 或 10 弧秒的角度。

[0007] 全站仪通过使用准直望远镜来解决高精度角度校准问题。待校准的全站仪放置在稳定的固定物上。在透镜组后具有靶物的望远镜用作靶物。通过在其靶物前放置透镜组，当靶物实际上小于 1 米远时，靶物表现为位于更大的距离处（也许甚至数百米远）。该技术将全站仪的校准系统的角度部分的尺寸减小到几个平方米。减小的尺寸还有助于靶物的稳定，因为靶物在物理上接近并且可以安装在通常由混凝土制成的同一稳定基部中。甚至靶物的稳定性不重要。全站仪校准系统通过在两个面中观测这些靶物而消除了对辅助测量系统或大稳定性的要求。

[0008] 在双面测量中，全站仪放置在稳定的底座上。操作者接着通过全站仪的望远镜观测望远镜中的靶物。在第二面中重复该测量；即，在基部上旋转全站仪达 180 度或一周的一半并重复该测量。省去了角度测量，并且根据这些观测结果可以在不使用辅助测量系统的情况下确定望远镜的位置和相关全站仪参数二者。

[0009] 准直望远镜需要某种调整以用于激光扫描仪，因为激光扫描仪发射需要发现其位置的激光束。另外，当应用于激光扫描仪时，使用双面测量并且没有辅助测量系统的全站仪校准方法失败。通常的激光扫描仪必须快速地移动激光束。这一般通过使用反射镜而不是通过移动激光器来进行。如果完全移动激光器，全站仪校准方法可适用，因为在激光束安装中的不确定度与仰角系数 (elevation index) 以及全站仪准直误差的不确定度表现相同。但是，如果反射镜移动激光束，则激光安装中的不确定度是新的参数，并且全站仪校准方法对于激光扫描仪校准变为不良状态。

[0010] 总之，扫描仪校准的现有技术受到尺寸、成本和精度限制的影响，因为校准需要辅助基准，并且精度对于校准系统的尺寸和稳定性敏感。全站仪校准的现有技术解决了这些问题，但当应用于激光扫描仪校准时失败。全站仪校准方法不能够正确地识别激光扫描仪的全部校准参数，因为物理设置这样的激光扫描仪的方式不同于全站仪，即，因为激光扫描仪使用反射镜来使激光束偏转。

[0011] 提供该发明内容来介绍简化形式的概念的选择，这些概念下面还将在详细的说明中描述。该发明内容不是要识别所要求保护的主题的关键特征或必要特点，也不是要用作确定所要求保护的主题的范围的帮助。

[0012] 本发明的一个实施方式包括一种用于执行三维光学扫描系统的角度校准或倾斜校准的对映校准架 (antipodal calibration rig)。对映校准架包括安装在架上的第一望远镜和安装在架上的第二望远镜。对映校准架还包括用于定位在对映校准架内的扫描仪的基部。基部被配置为使得当扫描仪置于基座上时扫描仪位于第一望远镜的轴上和第二望远镜的轴上。

[0013] 本发明的另一实施方式包括一种用于按对映体对排列第一望远镜和第二望远镜的方法。望远镜包括对准激光器 (alignment laser)，并且用于观测第一望远镜和第二望远镜的装置位于第一望远镜和第二望远镜之间。该方法包括在第一望远镜处对第一望远镜的第一对准激光器的第一光束的位置与第二望远镜的第二对准激光器的第二光束的位置进行比较。该方法还包括在第二望远镜处对第一光束的位置与第二光束的位置进行比较。该方法还包括调整第一望远镜和第二望远镜，直到第一对准激光器和第二对准激光器的光束平行。

[0014] 本发明的另一实施方式包括一种用于三维光学扫描系统的角度校准的方法。该方法包括在对映校准架内定位三维光学扫描系统。对映校准架包括安装在对映校准架上的第一望远镜和安装在对映校准架上的第二望远镜。第一望远镜与第二望远镜对映排列,并且扫描仪位于第一望远镜的轴上和第二望远镜的轴上。该方法还包括在两个面中测量第一望远镜的角度位置和测量第二望远镜的角度位置。该方法还包括根据这些测量结果来估计三维光学扫描系统的一组角度校准参数。

[0015] 本发明的另一实施方式包括一种用于校准三维光学扫描系统的倾斜传感器的方法。该方法包括将扫描系统定位在对映校准架内的倾斜台上。对映校准架包括安装在对映校准架上的一个或更多个望远镜。该一个或更多个望远镜用于测量三维光学扫描系统的倾斜。该方法还包括对三维光学扫描系统执行角度校准并求解三维光学扫描系统的倾斜系数。求解倾斜系数包括旋转扫描仪并观测倾斜传感器的变化,并且在测量业中公知为倾斜的双面调整。该方法还包括执行一组步骤,这一组步骤包括:将倾斜台移动到下一倾斜位置;获得倾斜传感器的实际输出;测量两个或更多个望远镜的位置;以及使用所测量的两个或更多个望远镜的位置来计算倾斜传感器的期望输出。该方法包括针对所述三维光学扫描系统的三个或更多个倾斜位置重复所述一组步骤,并使用这些测量结果来计算估计的倾斜传感器模型。

[0016] 本发明的另一实施方式包括一种用于确定三维光学扫描系统的测程范围(range scale)的方法。该方法包括从三维光学扫描系统向对映校准架发射光束。该方法还包括在对映校准架处将来自三维扫描系统的光束分离。来自三维扫描系统的光束的第一部分进入循环光纤回路以返回到分束器,来自三维扫描系统的光束的第二部分进入透射透镜。该方法还包括从透射透镜将光束发射回到扫描系统,在扫描系统处测量脉冲之间的时间,并根据脉冲之间的时间计算测程数据。两个这样的组件可以放置在扫描仪的相对两侧,以估计扫描系统的测程偏移。

[0017] 本发明的这些和其他目的以及特征将在随后的说明书和所附的权利要求中变得更加清楚,或者可以通过实施此后阐述的本发明而获知。

[0018] 为了进一步阐明本发明的上述和其他优点和特征,通过参考在附图中示出的本发明的具体实施方式来给出本发明的更具体的描述。应当理解,这些图仅描述了本发明的例示实施方式,因此不认为是限制它的范围。通过使用附图将更加具体和详细地描述和说明本发明,在附图中:

[0019] 图 1A 示出对映校准架的示例;

[0020] 图 1B 示出图 1A 的四轴扫描仪操纵器;

[0021] 图 2 是示出用于将第一望远镜和第二望远镜排列成对映体对的方法示例的流程图;

[0022] 图 3 示出用于使用分束器比较对准激光器的位置的实施方式;

[0023] 图 4 示出用于使用角隅棱镜(corner cube)比较对准激光器的位置的另选实施方式;

[0024] 图 5A 示出对因测量噪声导致的校准参数误差的仿真;

[0025] 图 5B 示出对因在校准扫描仪中使用的对映的一对望远镜的未对准导致的校准参数误差的仿真;

[0026] 图 6 是示出用于执行三维扫描系统的角度校准的方法示例的流程图；

[0027] 图 7 是示出用于执行三维扫描系统的倾斜校准的方法示例的流程图；

[0028] 图 8 是示出用于执行三维扫描系统的测程校准的方法示例的流程图；

[0029] 图 9A 示出测程校准架 (range calibration rig) 的示例；和

[0030] 图 9B 示出从测程校准架向扫描仪发射的脉冲。

[0031] 全站仪和其他扫描系统的校准是公知的处理。但是，该处理不很好地适合于包括 LIDAR 扫描仪的三维光学扫描系统。三维光学扫描系统与全站仪相比在校准中具有附加的不确定度。其中，这些附加的不确定度由反射镜产生，所述反射镜用于改变在扫描中使用的激光束的位置。为了克服这些问题，需要并在下面公开了另选的校准方法。

[0032] I、对映校准架

[0033] 图 1A 示出对映校准架 100 的示例。该示例包含对映的一对望远镜 110 和 115、以及其他望远镜。对映校准架 100 可以用于角度校准（如在下面部分 III 中所述）、倾斜校准（如在下面部分 IV 中所述）和 / 或测程校准（如在下面部分 V 中所述）。在一些实施方式中，对映校准架 100 包括用于对映校准架 100 内的扫描仪 107 的基部 105。基部 105 可以包括四轴扫描仪操纵器 108。图 1B 示出图 1A 的四轴扫描仪操纵器 108。四轴扫描仪操纵器 108 允许扫描仪 107 绕两个轴（或者称为倾斜台）做小的倾斜运动以及绕一个轴（通常为扫描仪 107 的立轴）旋转。另外，操纵器 108 允许扫描仪 107 总体平移以从对映的望远镜之间取走该单元。另选地，基部 105 可以仅包括倾斜台（未示出），该倾斜台具有可以在一个或更多个方向上倾斜的顶或者具有允许扫描仪的适当运动（包括移位和旋转）的任何其他设备。

[0034] 在一些实施方式中，校准架 100 包括一个或更多个望远镜 110、115、120 和 123。这里使用的望远镜包括在透镜后的靶物，该透镜被设计为收集或聚焦电磁辐射。例如，校准架 100 可以包括第一望远镜 110 和第二望远镜 115。在一些实施方式中，第一望远镜 110 的轴和第二望远镜 115 的轴可以彼此对映地排列。在数学上，在球体的表面上的一点的对映点是与原始点在直径上相反的点，这样定位使得从一个点到另一个点的线穿过球体的中心并形成真实的直径。因此，彼此对映地排列的望远镜是彼此面对并且具有大致彼此平行的轴的望远镜。按对映体对排列望远镜可以消除不确定度，因为望远镜处于对映体对中，它们相对于彼此的取向是已知的。在其他实施方式中，第一望远镜 110 的轴和第二望远镜 115 的轴可以彼此垂直。在另一些实施方式中，第一望远镜 110 的轴和第二望远镜 115 的轴可以相对于彼此成一些其他角度。

[0035] 在其他实施方式中，对映校准架 100 可以包括超过两个望远镜。例如，对映校准架 100 可以包括第三望远镜 120 和第四望远镜 123。第三望远镜 120 的轴可以垂直于第一望远镜 110 的轴。另外，第三望远镜 120 可以与第四望远镜 123 是对映的。因此，对映校准架 100 可以包括沿圆周按照 90 度间隔排列的四个望远镜。一对或更多对望远镜的对映排列可以消除不确定度（即，未知的校准参数），因为一个望远镜相对于另一个望远镜的排列是已知的（如在下面的部分 II 中所描述的）。尽管给出了示例配置，但本领域技术人员将理解，望远镜 110、115、120 和 123 可以按照任何组合排列，以最好地校准扫描仪 107。

[0036] 在一些实施方式中，对映校准架 100 可以包括不位于望远镜内的靶物 125。靶物 125 可以按照与望远镜差不多相同的方式使用。但是，望远镜比靶物 125 具有的优点在于，

望远镜表现为远得多。望远镜提供的增加的“测程”允许精确的校准。在一些实施方式中，对映校准架 100 包括测程校准元件 130。

[0037] 在一些实施方式中，对映校准架 100 的望远镜 110、115、120 和 123 可以包括对准激光器，对准激光器可以用于指示望远镜 110、115、120 和 123 的轴。该信息可以用于彼此对映地排列一个望远镜或另一望远镜（如在下面的部分 II 中描述的）。对准激光器的光束可以是圆形或可以是标线投射 (reticle projection)。标线或瞄准线 (crosshair) 是叠加在图像上用于准确对准设备的形状。瞄准线多数通常表示为“+”形的交叉线，当然可以存在许多变体，包括点、柱、圆、标尺、倒 V 字或者它们的组合。标线投射可以允许更精确排列望远镜 110、115、120 和 123。

[0038] 另外，在望远镜 110、115、120 和 123 中的靶物可以包括自动准直仪。自动准直仪是用于角度的非接触测量的光学仪器。一些自动准直仪的工作原理是向靶物反射镜上投射图像，并且视觉地或借助电子检测器并且对照刻度测量返回图像的偏转。因此，可以使用自动准直仪来检测进入激光束的位置。

[0039] 在一些实施方式中，对映校准架 100 可以是对映校准系统（未示出）的一部分。对映校准系统包括对映校准架 100 和环境舱（未示出）。环境舱包括温度控制部并且有足够的尺寸以包围对映校准架 100（即，对映校准架 100 放置在环境舱内）。这允许在多个温度处校准三维扫描系统。另选地，望远镜 110、115、120 和 123 可以放置在环境舱外，并且扫描仪 107 放置在舱内。在这样的实施方式中，高质量的窗口允许望远镜 110、115、120 和 123 观看舱内的扫描仪 107。

[0040] II、对映排列

[0041] 图 2 是示出用于按对映体对（如在上部分 I 中描述的对映校准架）排列第一望远镜和第二望远镜的方法 (200) 的示例的流程图。彼此对映地排列的望远镜是彼此面对并具有大致彼此平行的轴的望远镜。按对映体对排列望远镜可以消除不确定度。因为望远镜处于对映体对中，它们相对于彼此的取向是已知的，因此消除了不确定度。

[0042] 该方法 (200) 包括在第一望远镜处比较第一望远镜的光束和第二望远镜的光束的位置 (205)。可以按照任何适当的方式比较第一望远镜光束的位置和第二望远镜的光束的位置。图 3 示出使用分束器比较对准激光器的位置的示例。分束器是将电磁 (EM) 辐射的波束分成两个部分的光学装置。第一望远镜 300 包括第一对准激光器 305。第一对准激光器 305 可以用于指示第一望远镜 300 的轴。第一对准激光器 305 的光束可以是圆形或者可以是标线投射。

[0043] 第一对准激光器 305 被引导到第一望远镜 300 的外部。例如，分束棱镜 (beam splitting cube) 310 可以用于将第一对准激光器 305 的光束引导到第一望远镜的外部。分束棱镜 310 可以由两个三角形玻璃棱柱制成，这两个三角形玻璃棱柱可以使用例如加拿大树胶 (Canadabalsam) 而在它们的基部粘合在一起。树脂层的厚度被调整为使得通过一“端 (port)”（即，棱镜的面）入射的 EM 辐射的一部分（针对特定波长）被反射并且其他部分被透射。第一分束棱镜 310 将第一对准激光器 305 的光束引导到第一望远镜 300 的外部。

[0044] 在第一对准激光器 305 的光束射出第一望远镜 300 后，光束遇到第三分束器 315。第三分束器 315 可以是半镀银反射镜。半镀银反射镜可以包括具有薄铝涂层（通常由铝蒸汽淀积）的玻璃板，铝涂层的厚度使得入射光的第一部分被透射并且第二部分被反射。

[0045] 同理,第二望远镜 325 上的第二对准激光器 320 在第二分束棱镜 330 处分开,并被引导到第二望远镜 325 的外部。第二对准激光器 320 的光束遇到第三分束器 315,从而光的第一部分被透射并且光的第二部分被反射。

[0046] 第一光束的第二部分(在第三分束器 315 处反射)和第二光束的第一部分(透射穿过第三分束器 315)继续到第一望远镜 300,在此第一光束的第二部分和第二光束的第一部分遇到第一分束棱镜 310。两个光束的一部分穿过第一分束棱镜 310,其中第一光束的第二部分和第二光束的第一部分入射在第一望远镜 300 内的第一靶物 335 上。第一靶物 335 可以包括自动准直仪、位置敏感二极管、焦平面阵列或者用于检测第一光束和第二光束的位置的任何其他装置。自动准直仪是用于角度的非接触测量的光学仪器。位置敏感二极管(PSD;又名位置敏感器件或位置敏感检测器)是可以在传感器表面上一维或二维地测量光斑的位置的光学位置传感器。焦平面阵列(FPA;又名凝视阵列、凝视平面阵列或焦平面、相机)是由在透镜的焦平面处的感光像素的(通常矩形)阵列组成的图像感测装置。本领域技术人员明白,可以充分地检测第一光束和第二光束的位置的任何装置都可以用作第一靶物 335。在图 3 的实施方式中,可以在第一望远镜 300 处同时比较第一光束和第二光束的位置。

[0047] 图 4 示出用于使用角隅棱镜比较对准激光器的位置的另选实施方式。使用一对角隅棱镜 400A 和 400B 来将第一光束反射回第一望远镜 405 和将第二光束反射回第二望远镜 410。角隅棱镜(又名角形反射器)是由三个相互垂直、交叉的平坦表面组成、将电磁(EM)波朝向源反射回去的反射器。回射器(有时称为回射器)是以最小的散射将 EM 波反射回它们的源的装置或表面。电磁波阵面沿与波的源平行但方向相反的向量反射回去。因此,第一角隅棱镜 400A 将第一光束反射回到第一望远镜 405。第一光束的位置到达在第一望远镜 405 内的第一靶物,在此第一光束的位置被检测。

[0048] 接着可以将这一对角隅棱镜 400A 和 400B 移动到第二位置(例如,旋转 90 度),在此位置,这一对角隅棱镜 400A 和 400B 不反射对准激光器的光束。在一些实施方式中,这一对角隅棱镜 400A 和 400B 可以位于旋转臂 415 上以方便它们的运动。第二对准激光器的光束接着到达第一望远镜 405,在此可以检测第二对准激光器的光束的位置,并且可以在第一望远镜 405 处比较第一对准激光器的光束的位置和第二对准激光器的光束的位置。在图 4 的实施方式中,可以在第一望远镜 405 处顺序地比较第一光束和第二光束的位置。

[0049] 再回到图 2,该方法(200)还包括:在第二望远镜处比较第一望远镜的光束和第二望远镜的光束的位置(210)。在图 3 的实施方式中,第一光束的第一部分(透射穿过第三分束器 315)和第二光束的第二部分(在第三分束器 315 处被反射)继续到第二望远镜 325,在此第一光束的第一部分和第二光束的第二部分遇到第二分束棱镜 330。两个光束的一部分穿过第二分束棱镜 330,其中第一光束的第一部分和第二光束的第二部分入射在第二望远镜 330 内的第二靶物 340 上。在第二靶物 340 处可以按照与在第一靶物处的比较相同的方式或不同的方式比较光束的位置。在图 3 的实施方式中,可以在第二望远镜 340 处同时比较第一光束和第二光束的位置。

[0050] 本领域技术人员明白,在图 3 的实施方式中的第三分束器 315 不需要直接位于第一望远镜 300 和第二望远镜 325 之间,而可以位于允许将每个光束的一部分充分反射到发端望远镜并使其余部分穿过另一望远镜的任何地方。在一些实施方式中,第三分束器 315

可以定位为使得扫描仪（未示出）可以沿光束的路径放置，为了进行校准而大约在第一望远镜 300 和第二望远镜 325 之间的中点。另外，对准激光器 305 和 320 可以具有与扫描仪不同的波长，这表示分束器在角度校准期间可以保持在适当位置。

[0051] 在图 4 的实施方式中，第二角隅棱镜 400B 将第二光束反射回第二望远镜 410。第二光束到达第二望远镜 410 中的第二靶物，在此检测到第二光束的位置。接着可以将这一对角隅棱镜 400A 和 400B 移动到第二位置（例如，旋转 90 度），在此位置，这一对角隅棱镜 400A 和 400B 不反射对准激光器的光束。第一对准激光器的光束接着到达第二望远镜 410，在此可以检测第一对准激光器的光束的位置，并且可以在第二望远镜 410 处比较第一对准激光器的光束的位置和第二对准激光器的光束的位置。在图 4 的实施方式中，可以在第二望远镜 410 处顺序地比较第一光束和第二光束的位置。

[0052] 本领域技术人员明白，这一对角隅棱镜 400A 和 400B 不需要直接位于第一望远镜和第二望远镜之间，而可以位于使这一对角隅棱镜 400A 和 400B 将每个光束的一部分充分反射到发端望远镜并使其余部分穿过另一望远镜的任何地方。在一些实施方式中，这一对角隅棱镜 400A 和 400B 可以更靠近一个望远镜，使得扫描仪可以沿光束的路径放置，为了进行校准而大约在第一望远镜 405 和第二望远镜 410 之间的中点。在其他实施方式中，在这一对角隅棱镜 400A 和 400B 之间可以存在间隙，以允许扫描仪放置在这一对角隅棱镜 400A 和 400B 之间，为了进行校准而大约在第一望远镜 405 和第二望远镜 410 之间的中点。

[0053] 再参考图 2，该方法 (200) 还包括：调整第一望远镜和第二望远镜，直到光束平行 (215)。该调整通过移动望远镜或通过按照一些其他方式排列望远镜而完成。例如，可以移动望远镜内的反射镜以调整第一望远镜和第二望远镜。还可以进一步调整光束，直到光束是共线的（即，第一望远镜和第二望远镜共享公共的轴）。

[0054] 如果这些望远镜被校准为自动准直仪并且已知这些望远镜的相对取向，则可以取消调整第一望远镜和第二望远镜以使得光束共线的步骤。给定对准激光器在望远镜内的 PSD 或 FPA 上的位置，在望远镜坐标系中可以获知激光束在望远镜的坐标系中的角度方向。因此利用图 4 中示出的角隅棱镜反射器或图 3 中示出的分束器，人们可以测量两个排列激光束在两个望远镜坐标系中的角度位置。接着可以发现两个望远镜的相对取向。这等同于使望远镜共线，即恰当地排列。

[0055] 知道恰当的对映体对中的第一望远镜和第二望远镜的相对排列，在恰当地校准扫描仪中可以是重要的。图 5A 示出对因测量噪声导致的校准参数误差的仿真 500。图 5B 示出对因在校准扫描仪时使用的对映的一对望远镜的未对准而导致的校准参数误差的仿真 550。因噪声导致的校准参数误差大致是线性的，斜率约等于 2 的平方根（大约 1.4）。因对映排列导致的校准参数误差大致是线性的，斜率约等于 8 的平方根（大约 2.8）。因此，对映体对的相对排列的未对准或错误估计可以在校准参数中产生显著的误差。另选地，对映体对的恰当排列可以导致扫描仪的校准参数的高精确度，从而导致扫描仪有更精确的测量。

[0056] III、角度校准

[0057] 角度校准是估计扫描仪的角度参数的方法。角度校准参数允许用户使用诸如编码器角度的扫描仪内部测量结果来计算扫描仪激光束的方向。利用激光束的方向以及恰当调整的测程，可以返回笛卡尔坐标或球面坐标中的坐标或测量结果。球面坐标系是用于使用以下三个坐标表示三维中的几何形状的坐标系：(1) 一点到固定原点的半径距离，(2) 从 z

轴正方向到该点的天顶角（或仰角）角度，和（3）从 x 轴正方向到该点在 x - y 平面中的正交投影的方位角。但是，与使用的坐标系无关，精确的角度测量对于扫描仪的精度是重要的。尽管扫描仪可以被配置为仿效球面或其他坐标系，扫描仪的内部测量（如编码器角度和测程）自身必须首先使用角度校准参数和测程校准参数来变换，以产生独立于扫描仪的测量。

[0058] 图 6 是示出用于执行三维扫描系统的角度校准的方法示例的流程图 (600)。三维扫描系统可以包括光成像检测器和测距 (LIDAR) 扫描仪或任何其他类型的三维扫描系统。

[0059] 该方法 (600) 包括将扫描仪定位在对映校准架内 (605)（例如，在上面部分 I 中描述的对映校准架）。在一些实施方式中，对映校准架包括第一望远镜和第二望远镜。第一望远镜和第二望远镜可以对映地排列或者具有已知的相对取向（例如，使用上面部分 II 中描述的方法）。扫描仪位于第一望远镜的轴上和第二望远镜的轴上。通过对映地排列第一望远镜和第二望远镜，可以消除不确定度。对映的望远镜具有平行的轴，因此已知两个轴相差 180 度，或者具有已知的相对取向，两个轴相差已知量。该已知量消除了校准中的一个不确定度或一个变量。在其他实施方式中，除了第一望远镜和第二望远镜，对映校准架还可以包括超过两个望远镜以及一个或更多个靶物。

[0060] 第一望远镜和 / 或第二望远镜可以包括靶物。该靶物可以包括自动准直仪、位置敏感二极管、焦平面阵列或用于检测扫描仪光束的位置的任何其他装置。自动准直仪是用于角度的非接触测量的光学仪器。位置敏感二极管是可以在传感器表面上一维或二维地测量光斑的位置的光学位置传感器。焦平面阵列是由在透镜的焦平面处的感光像素的（通常矩形）阵列组成的图像感测装置。本领域技术人员明白，可以充分地检测扫描仪光束的位置的任何装置可以用作靶物。

[0061] 该方法 (600) 还包括通过将扫描仪激光束指向望远镜并读取在望远镜靶物上的位置和内部扫描仪角度二者而测量在第一望远镜的坐标系中激光束的角度位置 (610)。因此，获知在望远镜的坐标系中扫描仪激光束的方向，并且该方向与一组扫描仪角度测量结果相关联。在一些实施方式中，可以在望远镜靶物上的精确对应于一个或两个望远镜对准激光器光束的位置的点处获得测量结果。在其他实施方式中，使用望远镜和靶物的校准来测量扫描仪激光束相对于排列光束的位置。在一些实施方式中，测量扫描仪激光束相对于第一望远镜的角度位置 (610) 包括使用双面测量来测量角度位置。双面测量包括：观测望远镜，绕基部旋转扫描仪 180 度（绕 z 轴旋转或天顶轴 (zenith axis) 的零点），并重复观测同一望远镜。绕天顶轴旋转 180 度应当产生与天顶角的初始测量大约相等的天顶角的后续测量。如果望远镜和靶物被校准并且因此激光束的方向在望远镜坐标系中是已知的，则针对第二面测量的激光束的角度方向可以不对应于第一面测量的同一角度方向。

[0062] 该方法 (600) 还包括按照与针对第一望远镜所述的相同方式测量在第二望远镜的坐标系中扫描仪激光束的角度位置 (615)。在每种情况下，与匹配的一组内部扫描仪角度一起测量在望远镜的坐标系中激光束的方向，并且在两个面中都这样做。第二望远镜的角度位置可以描述为两个角度：从 z 轴正方向到望远镜（具体地说，望远镜的焦点）的天顶角，和从 x 轴正方向到望远镜（具体地说，望远镜的焦点）在 x - y 平面中的正交投影的方位角。但是，第一望远镜和第二望远镜的角度位置是未知的。因为望远镜按照对映结构放置并且它们包含对准激光器，所以它们的相对排列是已知的，这足以解决校准，从而求解望远

镜的角度位置。

[0063] 在一些实施方式中,测量在第二望远镜的坐标系中扫描仪激光束的角度位置包括使用双面测量来测量角度位置。绕天顶轴旋转 180 度应当产生与天顶角的初始测量结果大约相等的顶点角的后续测量结果。如果望远镜和靶物被校准并且因此在望远镜坐标系中激光束的方向是已知的,则针对第二面测量的激光束的角度方向可以不对应于第一面测量的相同角度方向。

[0064] 该方法 (600) 还包括根据测量结果来估计一组角度校准参数 (620)。在完成测量后,在望远镜的坐标系中针对至少四个不同扫描仪激光束方向获知了激光束的角度位置 (即,在两个望远镜上的正面测量结果和背面测量结果)。使用诸如修正束调整 (modified bundle adjustment) 的标准非线性编程技术,这些观测结果可以接着用于计算扫描仪角度校准参数。角度参数可以包括方位角偏移、仰角偏移、仰角排列、镜像排列以及关于 y 轴和 z 轴的激光排列。方位角偏移 (或 0 方位角) 可以是外部参数,并且可以通过限定而非通过扫描仪自身的一些固有配置来选择。仰角偏移 (0 天顶角) 是扫描仪垂直于方位轴的零角度。仰角偏移是相对于方位 (“立”) 轴。仰角排列是仰角轴和方位轴之间的角。理想的是,仰角排列将准确地为 90 度 (垂直),但实际可以不是 90 度,因此必须知道真实的仰角排列。镜像排列是扫描仪的镜像相对于仰角轴的排列。理想的是,镜像排列将是 45 度,但实际不是 45 度,因此必须知道真实的镜像排列。在激光与反射镜相交前,关于 y 方向和 z 方向的激光排列是激光束关于仰角轴的定向排列。理想的是,激光将与 x 轴 (方位轴) 对齐,但偏离必须是已知的。

[0065] 在一些实施方式,角度参数可以不同于上面列出的这些。不同的参数组可以描述相同的变动,并且在这种情况下,存在根据一组参数计算另一组参数的方法。通过这样的方法关联的两个参数表示 (parameterization) 被认为是等同的。其他的参数表示组可以包括扫描仪动作中的不同变体。在其他实施方式中,根据扫描仪的制造缺陷和扫描仪的物理构造存在更多或更少的参数。公开的方法不取决于扫描仪的具体表示或参数表示,而取决于按照对映方式放置的望远镜的使用,因此可以观测它们的相对取位。

[0066] IV、倾斜校准

[0067] 倾斜校准是估计安装在扫描仪中的倾斜传感器的倾斜校准参数的处理。倾斜传感器测量扫描仪关于水平轴的相对倾斜或者扫描仪针对重力的晃动 (pitch) 和滚动。知道相对于激光束方向的重力方向便于将在不同时间或位置处获得的测量结果关联起来。倾斜校准对于将扫描仪的参考系中的测量结果与测量点的位置关联是重要的。

[0068] 图 7 是示出用于执行三维扫描系统的倾斜校准的方法示例的流程图 (700)。三维扫描系统可以包括 LIDAR 扫描仪或任何其他类型的三维测量系统。

[0069] 该方法 (700) 包括在校准架 (例如,在上面部分 I 中描述的基于望远镜的角度校准架) 内的倾斜台上定位扫描仪 (705)。倾斜台可以在一个或更多个方向上倾斜扫描仪。例如,倾斜台可以由四轴扫描仪操纵器实现。对映校准架包括一个或更多个安装在对映校准架上的望远镜。两个或更多个望远镜可以用作测量扫描仪倾斜的基准。

[0070] 该方法 (700) 还可以包括执行扫描仪的角度校准 (710)。可以根据上面在部分 III 中描述的方法执行角度校准,或者可以按照一些其他方式执行角度校准。角度校准保证扫描仪精确地测量角度。但是,与使用的坐标系统无关,精确的角度测量对于扫描仪的精度是

重要的。另外,精确的倾斜测量需要精确的角度测量。

[0071] 该方法 (700) 还包括求解扫描仪的倾斜系数 (715)。倾斜系数是倾斜传感器的偏移。倾斜传感器可以按照某种未知方式安装到系统。因此,倾斜测量自身不具有物理基准。在一些实施方式中,系统绕方位轴旋转并沿该路线获得倾斜测量结果。该倾斜测量结果将局部地描述一个圆。该圆的中心是所述系数。如果扫描仪被倾斜直到倾斜传感器读取系数值,则绕方位轴旋转扫描仪将不改变倾斜传感器的输出。系数的位置还可以通过所谓双面倾斜校正来求出。该处理包括:首先在一个固定位置测量倾斜传感器的输出,接着将扫描仪绕其方位轴旋转 180 度,并在第二位置处测量倾斜位置的输出。倾斜传感器的平均输出即为系数值。

[0072] 一旦测量出倾斜传感器的系数,至少两个望远镜的位置可通过将激光束指向所述望远镜并测量激光束位置来测量出。因为获知了扫描仪的角度校准,所以获知了激光束的方向,因此确定了望远镜在扫描仪的坐标系中的位置。选择的两个望远镜不应该是映的或者几乎不是。

[0073] 该方法 (700) 还包括将倾斜台移动到下一倾斜位置 (720)。在一些实施方式中,下一倾斜位置可以是任意的。在其他实施方式中,在将倾斜台移动到下一倾斜位置前,可以计算该下一倾斜位置,或者近似地计算该下一倾斜位置。在下一倾斜位置处,获得倾斜传感器的实际输出 (725)。扫描仪的倾斜传感器将指示一定的倾斜,即使在没有校准的情况下。这是倾斜传感器的实际输出。还测量了两个或更多个望远镜相对于下一倾斜位置的位置 (730)。使用该两个或更多个望远镜的位置的测量结果,可以计算扫描仪的取向的实际变化。在计算出倾斜传感器的期望输出后,接着可以将扫描仪的取向的实际变化与倾斜传感器的测量输出进行比较。

[0074] 该方法 (700) 还包括:针对总共三个或更多个倾斜位置重复 (740) 将倾斜台移动到下一倾斜位置 (720),获得倾斜传感器的实际输出 (725),测量两个或更多个望远镜的位置 (730),以及使用所测量的位置来计算期望输出 (735)。在一些实施方式中,针对总共三个或更多个倾斜位置的重复 (740) 包括针对总共十个或更多个倾斜位置的重复。针对总共十个或更多个倾斜位置的重复使得可以计算倾斜参数的一组估计误差。

[0075] 该方法 (700) 还包括:通过将倾斜传感器的期望输出与倾斜传感器的实际输出进行比较来计算估计的倾斜传感器模型 (745)。在一些实施方式中,倾斜传感器模型可以包括:在校准架中的倾斜、换算因数 (scale factor)、交叉项 (cross term) 和关于重力的取向。在校准架中的倾斜是传感器的晃动或滚动。换算因数在所测量的倾斜和倾斜传感器的输出之间进行校正。例如,当实际倾斜是 10" (10 弧秒) 时,所测量的倾斜可能是 9.5"。交叉项是不同倾斜方向的输出的混合 (即,不在传感器也指示滚动的情况下,难以或不可能具有晃动,反过来也如此)。关于重力的取向允许倾斜传感器的晃动和滚动转换为扫描仪坐标系中的晃动和滚动。

[0076] 在一些实施方式中,倾斜传感器模型可以使用最小二乘法来求解。最小二乘法的方法 (或者通常的最小二乘法 OLS) 用于求解确定的系统 (比未知的系统具有更多方程的系统)。最小二乘法是一种数据拟合方法。在最小二乘法意义中的最佳拟合是使残差平方和具有最小值的模型的情形,残差是观测值与模型给出的值之间的差。本领域技术人员明白,存在多种可用于估计倾斜传感器模型的方法,最小二乘法仅是其中一种,还可以使用任

何优选的方法。

[0077] 晃动是绕一个水平轴的旋转。例如,在飞行动力学中,晃动是绕横向或横贯轴(在有人驾驶的飞行器中从飞行员的左侧向右侧延伸的轴,并且该轴与有机翼的飞行器的机翼平行)的旋转,因此前端上翘而尾部下沉,或者前端下沉而尾部上翘。滚动是绕其他水平轴的旋转。例如,在飞行动力学中,滚动是绕纵向轴(在飞行的正常方向或飞行员面对的方向上从尾部到前端穿过飞行器主体的轴)的旋转。偏航是绕垂直轴(从顶到底的轴,并且该轴垂直于其他两个轴)的旋转。

[0078] 弧的一分、弧分或 MOA 是角度测量的单位,等于一度的六十分之一 ($1/60$)。由于一度被定义为圆的三百六十分之一 ($1/360$),所以 1MOA 是封闭圆的弧的 $1/21600$ 。用于标记弧分的标准符号是符号 ($'$)。弧的分的细分是弧的秒或弧秒。一个弧分有 60 弧秒。因此,弧秒是圆的 $1/1296000$,或者 ($\pi/648000$) 弧度,大约是 $1/206265$ 弧度。弧秒的符号是双撇号 ($''$)。

[0079] 在一些实施方式中,使用对映校准架执行了角度校准和倾斜校准的扫描仪可以是 $1''$ 扫描仪(精确到 1 弧秒内)。这转换为在 200 米的距离处的 1 毫米的精度。通常的扫描仪具有 $12\text{--}30''$ 的精度,因此,通过使用根据这里公开的教导的对映校准架而提供的校准改善是很大的。该精度水平接近全站仪所提供的最好精度。

[0080] V、测程校准

[0081] 测程校准保证扫描仪精确测量到扫描点的距离。三维扫描系统可以返回点在球面坐标中的坐标。球面坐标系是使用以下三个坐标来表示三维中的几何形状的坐标系:一点到固定原点的半径距离,从 z 轴正方向到该点的天顶角,和从 x 轴正方向到该点在 $x\text{--}y$ 平面中的正交投影的方位角。因为该点可以用球面坐标表示,所以在三维扫描系统中精确的测程测量是重要的。但是,与使用的坐标系无关,精确的角度测量对于扫描仪的精度是重要的。

[0082] 图 8 是示出用于执行三维扫描系统的测程校准的方法示例的流程图 (800)。三维扫描系统可以包括 LIDAR 扫描仪或任何其他类型的三维扫描系统。

[0083] 该方法 (800) 包括从扫描仪向测程校准架发送光束 (805)。在一些实施方式中,光束被发送到测程校准架的接收望远镜,并且聚焦到测程校准架的接收光纤上。图 9A 示出测程校准架 900 的示例。测程校准架 900 包括用于从扫描仪 907 接收光束的接收望远镜 905。接收望远镜 905 将光束聚焦到接收光纤 910 上。在其他实施方式中,测程校准架 900 包括开放空中网络,并且接收望远镜 905 可以不要。

[0084] 再参考图 8,该方法 (800) 还包括分离光束 (810)。在一些实施方式中,使用分束器来分离光束。分束器是将 EM 辐射波束分离为两个部分的光学装置。在其他实施方式中,使用光纤分离器来分离光束。光纤分离器是用于分离在光纤中传输的光信号的各部分的装置。图 9A 的测程校准架 900 包括光纤分离器 915。

[0085] 信号的两个部分在功率上不必相等。在一些实施方式中,第一部分可以具有光功率的较大部分。例如,第一部分可以包含原始功率的 95%,而第二部分包含功率的 5%。在其他实施方式中,第一部分可以包含 90%、75%、50%或任何适合于执行测程校准的其他百分比。

[0086] 再参考图 8,该方法 (800) 还包括向循环光纤回路发送光束的第一部分并将第一

部分返回到分束器 (815)、光纤分离器或其他用于分离光束的装置。在一些实施方式中,循环光纤回路可以是具有已知长度的光纤。图 9A 的测程校准架包括已知长度的循环光纤回路 920。循环光纤 920 使用光纤组合器 925 将光信号返回到接收光纤 910。在其他实施方式中,循环光纤回路 910 可以用具有已知长度的光路径的开放空中网络来替代。

[0087] 再参考图 8,该方法 (800) 还包括将光束的第二部分传输回扫描仪 (820)。在一些实施方式中,可以使用透射透镜来传输第二部分。图 9A 的测程校准架包括用于将第二部分返回到扫描仪 907 的透射透镜 930。在其他实施方式中,例如在开放空中网络中,可以使用反射镜或其他合适组件来将第二部分引导到扫描仪 907。因为每当第一部分通过分束器 915 时从光信号中分离出第二部分,所以将按照规则间隔向扫描仪 907 发送脉冲,每个脉冲的功率呈指数式降低。图 9B 示出从测程校准架 900 向扫描仪 907 发送的脉冲 950A、950B、950C 和 950D,示出了功率的降低。

[0088] 再参考图 8,该方法 (800) 还包括在扫描仪处测量脉冲之间的时间 (825)。图 9B 示出被测量的时间间隔。第一时间间隔 955 指示光束行进穿过测程校准架 900 并返回到扫描仪 907 所需要的时间。此后,脉冲继续以规则间隔 960 到达扫描仪 907,间隔 960 对应于脉冲行进穿过循环光纤 920 所需要的时间。第一时间间隔 955 可以比第二间隔 960 长,但并非必须。

[0089] 再参考图 8,方法 (800) 还包括使用所测量的脉冲之间的时间来计算测程范围 (830)。在一些实施方式中,循环光纤的观测长度可以通过将光在光纤中的速度乘以脉冲之间的时间来计算。在其他实施方式中,在开放空中网络中的光路径的观测长度可以通过将光在开放空中网络中的速度乘以脉冲之间的时间来计算。接着,通过将循环光纤或开放空中网络的已知长度与观测长度进行比较,来计算出测程范围。

[0090] 在不偏离本发明的精神或基本特征的情况下,本发明可以按照其他具体形式来实现。所描述的实施方式被认为在所有方面都仅是例示性的,而非限制性的。因此,本发明的范围由所附的权利要求指示,而非由前面的描述指示。落入权利要求的等同物的含义和范围内的全部变化都被包含在权利要求的范围内。

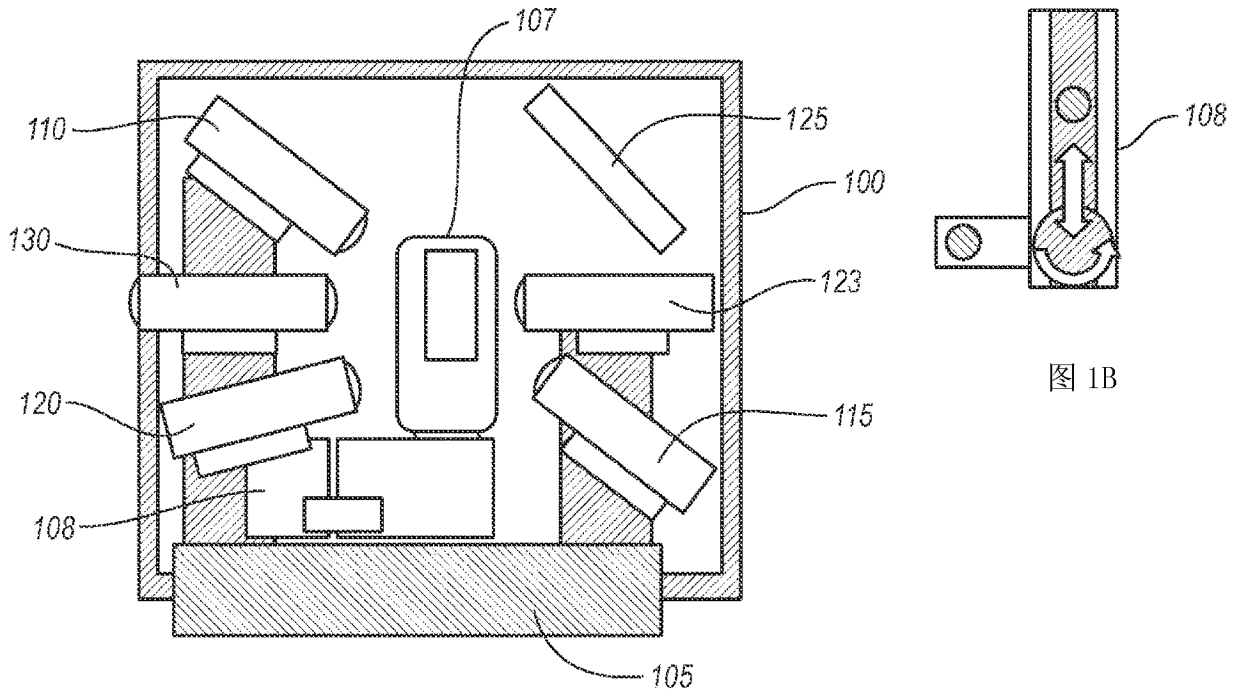


图 1A

图 1B

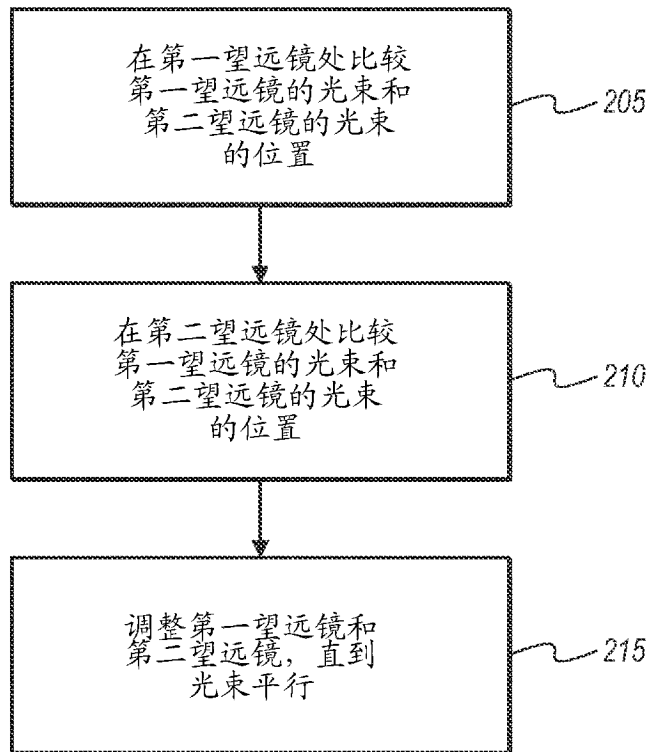


图 2

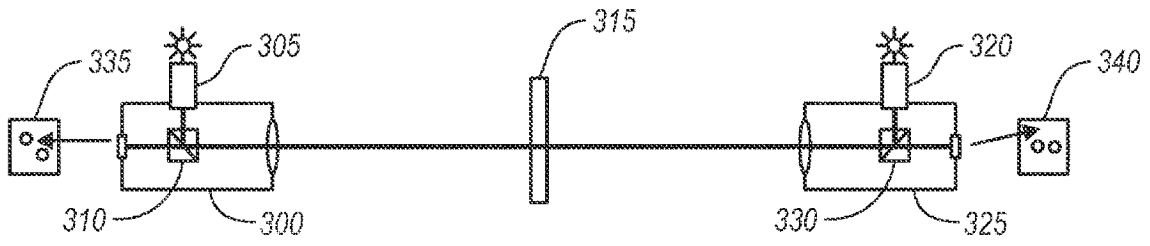


图 3

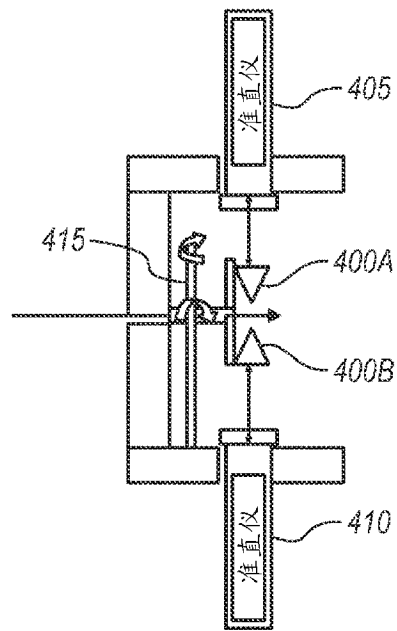


图 4

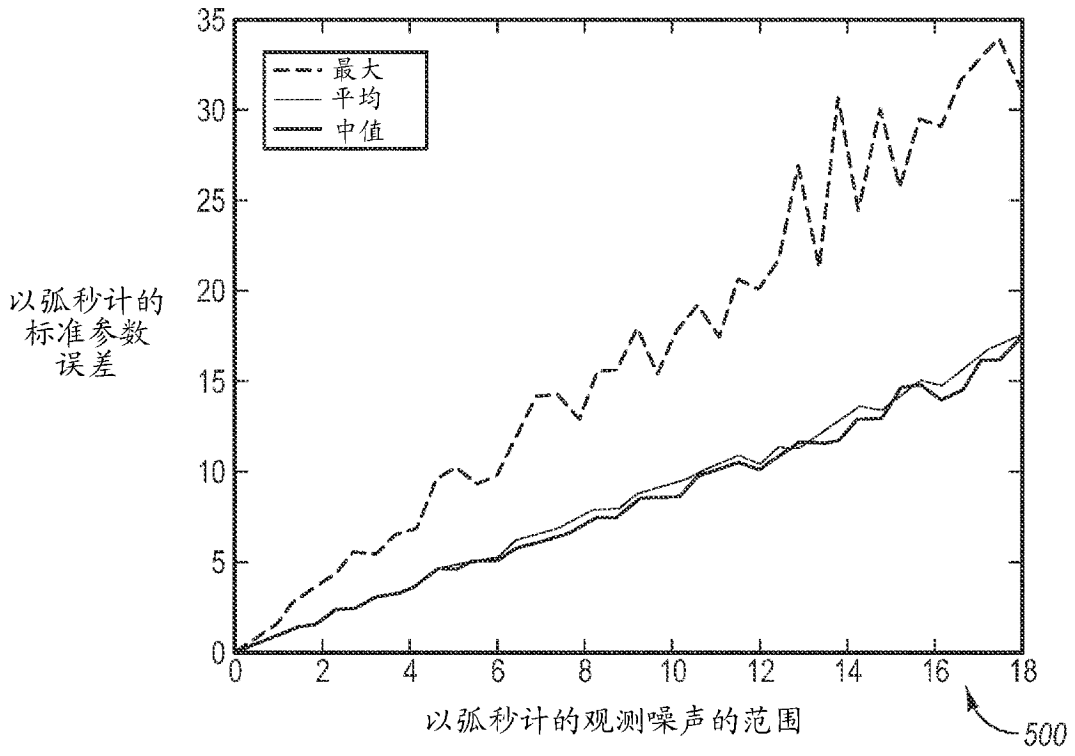


图 5A

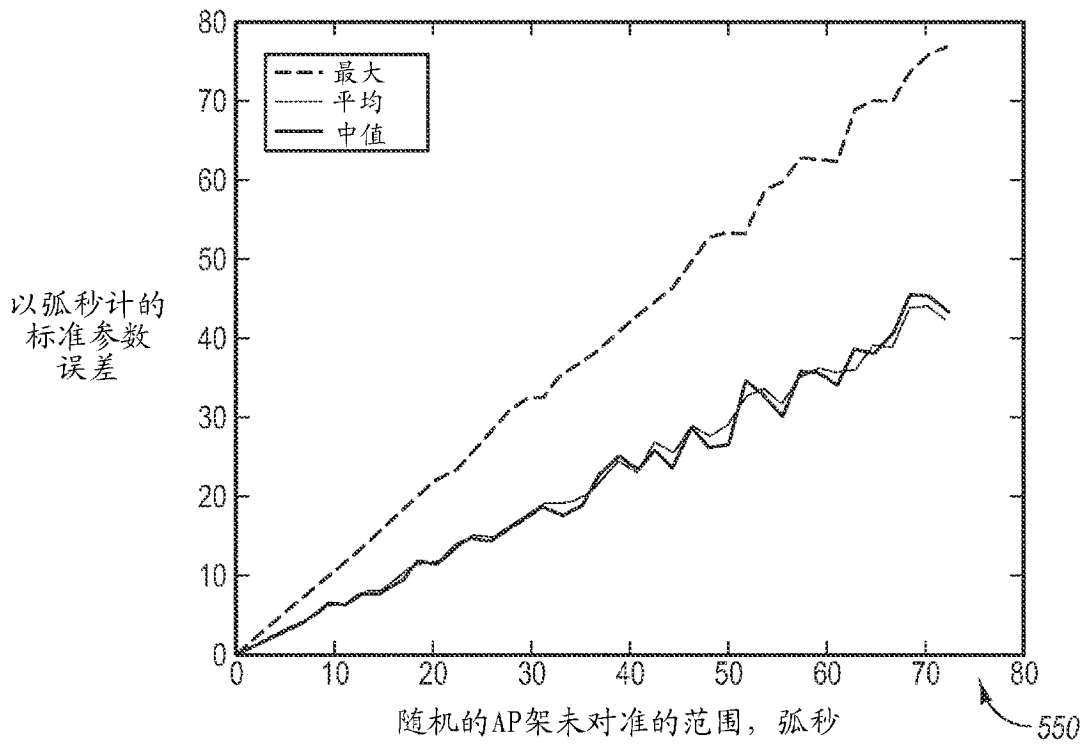


图 5B

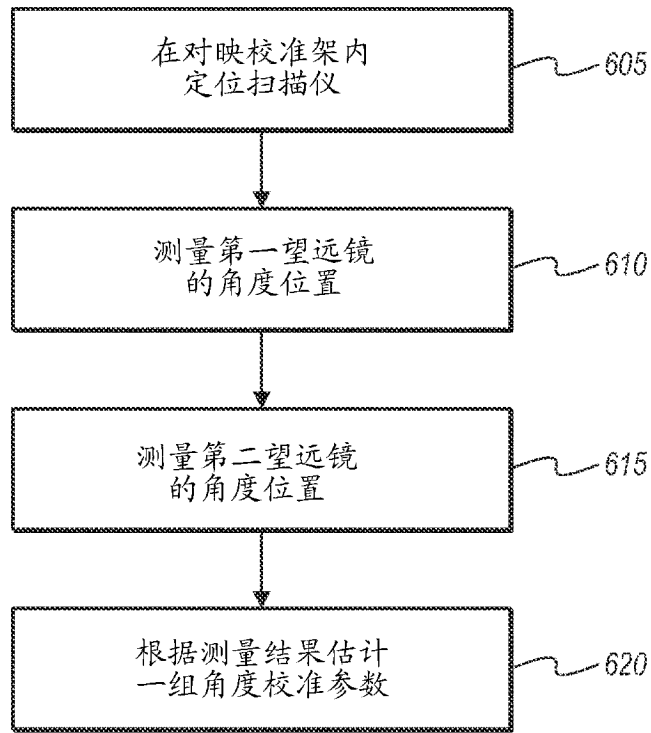


图 6

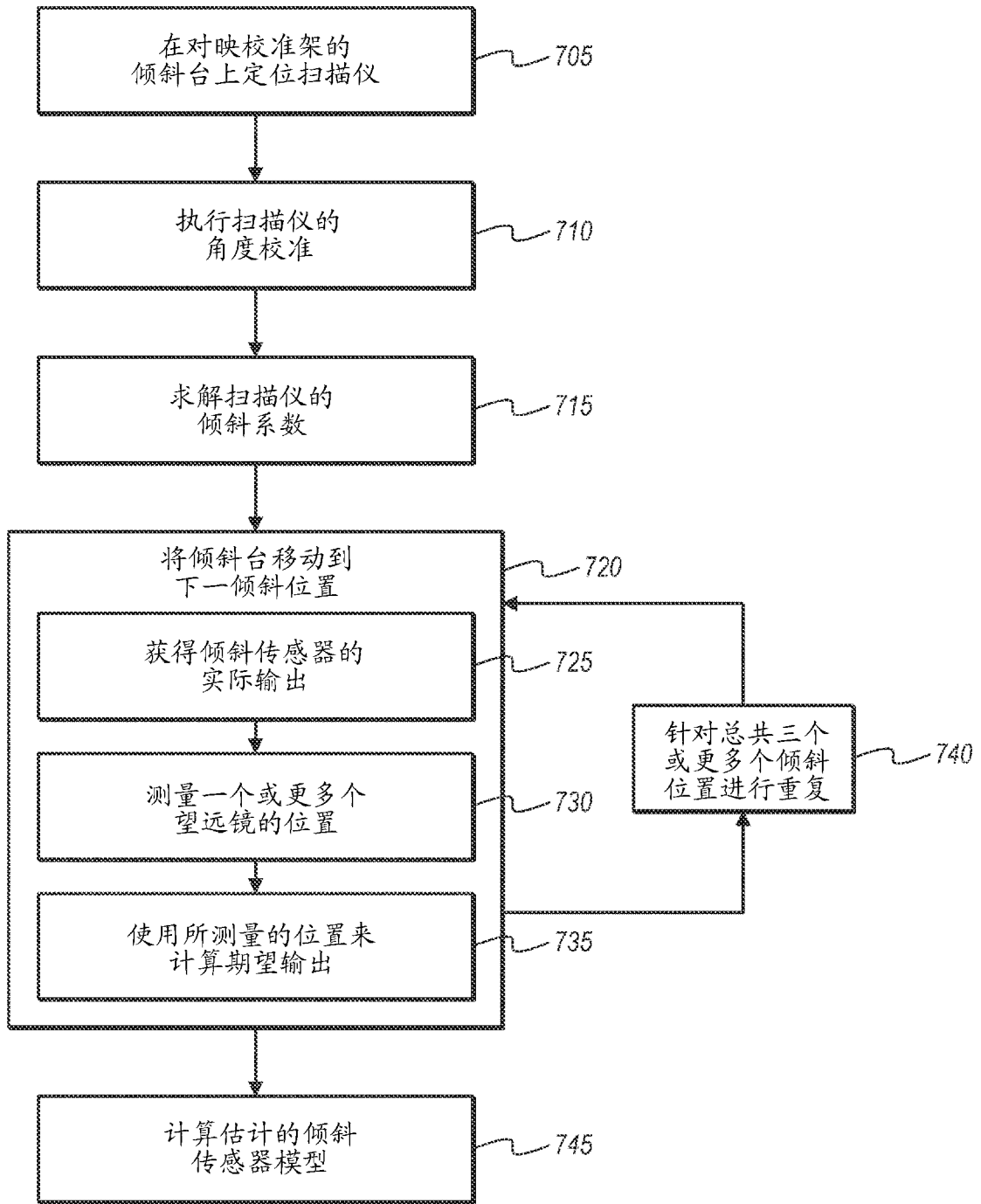


图 7

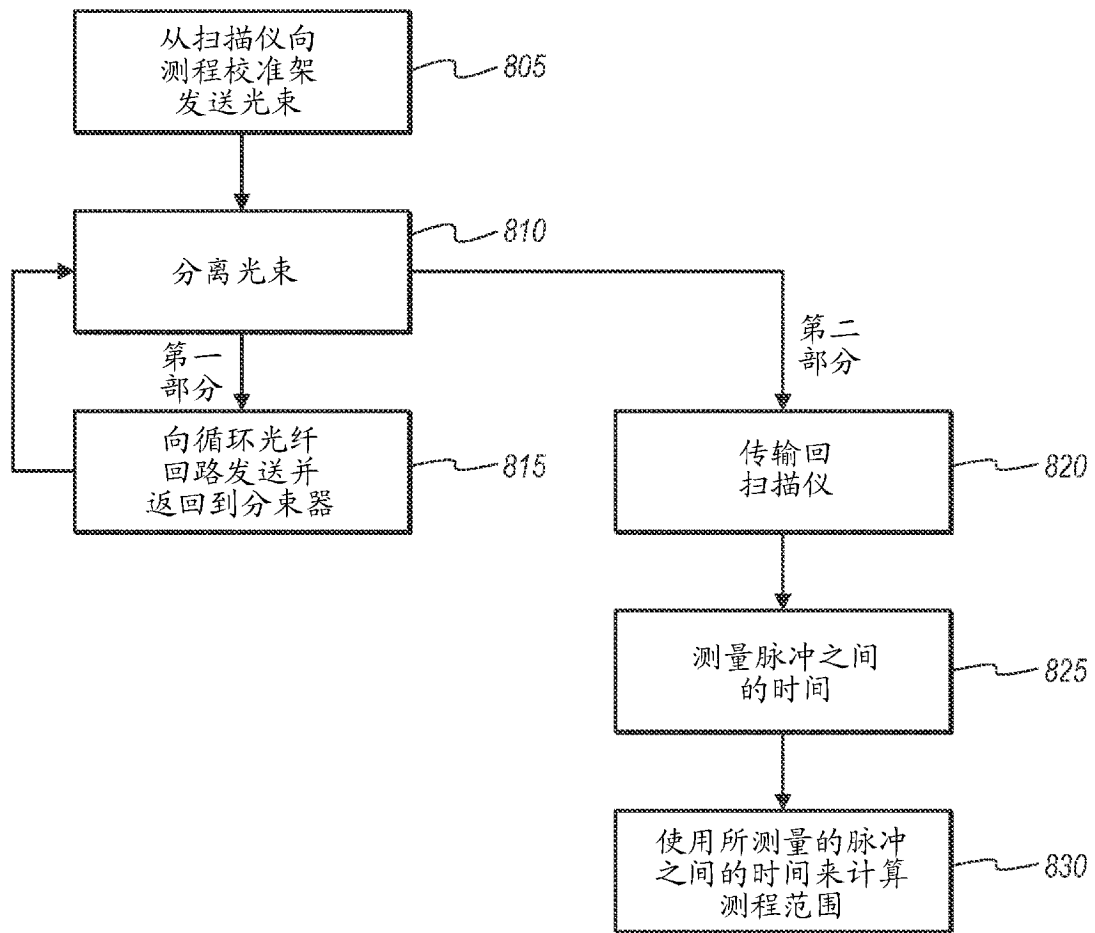


图 8

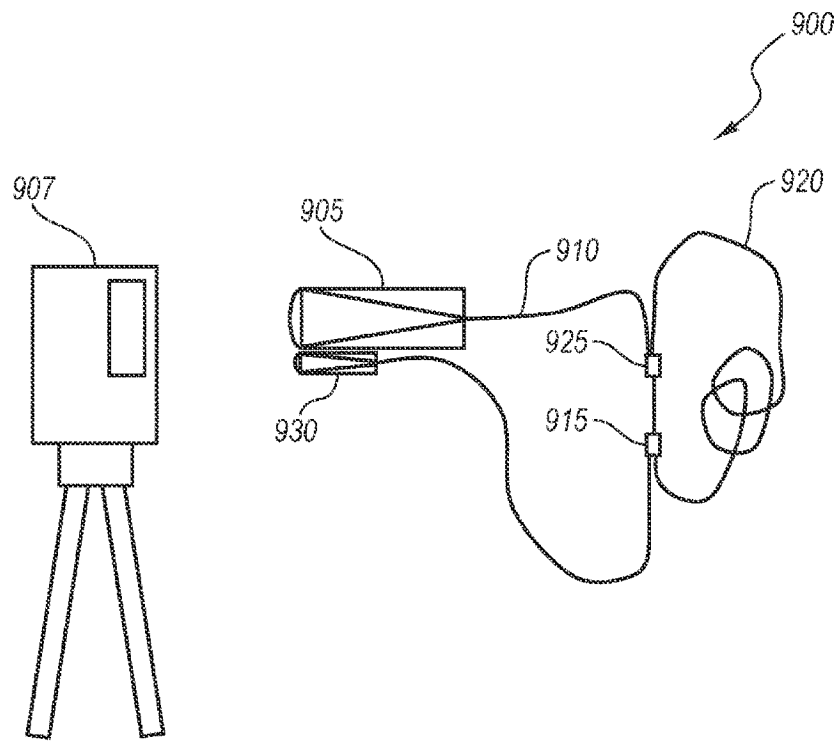


图 9A

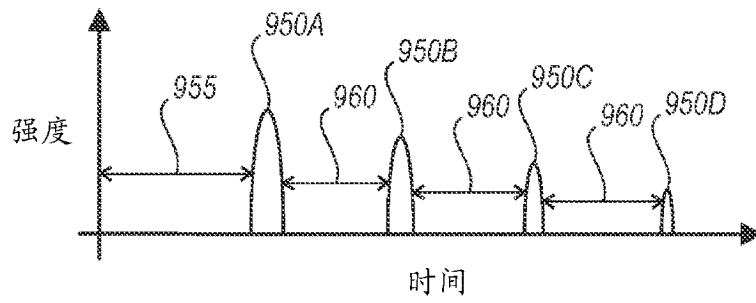


图 9B