



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105164549 B

(45)授权公告日 2019.07.02

(21)申请号 201480022190.5

(22)申请日 2014.03.14

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105164549 A

(43)申请公布日 2015.12.16

(30)优先权数据
61/792,468 2013.03.15 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.10.19

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/027126 2014.03.14

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/152254 EN 2014.09.25

(73)专利权人 优步技术公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 C·C·奥斯特伍德
D·L·斯特罗瑟 D·A·拉罗斯

(74)专利代理机构 北京商专永信知识产权代理
事务所(普通合伙) 11400
代理人 邬珩 葛强

(51)Int.Cl.
G01S 17/02(2006.01)
G01S 17/88(2006.01)
G02B 27/22(2006.01)

审查员 朱仲艳

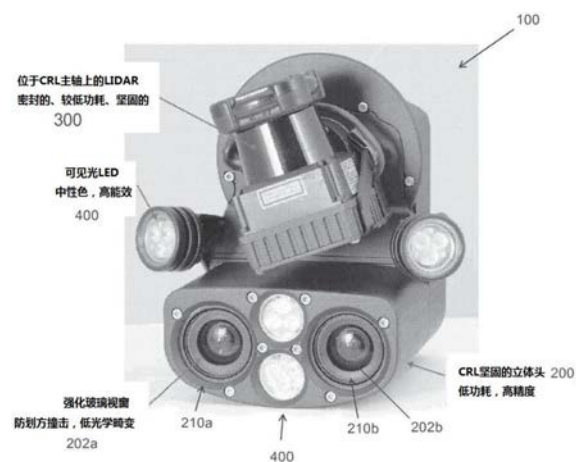
权利要求书2页 说明书19页 附图31页

(54)发明名称

用于机器人的多传感立体视觉的方法、系统和设备

(57)摘要

本发明的实施例包括适合用于机器人、导航、机器视觉、制造业及其它应用的多传感立体视觉传感器。在一些例子中,传感器包立体摄像机,其产生用于生成视差图的图像数据来确定场景中物体的位置和/或传感器自身的位置。该立体传感器可以包括图像传感器,其被固定于整体框架上来防止不希望的漂移,以及用于从处理器带走热量的导热板。该处理器可以提供一有效手段来在传感器上直接计算立体视差图。传感器还可以包括激光测距仪,该激光测距仪提供适用于校准该立体摄像机和在某些环境下改进其精度的距离数据。在一些例子中,该激光器耦接于主轴上,该主轴反过来由齿轮组通过滑动离合器驱动。



1. 一种用于自动车辆的立体视觉系统,其特征在于,所述系统包括:
壳体,所述壳体限定空腔和至少一个外部表面;
整体框架,其位于所述空腔中,所述整体框架限定至少一个安装面;
第一成像器,安装于所述至少一个安装面上,用于从第一视角获取环境的图像;以及
第二成像器,安装于所述至少一个安装面上,用于从不同于所述第一视角的第二视角获取所述环境的图像;
处理单元的集合,所述处理单元的集合包括设置在所述壳体中的处理单元,并且所述处理单元的集合可操作为:
计算由所述第一成像器和第二成像器获取的图像中每个像素的视差值;
基于所述图像中每个像素的相应视差值生成所述环境的一个或多个视差图;
通过不同于所述第一成像器和第二成像器的来源获得所述环境的三维点云;
使用由所述第一成像器获取的图像、所述第二成像器获取的图像、所述一个或多个视差图和所述三维点云确定与所述环境有关的信息;以及
使用获得的所述环境的三维点云校准所述第一成像器和所述第二成像器。
2. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,所述整体框架由一单件材料组成。
3. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,所述第一成像器和所述第二成像器被设置在同一平面上。
4. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,所述第一成像器被设置在第一平面上,所述第二成像器被设置在与所述第一平面平行的第二平面上。
5. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,所述第一成像器被设置在第一平面上,所述第二成像器被设置在与所述第一平面相交的第二平面上。
6. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,还包括:
至少一个销和至少一个螺栓中的至少一个,其将所述第一成像器和所述第二成像器中的至少一个固定到所述至少一个安装面。
7. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,还包括:
柔性电缆,用于将所述第二成像器耦接到所述处理单元的集合。
8. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,还包括:
内壁,其位于所述空腔中,并且与所述至少一个外部表面热连通。
9. 如权利要求8所述的立体视觉系统,其特征在于,还包括:
导热材料,其被设置在所述空腔中并且与所述内壁和所述壳体中的处理单元热连通,以将所述壳体中的处理单元产生的热量经由所述内壁传导到所述至少一个外部表面,从而耗散由所述壳体中的处理单元产生的热量。
10. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,所述处理单元的集合是现场可编程门阵列FPGA。
11. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,所述处理单元的集合还被操作为:
确定所述自动车辆的位置。
12. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,所述处理单元的集合还被操作为:
基于由所述第一成像器和第二成像器获取的图像以及由所述处理单元的集合生成的一个或多个视差图确定一个或多个运动物体的位置。

13. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,还包括:

纠正处理模块,用于纠正来自于所述第一成像器和所述第二成像器的图像。

14. 如权利要求1所述的立体视觉系统,其特征在于,所述处理单元的集合包括分别向所述第一成像器和所述第二成像器触发信号的逻辑,从而信号被同时分别在所述第一成像器和第二成像器处接收。

15. 如权利要求1至14中任一项所述的立体视觉系统,其特征在于,所述立体视觉系统包括所述不同于所述第一成像器和第二成像器的来源,所述来源包括:

激光器,用于使用激光照明所述环境中的一个或多个物体;以及

传感器,用于检测由所述一个或多个物体散射和/或反射的激光,并且于检测到的激光提供表示至所述一个或多个物体的距离的距离信号。

用于机器人的多传感立体视觉的方法、系统和设备

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请基于美国法典第35卷第119(e)节要求于2013年3月15日提交的、名称为“用于机器人的多传感立体视觉的方法、系统和设备”的美国临时申请第61/792,468号的优先权,该临时申请的全部内容通过引用方式并入本申请。

背景技术

[0003] 三维(3D)传感在许多领域和环境下很有用处。其允许机器人、自动车辆、以及远程控制车辆安全行驶和穿过地形,避开静态障碍物如树木、建筑和陡降,以及动态障碍物如人、动物和车辆。3D传感还能够允许绘制机器人本地环境的地图和绘制更大周围区域的较大规模地图。在工业环境下,在此描述的三维传感器可以在机器周围建立静态的或适应性的安全防护帘,和/或计数或检查移动穿过自动装配线或生产线的部件。

[0004] 高更新率的立体数据可以被用于感测待与之交互的近程障碍物、目标或物体。如果被安装作为人形机器人的“头部”,立体摄像机能够执行与人眼所做的完全一样的任务——建立人形机器人前方的实时3D模型表示,以允许进行反应性抓取、路径规划、步骤规划、物体识别、物体跟踪以及许多其它方式的3D计算。

发明内容

[0005] 本发明的实施例包括组合立体视觉/激光测距传感器,其适用于机器人、导航、机器视觉、制造业以及其它应用。在一些情况下,这些传感器包括具有扫描激光的立体摄像机,其被用于提供视频图像、立体图像以及从激光测距测量结果取得的图像。这些传感器可以被用于计算动作,由此随着传感器相对于其周围环境移动(或者周围环境变化),激光图像可以被不断的“拼接在一起”形成整体地图。另外,立体摄像机和激光测距仪可以被用于“自检”彼此的距离数据。这允许传感器检测某些种类的故障,且在一些情况下允许传感器自校准。

[0006] 两个传感器可以具有补偿(offsetting)能力:激光测距仪可以在长距离(例如,大约0.5米到大约30米)以高准确度运行,具有相当低的数据速率(例如,大约43,000点/秒),且可以很好地感测所有或差不多所有的表面,但是在穿过空气中的障碍,比如灰尘,进行成像时可能会遇到一些麻烦。立体摄像机速度可以较快(例如,大于15,000,000点/秒),在短距离上运行(例如,大约0.5米至大约5.0米,以7.0cm为基线),当穿过空气中的障碍进行成像时表现更好,但是可能不能感测到无特征表面的距离。

[0007] 在一些实施例中,激光脉冲在空间和时间上彼此同步且与外部时钟同步。另外,激光脉冲和摄像机图像可以相对于彼此准确地定时。这将有助于校准。这还使利用激光数据构建准确的3D模型成为可能,即使是在传感器运动的情况下:由摄像机图像进行的动作估计能够补偿在获取激光测距仪数据点期间传感器的移动。

[0008] 传感器的实施例可以包括集成于单个单元的元件,建立该单个单元是为了耐受各种环境,包括极端温度、机械冲击、震动以及湿度。特别是,摄像机/透镜设计可以被构建成

对抗由于温度变化和/或机械冲击引起的失准的漂移。类似的,用于处理传感器数据的立体算法和控制可以被调整成用于在具有挑战性的环境下运行,例如照明不足和糟糕的天气状况,以及灰尘和其它空气中的颗粒。

[0009] 在一些实施方式中,包括那些适合于机器人应用的,传感器可以包括或可操作地耦接到惯性测量单元(IMU)。耦接至IMU的传感器执行姿态估计软件来向用于导航等的机器人提供姿态解决方案。该姿态解决方案可以从源自IMU、立体(例如,视觉测程法(visual odometry))、轮编码器(wheel encoder)、全球卫星定位(GPS)接收器和/或激光测距仪的数据中得出。

[0010] 在一些实施例中,传感器内或与传感器耦接的处理器执行一个或多个校准算法,其使得传感器单元能够快速评估其校准的状态。如果该单元检测到失准时(例如,自动地),那么它可以重新调整其校准参数,以在被称为“自愈(self healing)”的过程中“修正”该校准。该单元可以提醒用户有关自愈的信息而不需要用户的干预。

[0011] 一个示例性的传感器单元可以无需目标就能够被(例如,自动地)校准。通常,摄像机和激光器系统使用特定的立于场景中的目标(例如,在三脚架上)来进行校准。例如,系统可以检测场景中的一个或多个“好的”机会目标,并且自动校准立体摄像机和激光测距仪这两者。

[0012] 本发明的实施例包括用于估计环境中一个或多个物体的位置(包括系统自身的位置)的系统和方法。在一个实施例中,系统包括第一成像器、第二成像器以及与第一和第二成像器可操作地耦接的处理器。在运行中,第一成像器从第一视角获取环境的至少两幅参考图像,第二成像器从第二视角获取环境的至少两幅对比图像。处理器由至少两幅参考图像中的第一参考图像和至少两幅对比图像中的第一对比图像合成环境的第一视差图。处理器还由至少两幅参考图像中的第二参考图像和至少两幅对比图像中的第二对比图像合成环境的第二视差图。处理器至少部分地基于第一视差图来确定物体的位置的第一位置估计,并且至少部分地基于第二视差图来确定物体的位置的第二位置估计。

[0013] 在一些情况下,处理器能够估计第一位置估计和第二位置估计之间的偏差。处理器还可以纠正第一位置估计和第二位置估计之间的偏差。例如,系统可以包括激光器用于使用激光照明物体,以及传感器用于检测由物体散射和/或反射的激光并且基于检测到的激光提供表示至所述物体的距离的距离信号。处理器可以通过将距离信号与第一位置估计、第二位置估计或第一和第二位置估计这两者进行比较,以确定第一位置估计与第二位置估计之间的偏差。

[0014] 本发明的其它实施例包括用于对环境中的一个或多个特征进行成像的系统和方法。一个示例性的系统包括第一成像器、第二成像器以及与第一和第二成像器可操作地耦接的处理器。在运行中,第一成像器从第一视角获取环境的至少两幅参考图像,第二成像器从第二视角获取环境的至少两幅对比图像。处理器由至少两幅参考图像中的第一参考图像和至少两幅对比图像中的第一对比图像合成环境的第一视差图。处理器还由至少两幅参考图像中的第二参考图像和至少两幅对比图像中的第二对比图像合成环境的第二视差图。处理器可以在第一视差图和第二视差图中识别特征,还可以估计在第一视差图和第二视差图特征出现位置之间的偏差。

[0015] 本发明的实施例还包括用于检测激光的扫描光束的失准(misalignment)的系统

和方法。一典型系统包括激光器 (laser)、与激光器光学连通和/或机械连接的扫描仪、传感器、以及与传感器可操作耦接的处理器。在运行中,激光器提供激光光束,扫描仪扫描激光光束以提供激光的扫描光束。传感器检测从环境中的至少一个物体散射和/或反射的激光,以便提供表示被检测到的激光的第一测量结果的第一信号和表示被检测到的激光的第二测量结果的第二信号。处理器基于第一信号生成环境的第一表征,并且基于第二信号生成环境的第二表征。处理器估计第一表征与第二表征之间的至少一个偏差,并基于第一表征与第二表征之间的至少一个偏差确定激光器、扫描仪以及传感器中的至少一个的失准。在一些情况下,处理器在确定所述激光器、所述扫描仪以及所述传感器中的至少一个的失准过程中,补偿 (account for) 激光器、扫描仪、和/或传感器中在第一测量结果与第二测量结果之间的移动。

[0016] 在一些实施例中,传感器包括立体成像传感器,并且处理器被配置成基于所述第一表征和/或所述第二表征来校准所述立体传感器。在这些实施例中,处理器能够至少部分地基于所述第一表征来估计所述激光器、所述扫描仪以及所述立体成像传感器中的至少一个的第一三维位置。处理器还能够确定所述激光器、所述扫描仪以及所述立体成像传感器中的至少一个的第二三维位置估计,并且基于所述第一三维位置估计和所述第二三维位置估计来估计至少一个偏差。

[0017] 本发明的另一个实施例中包括用于校准多传感立体视觉系统的方法,该多传感器立体视觉系统包括立体成像器和测距仪。在一个实施例中,该方法包括利用合适的处理器或其它计算装置通过由所述立体成像器提供的视差图来确定出现在所述视差图中的物体的第一三维位置估计。处理器通过由所述测距仪的测量结果来确定所述物体的第二三维位置估计。处理器确定第一三维位置估计与第二三维位置估计之间的偏差,例如,通过将所述第二三维位置估计的坐标投影到由所述视差图限定的空间上,并且确定所述第二三维位置估计的坐标与所述第一三维位置估计的坐标之间的距离。处理器基于在第一和第二三维位置估计中的偏差校准所述多传感立体视觉系统。

[0018] 在一些情况下,处理器通过利用立体成像器获取从第一视角观察的场景的第一二维图像,并且利用立体成像器获取从第二视角观察的场景的第二二维图像来确定第一三维位置估计。处理器由所述第一二维图像和所述第二二维图像合成所述视差图。

[0019] 测距仪的一些实施例包括激光测距仪。在这些实施例中,确定第二三维位置估计包括用激光照明所述物体,检测从所述物体散射和/或反射的激光,至少部分地基于检测到的激光确定所述第二三维位置。

[0020] 本发明的另一实施例包括用于基于图像数据产生环境的视差图的处理单元。一个示例性的处理单元包括至少一个接口,用于从至少两个成像器接收图像数据;至少一个纠正处理模块,与所述至少一个接口可操作地耦接,用于纠正所述图像数据;至少一个立体处理模块,与所述至少一个纠正处理模块可操作地耦接,用于基于所述图像数据产生视差图。在一些情况下,所述纠正处理模块和/或所述立体处理模块在现场可编程门阵列中实现。

[0021] 例如,接口可以包括第一接口和第二接口。在运行中,第一接口将所述图像数据的第一部分的第一串行表征转换成所述图像数据的第一部分的第一并行表征。第二接口将所述图像数据的第二部分的第二串行表征转换成所述图像数据的第二部分的第二并行表征。

[0022] 立体处理模块可以基于半全局块匹配 (semi-global block matching, SGBM) 算

法、半全局匹配 (semi-global matching, SGM) 算法以及立体块匹配 (stereo block matching) 算法中的至少一个来产生所述视差图。在一些情况下, 立体处理模块搜索视差空间的动态可再配置部。该立体处理模块能够被动态地重新配置以便在不同的分辨率下处理图像数据。处理单元也可以动态地改变帧频, 至少两台成像器按该帧频获取图像数据。

[0023] 在一些实施例中, 纠正模块包括至少一个存储器-到-存储器 (memory-to-memory) 模块。存储器-到-存储器模块可以包括前端、与所述前端可操作地耦接的延迟线、与所述延迟线可操作地耦接的后端。在运行中, 前端从存储器中取得所述图像数据。延迟线将至少一个图像处理指令存储等于或大于所述存储器的延迟的时间。后端至少部分地基于从所述存储器中取得的所述图像数据产生纠正的输出。

[0024] 一些处理单元还可以包括至少一个预处理模块, 其与所述至少一个接口可操作地耦接, 用于预处理所述图像数据的并行表征。例如, 预处理模块可以对所述数据的并行表征进行滤波、柱状图生成、线性化、晕影修正、去马赛克、白平衡、和/或色彩空间转换中的至少一个。

[0025] 本发明的又一实施例包括激光扫描系统和方法。一个示例性的激光扫描系统包括激光器, 与所述激光器机械地耦接的主轴 (spindle), 用于向主轴施加扭矩的齿轮, 以及被压缩于所述齿轮与所述主轴之间的滑动离合器摩擦垫。在运行中, 激光器产生激光光束。主轴使激光器绕第一轴旋转来扫描所述激光光束。齿轮向主轴施加扭矩。滑动离合器摩擦垫将由所述齿轮施加的所述扭矩的至少一部分传送到主轴, 最多为阈值扭矩, 并且在扭矩大于所述阈值扭矩时允许所述齿轮相对于所述主轴滑动。在一些情况下, 所述阈值扭矩作为温度和施加于所述主轴的力的函数保持恒定。

[0026] 激光扫描系统还包括壳体, 其容纳所述主轴、所述齿轮、以及所述滑动离合器摩擦垫的至少一部分。另外, 激光扫描系统还可以包括编码器, 与所述主轴机械地耦接, 用于测量所述主轴相对于所述壳体的位置。在一些情况下, 齿轮为蜗轮, 其与蜗杆相啮合, 蜗杆用于驱动所述蜗轮且与电动机耦接, 电动机旋转所述蜗杆来驱动所述蜗轮。激光扫描系统还包括顺应式电动机安装部, 与所述电动机机械地耦接, 用于允许电动机的轴向和径向的运动。激光扫描系统还包括滑环, 与所述主轴机械地相耦接并且能够与所述激光器和电源进行电气连通, 电源通过所述滑环与所述激光器进行电气连通, 用于为所述激光器提供电力。

[0027] 本发明的又一实施例包括立体视觉系统和方法。一个示例性的立体视觉系统包括整体框架, 其限定至少一个安装面, 而且可以由一单件材料组成, 安装于安装面上的第一成像器, 和安装于安装面上的第二成像器。立体视觉系统还可以包括处理器, 与所述第一成像器和所述第二成像器可操作地耦接, 以及柔性电缆, 用于将所述第二成像器耦接到所述处理器。第一和第二成像器可以被设置在同一平面上, 平行的平面上, 或者相交的平面上。可以用一个或多个螺栓和销将第一和第二成像器固定到安装面上。

[0028] 在运行中, 第一成像器从第一视角获取环境的第一图像, 第二成像器从不同于第一视角的第二视角获取所述环境的至少一个第二图像。处理器由第一图像和第二图像产生立体图像数据。

[0029] 本发明的又一实施例包括传感器系统和方法。在一个例子中, 传感器系统包括至少一个传感器, 限定空腔和至少一个外部表面的壳体, 被设置于所述空腔内的内壁且与所述至少一个外部表面热连通的内壁, 被设置于所述空腔内且与所述至少一个传感器可操作

地耦接的处理器,与所述内壁和所述处理器热连通的导热材料。传感器提供传感器数据,处理器处理该传感器数据。导热材料将由所述处理器产生的热量通过所述内壁传导至外部表面,从而耗散由处理器产生的热量。

[0030] 传感器也可以被设置于所述空腔内,而且可以包括第一成像器和第二成像器,两者都被例如,使用销和/或螺栓,安装于安装面上。第一成像器从第一视角获取环境的第一图像,第二成像器从与第一视角不同的第二视角获取环境的第二图像。

[0031] 在一可替代的实施例中,传感器系统包括传感器、壳体以及处理器。壳体限定空腔和且包括限定至少一个外部表面的至少一个壁。处理器被设置于所述空腔内紧贴于所述至少一个壁上且与所述传感器可操作地耦接。在运行中,处理器产生热量,该热量通过与所述外部表面热连通的一个壁从而被耗散。

[0032] 本发明的一实施例包括立体视觉系统和方法。在一实例中,立体视觉系统包括:壳体,被设置于所述壳体内部的第一传感器阵列,被设置于所述壳体内部的第二传感器阵列,以及被设置于所述壳体内部的光源。在运行时,第一传感器阵列通过所述壳体内部的第一开孔从第一视角获取所述环境的第一图像,第二传感器阵列通过所述壳体内部的第二开孔从与第一视角不同的第二视角获取所述环境的第二图像。光源通过所述壳体内部的第三开孔照明所述壳体外部的环境。在一些实施例中,立体视觉系统还包括第一透镜,被设置于第一开孔内且与所述第一传感器阵列光学连通,用于在所述第一传感器阵列上成像所述环境的第一部分,以及第二透镜,被设置于第二开孔内且与所述第二传感器阵列光学连通,用于在所述第二传感器阵列上成像所述环境的第二部分。

[0033] 应当注意的是前述概念以及将在下面更加具体讨论的另外的概念(这些概念互不冲突的情况下)的所有组合都将被认为是在此公开的本发明主题的一部分。还应当注意的是在此明确使用的也可能出现在通过引用方式合并进来的任何公开中的术语都应该具有与在此公开的特定概念最为相符的意思。

附图说明

[0034] 本领域技术人员可以理解这些附图主要是用于说明的目的,不是为了限制在此描述的发明主题的范围。这些附图不需要是成比例的,在一些情况下,本公开的发明主题的不同方面在图中可能被夸大地或者放大地显示以便于理解不同的特征。在附图中,相似的参考字符一般指的是相似的特征(例如,功能上近似和/或结构上近似的部件)

[0035] 图1A示出了根据本发明的实施例的多传感立体视觉系统,其包括装配于框架上的立体视觉传感器和装配于激光扫描设备上的激光测距仪;

[0036] 图1B是为图1A中示出的根据本发明的实施例的多传感立体视觉系统的框图;

[0037] 图2A为根据本发明的实施例的立体传感头的透视图,其示出了用于使立体传感头与多传感立体视觉系统的激光测距仪和/或其它部件相对准的定位销;

[0038] 图2B和2C为根据本发明的实施例的立体传感头的透视图,其不包括用于激光器组件的对准定位销或其它附件;

[0039] 图3A-3D为根据本发明的实施例的立体传感头的剖视图,该立体传感头具有整体框架、用于光源和立体摄像机的分开的开孔和透镜、内导热壁以及用于将热量从电子器件导出的导热板;

[0040] 图4A和4B为根据本发明的实施例的立体传感头内部的光学部件组和传感器组件的剖视图；

[0041] 图5A-5D为用于根据本发明的实施例的立体传感头的与电子组件相配合的光学组件的透视图；

[0042] 图6A和6B分别为根据本发明的实施例的用于立体传感头的电子组件的主视图和仰视图；

[0043] 图7A和7B分别为根据本发明的实施例的适用于多传感立体视觉系统的可选的立体传感头；

[0044] 图8A-8D为根据本发明的实施例的激光扫描仪和动力传动系统的图；

[0045] 图9A-9C示出了根据本发明的实施例的处理器(例如,现场可编程门阵列),其被配置成利用全局或半全局块匹配算法来处理立体数据；

[0046] 图10为用于说明立体传感器校准过程的流程图；

[0047] 图11为用于说明激光传感器(LIDAR)校准过程的流程图；

[0048] 图12为用于说明从激光到立体传感器的校准过程的流程图；

[0049] 图13A-13D示出了通过立体成像系统中的左和右摄像机获取的四幅图像:由左摄像机获取的第一图像(图13A);由右摄像机获取的第一图像(图13B);由左摄像机获取的第二图像(图13C);由右摄像机获取的第二图像(图13D);

[0050] 图14A示出了基于图13A和13B所示出了的图像的视差图；

[0051] 图14B示出了基于图13C和13D所示出了的图像的视差图；

[0052] 图15示出了由左和右图像(分别为左上和右上)在有和无输入图像信息(分别为左下和右下)时得到的视差图的合成；

[0053] 图16A和16B分别示出了重叠在图14A和14B的视差图之上的图像数据；

[0054] 图17A和17B分别示出了图14A和14B所示出的视差数据的3D投影；

[0055] 图18A和18B分别示出了在有和无烟雾使传感器模糊时由激光点云数据和立体图像数据合成而成的图像。

具体实施方式

[0056] 迄今为止,对于许多应用而言,3D立体系统和3D LIDAR系统太大、太重、且过于耗电。本发明的实施例从多个途径来解决这些问题,在一些实例中,其结果为足够小、足够轻且足够低耗电的3D传感器,该3D传感器可用于小型机器人、车辆、类人机器人以及其它在传感器尺寸、重量和耗电量上有限制的环境。与传统的传感器相比,例示的3D传感系统能够提供相似或者扩展的传感性能,而其包装尺寸差不多要小一个量级且仅消耗差不多十分之一的电量。在一些实施例中,降低的耗电量和减小的尺寸是通过使用嵌入式FPGA、集成式装配、紧凑且高效的散热设计、以及紧凑、低耗能和自保护的动力传动系统来实现的。

[0057] 该发明的传感器的实例将LIDAR和立体数据融合为单一的数据流,其特别适用于大区域绘图(large area mapping)。LIDAR数据通常是准确的,但在一些时候不够密集,从而在环境中没有激光器位置的连续姿态估计的情况下难以拼接起来。立体数据通常足够密集,而且具有足够的帧速率来提供连续的姿态估计,无论是通过视觉测程法还是3D特征匹配和跟踪。另外,立体数据可以被用来检验和纠正LIDAR数据,反之亦然,结果可以得到在几

何上更加精确、更加稳定、且鲁棒性更强的系统,其能够作为独立的设备存在。

[0058] 多传感立体视觉系统

[0059] 图1A和1B示出了例示的多传感立体视觉系统100,其包括通过紧凑的、质量轻的激光扫描机械装置300机械地耦接到LIDAR的立体传感头200。系统100还包括可见光和/或红外(IR)发光二极管(LED)400。如图1A所示,立体传感头200包括分别装配于视窗202a和202b(一并称为视窗202)之后的摄像机210a和210b(一并称为摄像机210)。立体传感头200还包括一对垂直安装的LED 400,每个LED 400安装在其自身各自的视窗内。

[0060] 图1B为如图1A所示的立体视觉系统100的框图。除了摄像机210之外,立体视觉系统100还包括LED驱动模块410和处理模块500,这些模块直接通过适当的总线彼此可操作地耦接,还通过连接器102或者其它适当的总线耦接到一个或多个外部部件。LED驱动模块410包括保险丝兼滤波器412和12伏DC-DC转换器414,它们共同向主板500提供电能。多个LED驱动器402抽取经保险丝保护且经滤波的电能来分别驱动LED 400。处理模块500包括处理器510,其在图1B示为现场可编程门阵列(FPGA)、存储器(未图示)、数据连接512、辅助输入和输出514、惯性测量单元(IMU)元件516以及功率监控器518。如本领域技术人员已知的那样,处理模块500还包括其它元件,比如专用集成电路(ASIC),其用于取代FPGA或者作为FPGA的补充。

[0061] 图1B还示出了各摄像机210还包括各自的成像器212a和212b(一并称为成像器212),比如CMOSIS CMV2000/4000传感器;各自的成像器印刷电路板(PCB)214a和214b(一并称为成像器PCB 214);以及各自的视窗216a和216b(一并称为视窗216)。如图1B所示,摄像机210分别通过触发器和信号线路与处理单元500中的处理器510可操作地耦接。

[0062] 立体摄像机组件

[0063] 将印刷电路板(PCB)与传感器和光学组件进行销连接和对准(统一的光学边框/子组件)

[0064] 制作立体系统的一项挑战是随着时间推移仍可以保证校正模型的精确性。透镜或成像器的任何移位都可能会导致光学畸变或偏移,那时校正模型将不再与该单元的属性相匹配。这将导致左右图像的特征匹配困难,并且使得到的视差图不具有准确性和完整性。

[0065] 传统上,立体摄像机具有分别装配于同一外壳上的摄像机。两个摄像机之间的对准通过螺栓、定位销或两者并用来保持。各摄像机内部的透镜与成像器之间的对准也通过螺栓、定位销或两者并用来保持。在每个这些位置上,存在由于外部冲击而导致元件移位并失去校准准确性的可能。

[0066] 所发明的立体摄像传感器单元包含多种设计手段来防止成像器和透镜的移位。首先,单个光学子框架被用来替代分立式的组件装配。这意味着两个成像器和两个透镜都被直接安装于单个的机械部件上。这将使得比传统的分立式装配更加准确地初始装配,且随着时间推移更加准确地对准。

[0067] 例如,由于成像器都用螺栓直接地固定于光学子框架的单一表面上,因此成像器将保证彼此处于同一平面内。传统的分立式装配可能使得一成像器在另一成像器之前或之后,或者以轻微的角度倾斜。尽管这些装配误差可以被考虑到系统的校准模型中,并且从结果数据中消除这些影响,但是可能最好还是具有准确的透镜和成像器对准。

[0068] 此外,随着时间推移,与分立式装配相比,光学子框架将保持更好的校准准确性。

这是由于减少了透镜与成像器之间以及左和右透镜/成像器对之间的螺栓或定位销的数量。由于连接数量的下降,系统将变得更为坚固,并且随着时间推移装配和对准更加稳定。

[0069] 图2A为立体传感头200的透视图,且示出了传感头的外部壳体204,壳体204可以用塑料、金属、或其它适当的材料制成。壳体204可以是模塑的或是由单件材料机械加工的或是由多件构成的。壳体204包括定位销206a和206b(一并称为定位销206),其插入到位于激光扫描机构300上的接受器(未图示)之中,和/或其它的用于将立体传感头200对准到激光扫描机构300上的特征(图1A)。壳体204还可以限定密封通道208或其它的开孔,其用于从传感头200到外部电源、处理器、存储器、天线、通信接口、或者其它的电子和/或机械组件的布线。

[0070] 图2B和2C示出了立体传感头250的视图,其不包括对准定位销或用于激光器组件的其它附件。像如图2A所示的立体传感头200那样,立体传感头250包括壳体254,其可以是模塑的或是由单件材料机械加工的或是由多件构成的。当装配好后,壳体254限定一空腔来容纳摄像机210、相连的电子器件(未图示)、摄像机210用的开孔、光源、电源/数据连接器102、以及LED连接器。

[0071] 图7A和7B示出了一可选的立体视觉系统700,其具有与如图2A所示的壳体204相比更宽大的壳体704。壳体704可以由静态O形环所密封,在其后面板上具有氮气吹扫阀和/或压力阀。壳体704包括托架706,其具有硬体的、键锁(key locking)插入接口(也可在图2C中从窄壳体204的左和右后边缘看到)和用于精确定位的定位销。该壳体704还包括一对视窗702a和702b(一并称为视窗702),其分别用于摄像机710a和710b(一并称为摄像机710)。这些摄像机710可以通过一个或多个柔性带状电线与处理器耦接,该柔性带状电缆连接到连接器720a和720b。如在其它的实施例中,视窗702可以由具有低光学畸变的抗冲击玻璃或塑料制成。然而在这种情况下,视窗702和摄像机710被分开得更开,以提供更宽的基线,这样反过来能够改进3D景深准确性和提高可用的范围。另外,壳体704容纳有四个LED阵列712,其位于视窗714之后,水平分布在摄像机710之间。这些LED阵列712可以提供可见光照明、IR照明、或可见光和IR组合照明用以改进成像保真度和精确聚焦调节。

[0072] 导热板用于从现场可编程门阵列传导热量

[0073] 系统最大的热产生源为处理器510,其可以包括主处理现场可编程门阵列(FPGA)或专用集成电路(ASIC)。如果不进行适当的冷却,处理器510可能会过热,并且如果系统在高环境温度下运行的话可能会导致实体损害。由于处理器510位于密封的壳体之内,因此从处理器510移除热量将具有挑战性。

[0074] 图3A-3D示出了传感头200的剖视图。这些视图示出了电子装配600(在图6A和6B中示出了更具体的细节),其包括处理单元500、成像器212、以及成像器PCB 214。如图3A和3C所示,整体框架240将成像器212保持相对于它们各自的光学系统(图4A所示的透镜230)的适当位置。整体框架240可以是机械加工的、塑模的、或者由单件材料(例如,单件的塑料或金属)制造而成,该材料具有具对较低的导热系数以确保成像器212彼此对准,从而避免温度波动影响立体成像精度。框架240可以具有分散的在同一平面内的安装面260或者单一连续的安装面,其用于用螺栓固定成像器212和它们的附接PCB 214。将成像器212和成像器PCB 214用螺栓和销固定在单一整体框架240上同一平面的安装结构260上,能够改进成像器212的安装精度和安装稳定性,由于随着时间推移系统的校准更加精确,从而可以得到更

高质量的3D数据。在某一实施例中,为了使成像器212和光学系统之间获得更高的对准精度,电子装配600被直接安装到整体框架240上。

[0075] 图3A-3D也示出了在处理器510(例如ASIC或FPGA)和集成到壳体204内的导热壁280之间的导热板282。该内壁280不直接暴露于外部环境,而是壳体204的一部分,其中壳体204具有许多外部表面。这样,热量从处理器510通过板282而加热内壁280。热量流经该壁280传导至壳体204的其它部分,从而通过其许多外表面将热量耗散至外部环境中。在一些情况下,外部壁可以包括用于提高热量耗散的一个或多个散热片724(图7B)。总之,该设计在热量源(例如,处理器510)与外部环境之间创造了一条低阻抗的热通路。其不需要任何主动冷却手段如风扇,并且能够保持系统的整体密封性。在其它的实施例中,壳体204可以被配置成使处理器510紧靠在外壁上,从而减小从处理器510到外部空气的热通路的长度。

[0076] 用于立体视觉的光学组件

[0077] 图4A、4B以及5A-5D示出了立体传感器200内的摄像机210中的一个光学组件220的多种视图。如图4A所示,光学子组件光学系统220包括一个或多个透镜230和/或其它光学元件,其用于将景像成像到成像器212上。光学组件220还包括定制视窗(custom window)202,通过使用O形环密封件222将定制视窗202相对于壳体204放置。泡沫226阻挡光线并且防止能够降低图像质量的反射,聚焦垫片228将透镜230保持在相对于壳体204和成像器212的适当位置。定位销262将各成像器212对准到整体框架240上,并用螺栓264将成像器212锁紧到整体框架240上。

[0078] 用于光源和传感器透镜的分开的视窗

[0079] 如图7A和7B所示,立体传感头700可具有分开的光学视窗,用于成像器光学系统和系统照明。向外的照明可能会部分地从视窗反射进容纳光源(例如,发光二极管)的空腔内,或者由视窗本身所吸收。这些在视窗内的照明损失将照亮灰尘、水汽、尘土、或任何其它碎屑——甚至是与光线的出射位置直线偏移的碎屑。因此,处于与成像光学系统相同视窗之后的光照明将照亮系统透镜的视场内的碎屑,这将导致与未被照明的碎屑相比更多的场景干扰。为了防止照明损失降低图像质量,该系统使用了分开的视窗置于透镜和照明之前。

[0080] 置于照明光源(LED 712)之前的视窗714可以被毛玻璃化,以使光线扩散到一定角度。毛玻璃化可以减轻阴影的锐度并且导致发射的光线更加柔和和不刺眼,还可以减少光线分布中的“热点”。通过提供更加均匀的照明和减小阴影,扩散光能够使立体算法更加容易地从左向右匹配各种特征。

[0081] 光照

[0082] 系统照明的视场非常接近地匹配透镜和成像器的视场。这意味着系统无需浪费能量去照亮用户或立体摄像机无法光学可见的场景。因此,系统的能量效率更高。

[0083] 系统可以包括提供可见光照明、红外照明或兼具可见光和红外照明的光源。成像器是IR感光的,IR照明的选择能够允许系统在没有可见光的夜间运行。

[0084] 可分离的成像器基板允许各种基线(baseline)

[0085] 图6A和6B示出了电子组件600的更加具体的细节。电子组件600包括成像传感器阵列212、成像传感器PCB 214、以及处理单元500。这些元件都机械地、热地以及电气地耦接到主逻辑PCB 290上,其还支持向有源电子元件提供电能的电源292以及各种数据和电源连接294。如图6A所示,PCB 290可以相当小,长仅大约4英寸,高大约2英寸。

[0086] 成像器印刷板 (PCB) 与主逻辑PCB 290和处理器PCB (处理模块) 500相分离,这将允许更加紧凑地系统封装,以及更加容易适应新的系统基线(几何尺寸)。与将成像PCB 214直接插接到主逻辑PCB 290上不同,如图6A和6B所示,一个或两个成像器PCB 214可以通过柔性带状电缆或者其它合适弯曲的、可扩张的或可伸缩的连接器与主逻辑PCB 290相连接。例如,图7B示出了用于通过柔性带状电缆将成像器(未标记)耦接至主逻辑PCB 290的连接器720a和720b。这些电线可以被制成不同的长度,从而允许系统基线从数英寸变换至数英尺(例如,6-10英尺)。处理器逻辑500基于处理器510与左和右摄像机210之间的电气长度的差异而略微变化。考虑到电气长度差异,处理器510可以在向稍近的摄像机(例如,摄像机210b)发送触发信号之前(例如,早数纳秒),向稍远的摄像机(例如,摄像机210a)发送触发信号,从而摄像机能够在同一时刻接收到各自的触发信号。另外,处理器(FPGA) 510上的时钟恢复逻辑单元可以进行类似地调整以补偿左和右摄像机210之间的时钟偏差。在具有足够宽的基线来支持以下这种配置的立体传感头内,成像器212还可以被直接安装在主逻辑PCB 290上而不使用柔性电缆和/或专用的成像器PCB。

[0087] 激光测距仪和激光扫描机构

[0088] 图8A-8D示出了紧凑且轻质的激光扫描机构300,其在低能耗(例如,大约2瓦至大约15瓦)、低转速(例如,0至60rpm)以及低主轴反冲(spindle backlash)(例如,大约0.1度至大约0.5度)的状态下运行。在运行过程中,激光扫描机构300绕第一轴3摆动或连续转动激光器310,以扫过或扫描从激光器310发射的平面激光束(例如,最高至大约180或270度),从而由普通的2D激光距离传感器(range sensor)创建3D距离(3D range)的部分球体。激光束可以是对于眼睛安全的波长(例如,在光谱的近红外部分的波长,比如950nm)且功率足够高以产生可靠地可检测的回波,而又不产生危害。光斑尺寸和光束发散角可以选择为在光学领域所公知的能够确保准确测距的范围。

[0089] 激光扫描机构300包括位于外部环境与机构空腔321之间的第一密封件380,和位于机构空腔321与电子装置空腔323之间的第二密封件337。其还可以提供连续的主轴旋转同时允许电气穿过(图8B中的电线通道360)。扫描机构300以及其齿轮组被保护而不受外部负载影响,特别是可能导致小齿轮齿损坏的震动或冲击。

[0090] 在一实施例中,扫描机构300包括单级蜗杆减速齿轮。得益于在单一啮合中的高机械减速(例如,50:1),可以获得低反冲。悬浮式蜗杆330提供优于标准蜗杆动力传动系统的改善的反冲,这是因为其允许在该组件被螺栓固定于恰当的位置之前对齿轮的位置进行调整,其中反冲是指机构的部件之间的活动度(degree of play)。该悬浮式蜗杆330包括具有电动机352、蜗杆轴331、密封轴承340的子组件332,以及容纳子组件332和其它部件的壳体370。子组件332被安装至传感器单元内,并且其蜗杆330与一大蜗轮324相啮合。反冲可以通过子组件332的左右、上下的微小移动来进行调整。一旦反冲被减小或最小化,子组件332将被一个或多个蜗轮安装螺栓334锁定。

[0091] 扫描机构300包括顺应式电动机安装部350,轴331上的两个轴承,以及电动机轴上的两个轴承,该电动机轴被压入至轴331内。在运行时,顺应式电动机安装部350将防止轴331的过紧约束。该顺应式电动机安装部350允许电动机和电动机轴在轴向和径向移动,但是抗拒转动且允许扭矩传送至蜗杆轴331。该顺应式电动机安装部350可以由钢铁、塑料或其它适当的材料制成。

[0092] 为了保持容纳蜗杆330和蜗轮324的机构空腔321与容纳电动机352的电子装置空腔323之间密封,扫描机构300包括:在主轴322上的密封轴承;在悬浮式蜗杆子组件332上的密封轴承;以及静态筒密封,该静态筒密封被设计于悬浮式蜗杆壳体336之内,用以密封主壳体370同时仍然允许悬浮式蜗杆装配332可以被轻微移动,以允许反冲调整。另外,滑环326被嵌入于系统的空的主轴332内,以便能够进行连续的机械转动且使电气穿过。

[0093] 在存在外部扭力的冲击或震动负荷的情况下,蜗轮324中的滑动离合器325能够保护蜗轮的齿和蜗杆的齿免于机械损害。滑动离合器325包括摩擦垫328,其如三明治那样被夹在主轴322与蜗轮330之间,一个或多个弹簧388,其将蜗轮324压向摩擦垫328,以及一系列的垫片(垫片组386)和轴承,其压缩弹簧388。摩擦垫328可以由玻璃纤维、G10Garolite热固性环氧树脂材料、刹车片材料、或任何其它具有高摩擦、低或不可压缩、高表面耐久性、以及强度(以防止磨损)的材料制成。小于蜗轮324、摩擦垫328和主轴322之间的旋转牵引的旋转负荷能够被传送通过该系统,如同所有部件都被刚性地用螺栓固定在一起那样。但是较大旋转负荷会导致蜗轮324相对于主轴322开始滑动,因此蜗杆330和蜗轮324的齿将不会受到高负荷甚至冲击负荷。在系统处于加电状态运动时和系统断电时,该滑动离合器运行。一旦高负荷的情形消除,齿轮组将恢复正常转动,如同没有发生任何事情一样——无需更换、重置或修理任何部件。

[0094] 图8C和8D示出了动力传动系统还可以包括编码器安装部390和轴绝对位置编码器392,其用于测量主轴的位置以便准确的将激光数据投影到3D空间。定制(custom)编码器安装部390包括凸缘,其被用螺栓固定和装配于主轴322。轴绝对位置编码392包括穿孔的或被标记的环,其如三明治那样被夹在用户编码器安装部390和主轴322之间。在运行中,光电二极管或其它传感器感应到轴绝对位置编码器392上的标记,从而来提供主轴的角位置的指示。

[0095] 处理器实现方式

[0096] 图9A-9C示出了处理器510的实现方式,其使用适合用于本发明传感器单元的FPGA或ASIC。该处理器实现方式包括一个或多个成像器接口520a和520b(一并称为接口520),其耦接至立体摄像机200的成像传感器210。预处理模块522a和522b(一并称为预处理模块522)通过低压差分信号(LVDS)线从成像传感器210接收串行数据(serialized data),并将此串行数据转换成标准的并行表示,其用于其它的处理通道(pipeline)。成像器接口520执行动态时钟/数据整。它们还负责锁定于输入串行数据的已知格式,并检测串行数据的错误。

[0097] 如图9B所示,预处理模块522还可以被配置成执行各种预处理任务中的任何一个,包括但不限于:

[0098] -降噪:去除固定模式噪声(模块902)和滤除随机噪声(模块914);

[0099] -生成柱状图用于削波、黑电平检测、自动曝光、自动增益等(模块904);

[0100] -线性化:从高动态范围(HDR)空间(如果HDR被激活)转换成线性强度空间(模块906);

[0101] -晕影修正(vignette correction):修正由透镜引起的图像的昏暗边缘/角落(例如,基于存储于查询表的数据)(模块908);

[0102] -去马赛克:将拜尔彩色图像转换成全彩色图像,例如,利用C'使用基于预置的可

变梯度数的插值”算法(VNG))“Interpolation using a Threshold-based variable number of gradients”algorithm(VNG):<http://scien.stanford.edu/pages/labsite/1999/psych221/projects/99/tingchen/algodep/vargr a.html> (其全文通过引用方式并入本申请) (模块910);

[0103] -色彩空间转换:将传感器的RGB色彩空间转换成标准色彩空间以用于流水线使用(例如,RGB或CIELAB) (模块912);

[0104] -白平衡:调整色彩来匹配场景照明(模块912);以及

[0105] -滤波/子采样:通过平滑处理降低图像分辨率然后进行子采样(例如,如果用户要求低于最高分辨率) (模块916)。

[0106] 如图9C所示,处理器510还可以纠正来自摄像机210的数据,例如,使用用于各摄像机的单独的纠正模块,或者由左右立体摄像机共享的单个存储器-到-存储器(memory-to-memory)模块524。该纠正存储器-到-存储器模块524可以具有其自身的到直接存储器(DMA)总线590的连接(预处理还可以直接连接到DMA总线)。为了节约处理器资源,单个纠正模块524由左右图像路径所共享。

[0107] 纠正模块524转换图像数据来消除任何由透镜引入的畸变。打包的指令流被用来对输入像素坐标进行高效编码,编码为夹杂有少量绝对坐标的相对坐标序列。指令编码器952通过DMA总线590从存储器514读取该指令流,并将其解码成全部是绝对像素坐标的序列。其它实施例可以直接由校准参数动态地产生,以便于通过移除指令流来节省存储带宽,并且允许调整校准而不需要重新生成全部的指令流(其为耗时的流程)。

[0108] 如图9C所示的纠正模块524的实现方式使用双线性插值来对源图像进行采样,依靠缓存来改进存储器访问效率。一个多段的缓存964可以允许所有的四个输入像素(针对双线性插值所需)同时被读取。该设计是完全流水化的,并且能够支持接近1像素/周期的吞吐数据量。缓存标记查找与缓存数据读取之间的延迟线允许在数据被实际需要之前解决缓存遗漏。

[0109] 在一些实施例中,延迟线可以是先进先出(FIFO)指令缓冲器960,其被设置于纠正模块524的前端954和后端958之间。前端954从指令解码器952接收像素坐标,为一给定的输出像素确定输入像素,然后检查纠正模块524的缓存标记956来确定那些输入像素是否已经在纠正模块的缓存964中。(缓存标记956跟踪当前在缓存961中的是什么,由此:1)前端954知道向DMA控制器962发送什么请求;2)DMA控制器962知道什么时候不再有未处理指令,该未处理指令参考特定的缓存表项,因此其可以安全的改写该表项;3)后端958知道DMA控制器962什么时候已经结束了向缓存964中调取新的表项。)如果那些输入像素不在纠正模块的缓存中,那么前端954将通过DMA总线590指令DMA控制器962来向主存储器514发出一个或多个读取请求以便调取缺失的像素。后端958使用该输入像素(它们中的四个用于双线性采样)来生成一个输出像素。由于主存储器可能比较慢(例如,其可能具有超过100周期的延迟),且不希望后端958失速(例如,因为所期望平均吞吐数据量可以接近1像素/周期以便保持通道平稳运行),因此期望对主存储器隐藏有关调取丢失像素的延迟。

[0110] 在一些实施方式中,纠正是一个非常有序的处理,没有分支或像素间的依赖关系,因此隐藏存储延迟可以通过延迟从前端到后端的指令来实现。例如,指令可以用延迟线(FIFO缓冲器960)来延迟一段时间,该段时间可以等于或者大于最坏情况下的存储延迟,由

此来确保在后端需要新数据之前已经完成存储器的读取。

[0111] 处理器510还利用立体算法模块592实施适当的立体处理算法来将来自摄像机的经过预处理、纠正过的数据转换成立体图像。例如,处理器510可以利用开源核心实施立体块匹配 (StereoBM) 算法 (详见,例如,<http://danstrother.com/2011/06/10fpga-stereo-vision-core-released/>,其全部内容通过引用方式并入本申请)。还可以实施半全局块匹配 (SGBM) 算法、半全局匹配 (SGM) 算法 (详见,例如,<http://www.dlr.de/rm/en/PortalData/3/Resources/papers/modeler/cvpr05hh.pdf>,其全部内容通过引用方式并入本申请),或者任何其它适当的立体算法。

[0112] 在一些情况下,立体处理模块592可以被动态地重新配置成允许其处理不同分辨率的图像输入 (如期望或必须的,处理由图9B所示的预处理流水线所生成的未缩放的或经缩放的图像)。较高分辨率的输入产生较多的3D点和更高的景深精确度,但是需要更多的处理。立体处理模块592还可以被动态地重新配置成搜索不同的视差范围 (空间)。较大的视差搜索范围可以导致较大的景深范围,但是要求更多的处理。立体处理模块592可以独立地补偿调整过的图像宽度、图像高度、以及视差搜索范围。能够动态地调整图像分辨率和视差搜索范围允许立体处理模块592执行分辨率、范围、以及帧速率之间的实时平衡。需要提醒的是立体处理模块592自身不需要负责缩放图像数据,图像缩放可以在图9B所示的预处理流水线中进行。

[0113] 动态重新配置搜索了的视差范围的能力允许处理器510调整3D景深被搜索了多少。(大一些的视差搜索范围导致能够可靠地感测更接近于摄像机的物体,代价是计算量的增加)。搜索的景深/视差量一般从无限远延伸回到传感器 (0视差代表无限远,增加的视差表示逐渐靠近的点)。随着视差搜索范围的增加,搜索的景深空间的近端变得更接近传感器。

[0114] 另外,处理器510可以包括输出格式化模块572,在通过以太网连接 (Ethernet MAC560) 传送之前,输出格式化模块572将标准通道格式转换成用户所要求的格式 (例如,色彩空间、分辨率、字节格式)。处理器510还可以包括网络协议卸载模块570,其从中央处理单元 (CPU) 542卸载网络包的产生。处理器510可以包括特征检测模块 (附加的算法模块594),其利用Harris Corners算法或其它任何适当的算法在图像中检测“特征” (例如,相当独特且易于在多个帧中追踪的点)。并且它可以包括与特征检测模块相耦接的特征追踪模块,其接收被检测到的特征并试图在不同的帧之间对它们进行匹配。通过知道特征是如何在各帧之间移动的,能够估计出摄像机的动作。

[0115] 正如那些本领域技术人员所知道的那样,固件可以设置并监测以FPGA逻辑中实现的图像处理通道。示例性的硬件可以在FPGA内的简单的软核CPU (Xilinx Microblaze) 542上运行。标准Xilinx提供的外围设备可以被用来建立系统的其它部分,包括:DRAM控制器564、AXI DMA总线、以太网MACs 560、以及低速输入/输出 (I/O) 驱动540,其耦接到辅助的I/O源 (例如,I2C、RS232、等)。

[0116] 传感器校准

[0117] 校准误差的检测

[0118] 可靠性的一个方面是能够检测系统误差并恰当地应对。现场传感器的系统误差源——尤其是在包括摄像机的传感器中——是校准漂移。冲击、震动以及热效应都可以影

响内部部件的相对位置,从而导致(极有可能是不希望的)传感器的几何结构和成像参数的改变。为了补偿这些校准误差,系统可以如下述那样恢复一个或多个下列的一组参数:描述立体摄像机的投影几何结构和透镜畸变的参数;描述激光扫描仪相对于主轴的位置和方向的参数;描述主轴相对于立体摄像机的位置和方向的参数。

[0119] 图像一致性评估:立体摄像机的投影几何结构和透镜畸变

[0120] 在本发明的传感器单元中的摄像机可以被校准来建立所观察的物体的3D位置和被投影在左右图像中的2D位置之间的已知关系。当物体的投影位置与所期望的不一致时,其指示校准出现了问题。例如,当摄像机被正确地校准时,场景中的物体将出现在左右图像中的相同扫描线上。通过观察图像在左右图像中出现在不同的扫描线上,系统能够检测出校准漂移。类似地,当摄像机被正确地校准时,远距离的物体将出现在各个图像的相同的左-右位置上。随着物体向摄像机移近,它们将出现在两幅图像中的不断增加的不同左-右位置上。在左-右位置上的不同被称为立体视差。在校准准确性的一次检查中,用户可以被指示去用摄像机对准远距离的地方,那么远离0的视差将指示校准误差。如下文所述,由立体图像对测量得到的物体位置(以及物体位置上的不同)还可以与激光测距仪测量的物体位置相关联。

[0121] 图10示出了校准立体摄像机的过程1000。在模块1002中,一个或多个静止的基准点被放置或识别在特定的环境里。一旦基准点就位,系统将被移动通过一系列的位置和方向,在模块1004中称为“姿态”,例如,使用一工业机械人的末端臂(end effector)。在各姿态中,得到的摄像机图像将被检查以便确定静止基准点的图像位置(模块1010)。各姿态和观察到的图像位置的组合对应于投影方程1008。

[0122] 在立体校准过程1000中收集到的数据可以被用来估计未知的参数,包括在世界坐标系(world coordinates)中的基准点位置,摄像机相对于机器人的末端臂的位置和方向,摄像机投影几何结构,以及透镜畸变。在立体校准过程1000中已知的参数为基准点在图像中被观察得到的位置,以及机器人末端臂在世界坐标系中的位置和方向。未知的参数可以被恢复,通过集合多个这样的投影方程并求解最接近于匹配观察的未知参数——例如,利用非线性最小二乘法或类似的优化。

[0123] 激光器稳定性评价:激光扫描仪相对于主轴的位置和方向

[0124] 如上所述并如图1A和8A-8D所示,本发明的一个示例性传感单元可以包括激光测距仪,其具有一激光器能够绕激光器主轴连续旋转。这意味着激光测距仪对场景的大多数部分测量两遍:一次是在激光束扫描过去时由激光束的左侧进行,而接着180度之后激光束的右侧通过时进行。如果激光器校准是正确的,这两组测量将会对齐。不对齐则意味着校准较差且可以被用于对传感器单元进行重新校准(修复)。

[0125] 图11示出了LIDAR校准过程1100,其采用非线性优化来恢复激光扫描仪相对于主轴的位置和方向。在这种情况下,系统在一固定场景中被保持静止,然后当主轴旋转时收集激光器数据。在主轴完整旋转一周期间,场景的大多数部分将被激光器观察两遍。为了明白这一点,考虑激光扫描场景中一特定物体的左侧。该扫描产生第一组激光距离和方位值1102。接着考虑将主轴向右旋转大约180度,由此激光器处理同一物体来产生第二组激光距离和方位值1112。每次激光器的观测都对应于一能够基于主轴角度(1104和1114)计算得到的3D点(1106和1116),以及激光扫描仪相对于主轴的位置和方向的估计。为了评估第一个

180扫描(1102)和第二个180扫描(1112)的一致性,处理器定义了将本地平面拟合到第一观测的“校准误差”函数(步骤1108),然后计算第二次观测与适当的平面模型(1110)之间的距离(1118)来产生一致性测量结果(112)。该误差函数的值取决于校准参数,其可以通过使用非线性最小二乘法优化、模拟退火算法或类似方法来进行恢复,从而找到与观测的激光距离最为一致的值。

[0126] 不同传感器之间的稳定性:主轴相对于立体摄像机的位置和方向

[0127] 激光器和立体摄像机组件都能够生成场景的3D模型。如果通过良好的校准,之前的检查是前后一致的,那么这些模型能够被用来彼此对比以便核实传感器之间的几何关系是正确的。不幸的是,立体图像的测量误差投影到3D空间内,是以难以准确地进行这种对比的方式所进行的。这可以通过以下方式来解决,即,将激光模型(laser model)投影到图像中如同激光模型被摄像机观测那样,然后在图像空间对比结果。这种评价校准的方案可以使用自然场景或专门建立的校准目标来实现。

[0128] 图12示出了相对于激光器主轴较准或记录(registering)立体传感器的过程。如果激光测距仪(LIDAR)和立体传感器已经被校准,例如,利用如图10和11所示的过程,那么激光器数据可以转换成3D激光点云1204,并且摄像机图像可以被用来在大量图像中的像素上计算立体视差图1202。处理器修整(1206)激光点云1204来匹配立体传感器的视场(FOV)。处理器利用LIDAR-到-立体转换参数1210将所得到的修整的点云1208转换到立体传感器坐标系统中,以生成模拟的LIDAR视差图1212。接下来,处理器将模拟的LIDAR视差图1212与立体视差图1202进行比较来生成相似度测量结果1216,其被用于非线性地优化(1218)LIDAR-到-立体转换参数1210。

[0129] 本领域技术人员可以理解,立体视差对应于摄像机图像中物体的3D位置。这些3D位置反映在来自激光器的3D点云1204中。通过将3D激光器的观测转换到立体摄像机的坐标系统中,能够建立预测的视差图像1212并且将其与来自立体摄像机的实际视差图像1202进行对比。该转换基于主轴相对于立体摄像机的位置和方向,并且处理器再次利用非线性优化以找到校准参数1208,其增加了预测的视差图像和观测的视差图像之间的相似度。

[0130] 激光测距仪校准

[0131] 本发明的传感器单元可以利用以下技术中的一个或两者并用来校准激光测距仪:(1)已知几何结构的校准目标被由激光测量,然后这些已知目标的观测结果被用于反推激光器校准参数;以及(2)未知几何结构或未知位置的校准目标被由激光观测,然后调整校准参数来提高激光稳定性(见上)。

[0132] 本发明的传感器单元可以支持几种类型的摄像机校准,包括传统方式,其利用已知物体或校准目标的记录测量结果,并检索与观测最为一致的校准参数组。例如,立体摄像机可以在一系列未知位置和/或方向上检测校准目标的位置。所得到的图像被用于确定校准参数和未知位置。这种方式可以行得通是因为校准目标的已知形状提供了信息,即使在其位置是未知的情况下。这种方式可以被扩展,通过利用激光测距仪测量校准目标的位置和几何结构并利用激光距离数据来验证由立体图像数据确定的位置和/或校准参数的准确性的方式。

[0133] 本发明的传感器单元的精准内部定时能够使另一摄像机校准方案可行。当摄像机没有安装红外滤光片时,来自场景中物体的激光束的反射可能会在图像中呈现为光斑。这

个光斑可以利用图像处理技术检测出来。它的位置提供激光测量的3D点和在左右图像中的一对2D位置之间的对应关系。激光的旋转提供这些对应关系的集合,其正是用于计算摄像机校准的输入数据。

[0134] 前述方案的一般化为使用3D激光测量结果和2D图像位置的对应关系,但并不要求激光光斑在图像中可见。这将允许该技术即使在摄像机安装有红外滤光片的时候,或者在场景被照射得过亮以至看不到激光点时也能够工作。在这种情况下,当激光器捕捉大量3D点的时候摄像机和场景是静止不动的。如果激光反射对摄像机是可见的,那么通过检测在左右图像中的激光光斑,每个3D点可以被匹配到2D图像位置中。可替代的,通过利用假设的校准参数将3D点投影到摄像机图像中并且假设投影的2D位置是正确的,也可以来确定匹配。如果假设的校准参数不正确,那么投影也将不正确,3D-到-2D对应关系也就不正确,并且——假定场景足够丰富——很多得到的配对将违反图像一致性量度。校准参数可以被调整来减小这样的违反。

[0135] 视差图合成以及对比

[0136] 图13A-13D示出了由立体成像系统中的左右摄像机所获取的四幅图像:由左摄像机获取的第一图像(图13A);由右摄像机获取的第一图像(图13B);由左摄像机获取的第二图像(图13C);由右摄像机获取的第二图像(图13D)。由于摄像机从不同位置/角度拍摄场景(环境),因此它们从不同的视角获取图像。如本领域所周知的,处理器可以使用这些图像配对来生成立体图像和视差图。如果立体成像系统在拍摄中运动或挪动了,那么立体图可以从多个视角显示场景的立体视野。

[0137] 图14A示出了基于图13A和13B所示的左右图像的第一视差图。图14B示出了基于图13C和13D所示的左右图像的第二视差图。如本领域技术人员所周知的,视差指立体对的左右图像中的两个对应点之间的距离。该距离可以由两对坐标之间的矢量来表示,一对坐标用于左图像,另一对坐标用于右图像。该矢量的幅度有时被称为“视差值”。计算立体图像中每个像素的视差值可得到视差图,例如,如图16所示。

[0138] 图16还示出了视差图可以被重叠到图像数据上以生成包括景深数据的合成图像。例如,图17A和17B分别示出了图13的图像数据重叠到图14A和图14B的视差图像上。景深数据由颜色呈现,用图像的灰色部分对应于无返回(没有找到匹配),红色/黄色代表场景的近点,绿色/蓝色代表场景的远点。

[0139] 图17A和17B分别为图14A和14B所示的视差图的3D投影。利用立体传感器的校准数据分别将图14A和14B的每个像素投影到3D空间中,然后用源自图13A和13B的数据填充颜色。在此,源图像为单色的(黑和白),但是源图像也可以是彩色的,这产生彩色3D场景。图17A和17B所示的3D场景包括原始的3D数据(点云),数据没有被三角形化或网格化。但是处理器可以由原始3D点云确定许多关于场景和传感器的信息,包括物体在环境中的位置和方向的估计,包括立体传感器自己的位置和方向。

[0140] 例如,如果图17A和17B重叠到彼此之上并通过匹配3D特征(如管道、地面、以及远处的建筑)来对准,那么两个场景之间的不同之处可以被检测并分析。一点不同为在拍摄图13所示的源图像时的立体摄像机的视角变化。这种向前的视角移位可以通过计算图17A和17B所示的管道在长度上的不同来测量。另外,传感器的轻微翻滚角(roll)变化可以通过将地面数据拟合到平面并测量地平面与各源图像的虚拟地平线之间的角度差来检测。传感器

的偏航角 (yaw) 同样地可以通过确定建筑与各源图像的虚拟前向轴之间的角度差来测量。

[0141] 一旦视差图和/或3D点云对准时,处理器可以检测视差图和3D点云之间的其它不同。例如,通过识别场景与场景3D匹配不那么准确或具有更多误差的区域,处理器可以检测目标或物体在场景中的移动。处理器可以利用该移动检测来感测3D失准 (misalignment), 该3D失准是由于人走动或车辆行驶引起。处理器可以从场景的其它部分 (例如,场景的静止部分) 将运动的3D特征隔离并提取出来。在一些情况下,处理器还可以计算运动物体的3D位置和3D轨迹 (包括其自身的动作)。

[0142] 图18A和18B分别示出了具有和不具有烟雾妨碍传感器时由激光点云和立体图像数据合成的图像。没有烟雾的话,激光点云是场景的准确表征。当激光束传播至目标和/或从模板传播回来时,烟雾或其它障碍,如灰尘,可以吸收或散射激光束,从而干扰激光测距仪数据。如果烟雾传播在可见光 (或者可能是红外) 波长的光,那么立体传感器仍然能够生成场景的准确表征。

[0143] 总结

[0144] 虽然在此对各种发明的实施例进行了描述和说明,但是那些本领域的普通技术人员将可以预见各种其它的手段和/或结构来实现这样的功能和/或获得这样的结果和/或一个或多个在此描述的优点,并且每个这样的变化和/或修改都将被认为是在发明的实施例的范围之内。更加一般地讲,本领域的技术人员能够领会在此描述的所有参数、尺度、材料和配置都意味着是示例性的,而实际的参数、尺度、材料和/或配置都将基于具体应用或可以利用该发明的教导的应用。本领域的技术人员会认识到,或者能够肯定仅进行正常的实验就能够得出许多该具体发明实施例的等同方案。因此,需要明白的是前述的实施例仅是做为示例而已,在所附权利要求的范围内或与其等同范围内,发明的实施例可以通过不同于在此具体描述或要求的方案来实现。本公开的发明实施例关注于在此描述的各独立的特征、系统、物品、材料、工具、和/或方法。此外,任何两个或多个这样的特征、系统、物品、材料、工具、和/或方法的结合,如果这些特征、系统、物品、材料、工具、和/或方法是相互不相同的,也将被包括在本公开的发明范围之内。

[0145] 以上所述的实施例可以通过许多种方式实现。例如,实施例可以通过使用硬件、软件或它们的结合来实现。当在软件中实现时,软件代码可以在任何适当的处理器或处理器集上执行,无论是在单独的计算机上提供和分布在多个计算机上。

[0146] 再者,应该理解计算机可以是任何形式的,比如安装在机架上的计算机、台式计算机、笔记本计算机、或平板计算机。另外,计算机可以被嵌入于通常不被认为是计算机但具有适当处理能力的装置上,包括个人数字处理 (PDA)、智能手机、或任何其它适当的可携带或固定的电子装置。

[0147] 还有,计算机可以具有一个或多个输入和输出装置。这些装置可以作为用户接口与其它装置一起使用。可以用来提供用户接口的输出装置的实例包括打印机或显示器,用于输出的视觉表示,以及用于输出的听觉表示的扬声器或其它声音产生装置。可以用于用户接口的输入装置的实例包括键盘和指示装置,比如鼠标、触摸板以及数字化平板。作为另一实例,计算机可以通过语音识别或其它可闻形式接收输入信息。

[0148] 这些计算机可以通过一个或多个任何形式的网络相耦接,包括局域网或广域网,比如公司网络,智能网络或因特网。这些网络可以基于任何适当的技术并且可以根据任何

适当的协议运行,可以包括无线网络、有线网络、或光纤网络。

[0149] 在此概述的不同的方法或步骤可以编码成软件,在一个或多个使用任何一种操作系统或平台的处理器上执行。另外,这些软件可以使用任何适当的编程语言和/或编程或脚本工具来编写,还可以被编译成可执行的机器语言代码或在框架或虚拟机器上执行的中间码。

[0150] 在这个方面,各种发明的概念可以实例化为计算机可读存储介质(或多个计算机可读存储介质)(例如,计算机存储器、一个或多个软盘、高密度磁盘、光盘、磁带、闪存、由现场可编程门阵列或其它半导体装置组成的电路配置、或者其它非暂时性介质或有形的计算机存储介质),其编码有一个或多个程序,当在一个或多个计算机或其它处理器上执行时,运行可以实现以上讨论的本发明的各种实施例的方法。计算机可读介质或媒体可以被传送,比如存储在其上的程序可以被加载到一个或多个不同的计算机或其它处理器上来实施以上讨论的本发明的各方面。

[0151] 术语“程序”或“软件”在此被用作通用术语,涉及任何种类的计算机代码或计算机可执行指令组,其可以被用于编程计算机或其它处理器来实现以上讨论的实施例的各个方面。另外,应该注意的是根据一方面,在执行一个或多个计算机程序来实现本发明的方法时不需要仅限于使用一台计算机或处理器,可以以模块化方式分布到多个不同的计算机或处理上来实现本发明的各方面。

[0152] 计算机可执行指令可以是许多形式,比如程序模块,由一个或多个计算机或其它装置来执行。一般来说,程序模块包括例程、程序、对象、组件、数据结构等,用于完成特定任务或实现特定抽象数据类型。代表性地,程序模块的功能可以以所描述的各种方式结合或分散。

[0153] 还有,数据结构可以以任何适当的形式被存储在计算机可读介质内。为了说明方便,数据结构可以被示出了为具有与数据结构中的位置有关的域的形式。这种关系同样可以通过为域分配存储空间的方式来完成,存储空间具有在计算机可读介质中的位置,其传达域之间的关系。然而,任何适当的机制都可以被用来建立数据结构的域中的信息之间的关系,包括通过使用指针、标记或其它可以在数据元素之间建立关系的机制。

[0154] 还有,不同的发明概念可以作为一个或多个方法来实现,其中的一个例子已经被提供了。作为该方法的一部份而被执行的动作可以以任何适当的方式被排序。因此,实施例可以被构建成其中的动作以不同于以上说明的顺序被执行,可以包括同步地执行一些动作,即使在说明实施例中示出为顺序动作。

[0155] 在此定义或使用的所有的定义应该被理解成支配词典定义、在参考合并的资料中的定义、和/或所限定的术语的普通含义。

[0156] 不定冠词“一”和“一个”,如在说明书和权利要求书中所使用的,除非是被清楚的指出相反的意思,否则应该被理解为“至少一个”。

[0157] 短语“和/或”,如在说明书和权利要求书中所使用的,应该被理解为被连接的元素的“两者之一或两者全部”,例如,在一些实例中元素是接连出现的而在另一些实例中元素是分隔出现的。用“和/或”列出的多个元素应当用同样的样式来解释,例如,连接的元素中的“一个或多个”。除了由“和/或”从句特定区别的元素之外其它元素可以有选择性的出现,无论是与那些特定区别的元素相关还是不相关。因此,作为非限定性的例子,“A和/或B”的

参考,当被用于连接开放式的语句比如“包括”时,在一个实施例中,可以是指仅有A(选择性地包括除了B之外的元素);在另一实施例中,是指仅有B(选择性地包括除了A之外的元素);在另一个实施例中,是指有A和B两者(选择性地包括其它元素);等等。

[0158] 如在此用于说明书和权利要求书中那样,“或者”应该被理解为具有与以上定义的“和/或”同样的意思。例如,当分隔列表中的项目时,“或者”或“和/或”应该被解释成包括的,例如,包括至少一个,但也可以包括多于一个的多个或列表的元素,和,选择性的,另外的未列出的项目。除非术语清楚的指示了相反的意思,比如“仅一个”或“恰好一个”,或当用于权利要求中时,“由……构成”是指包括多个或列表的元素中仅一个元素。总的来说,在此使用的术语“或者”,当跟在排他性的术语比如“两者之中任一的”、“一个”、“仅一个”、或者“恰好一个”之后时,应该仅被解释为指示排他的二者选一(例如,“一个或者另一个但不是两者”)。当用于权利要求书中时,“实质上由……构成”应该具有其用于专利法领域时的通常的含义。

[0159] 如在此用于说明书和权利要求书中那样,短语“至少一个”关于列表的一个或多个元素,应该被理解为至少一个选择自任一或多个列表中的元素,但不必须包括至少一个的在列表元素中特别列出的每一个元素,并且不排除列表中的元素的任一的组合。该定义还允许,除了在列表的元素中涉及短语“至少一个的”特定区分的元素之外,其它元素可以选择性地出现,无论是与那些特定区分的元素相关还是不相关。因此,作为非限定性的例子,“A和B中的至少一个”(或者,等同的,“A或B中的至少一个”,或者,等同的,“A和/或B中的至少一个”),在一个实施例中,可以指至少一个,选择性地包括多于一个的A而没有B(选择性地包括除了B的元素);在另一个实施例中,指至少一个,选择性地包括多于一个的B而没有A(选择性地包括除了A的元素);在另一个实施例中,指至少一个,选择性地包括多于一个的A,且至少一个,选择性地包括多于一个的B(选择性地包括其它元素);等等。

[0160] 在权利要求中,以及在以上的说明书中,所有的过渡短语比如“包括”、“带有”、“具有”、“涉及”、“组成为”,以及类似的词语应该被理解为开放式的,例如,意味着包括但不限定。如在美国专利局专利审查手册,2111.03所陈述的那样,仅过渡短语“由……构成”和“实质上由……构成”应该分别是封闭式或半封闭式的过渡短语。

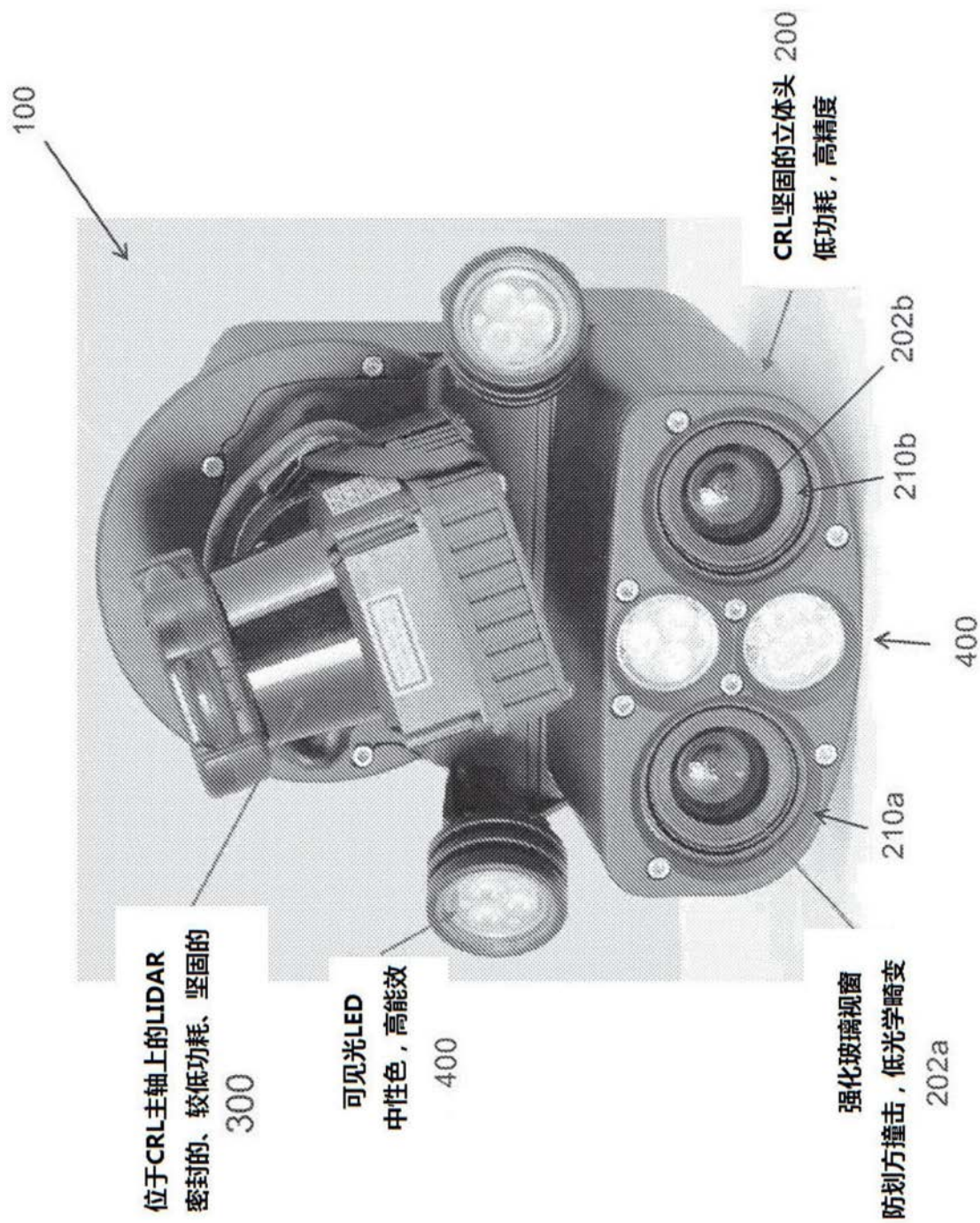


图1A

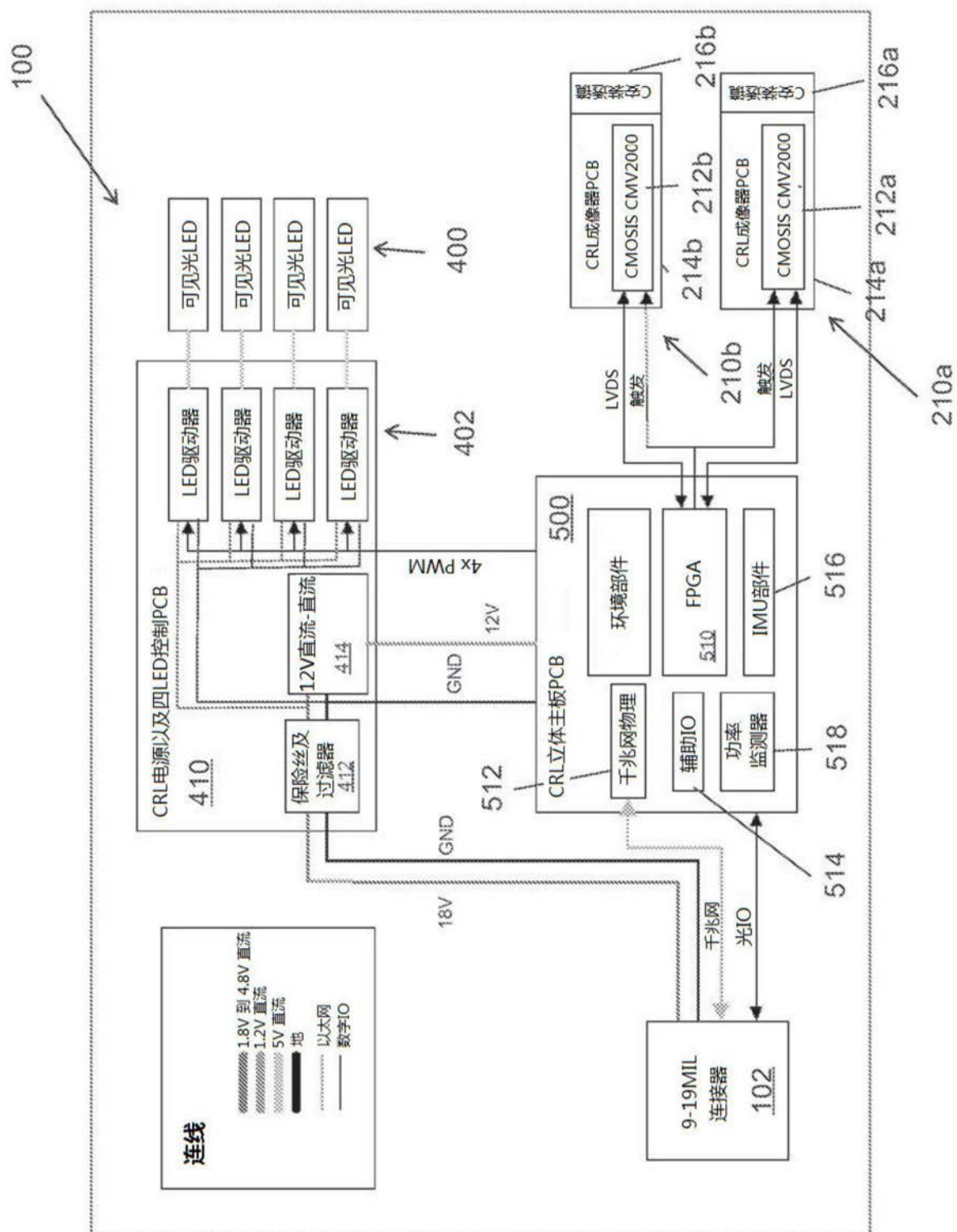


图1B



图2A

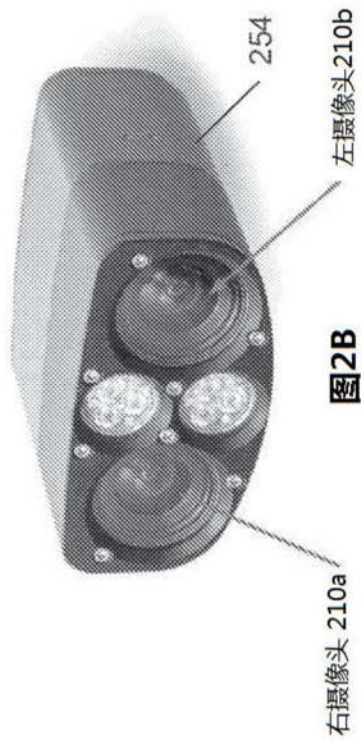


图2B

没有激光器组件的
窄的立体头实施例

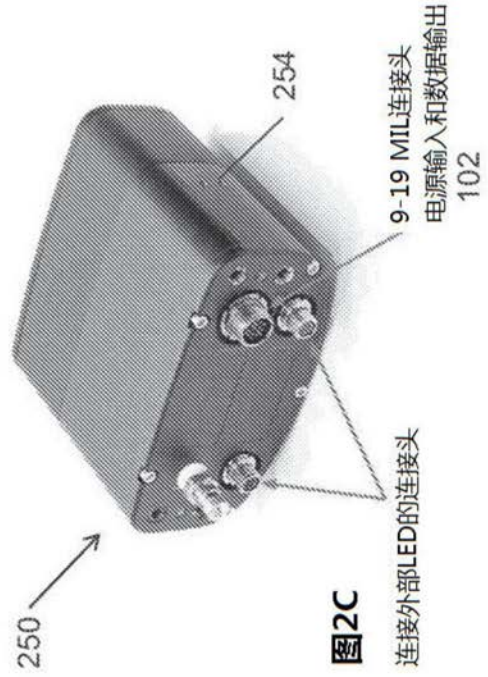
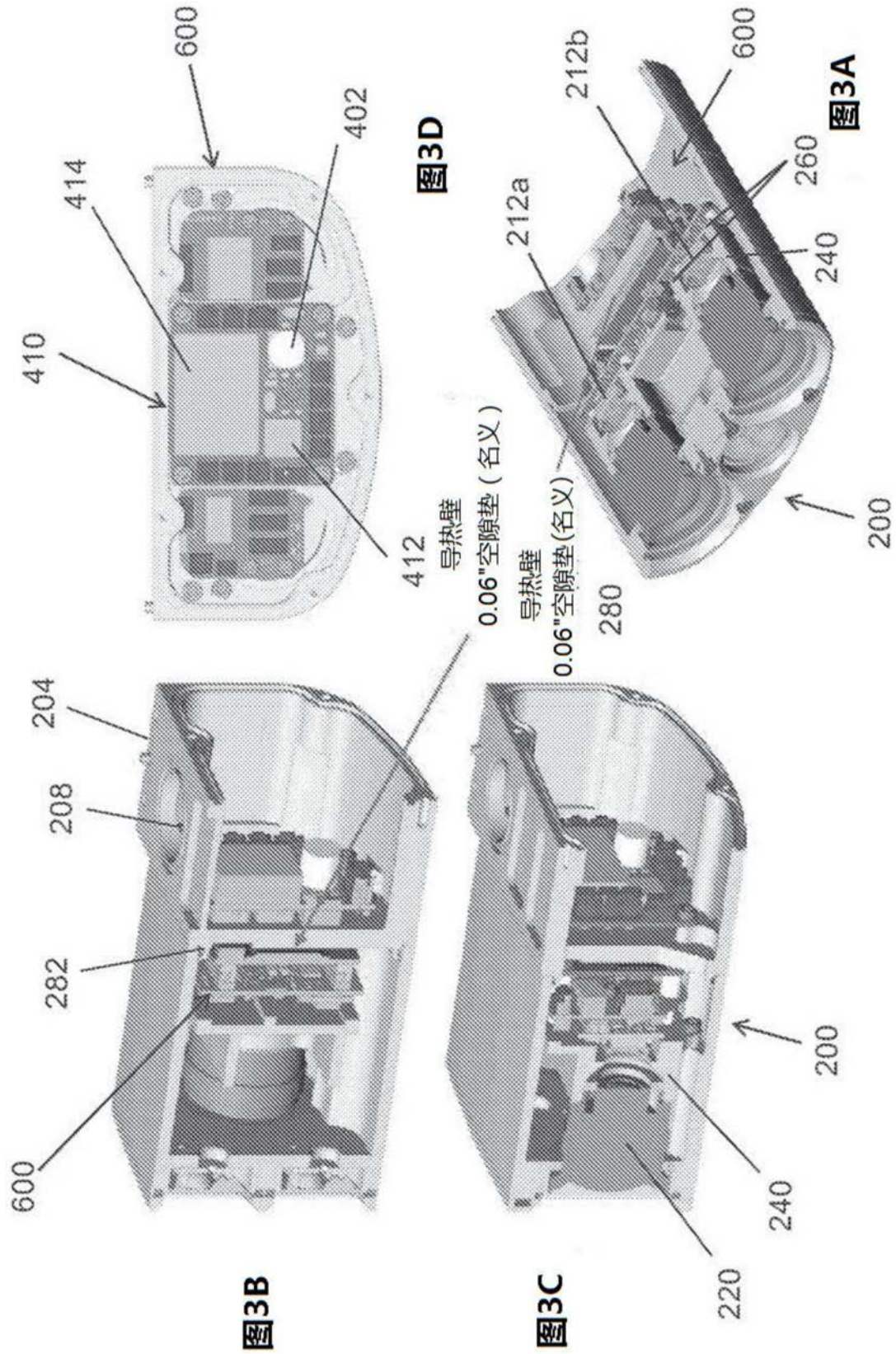


图2C



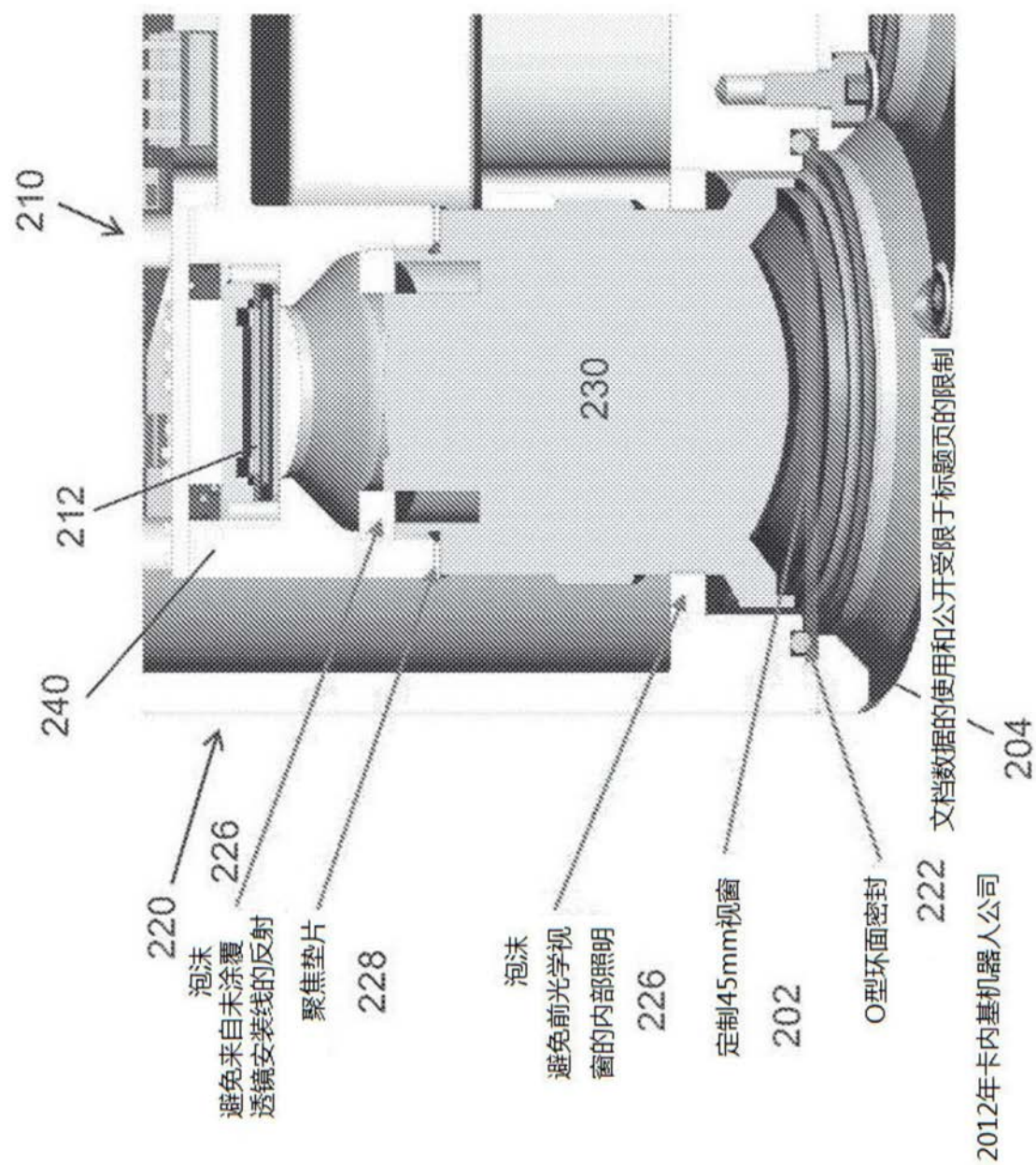


图4A

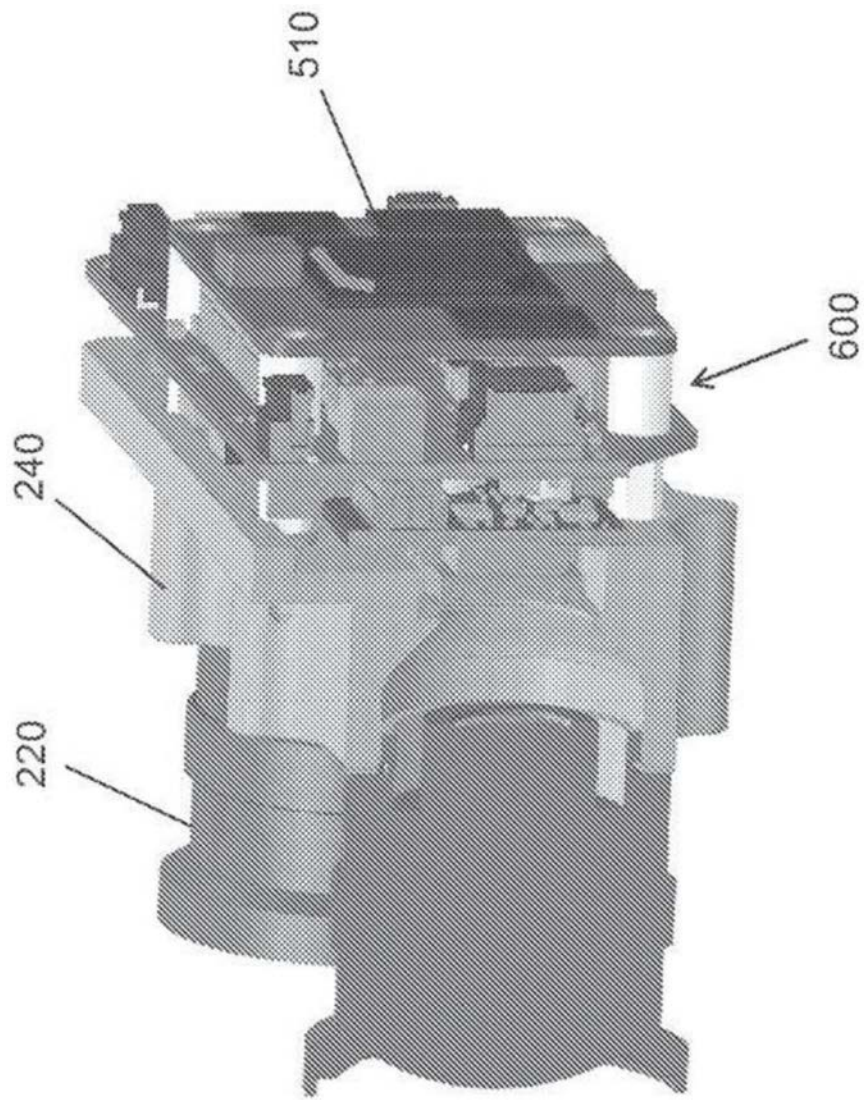
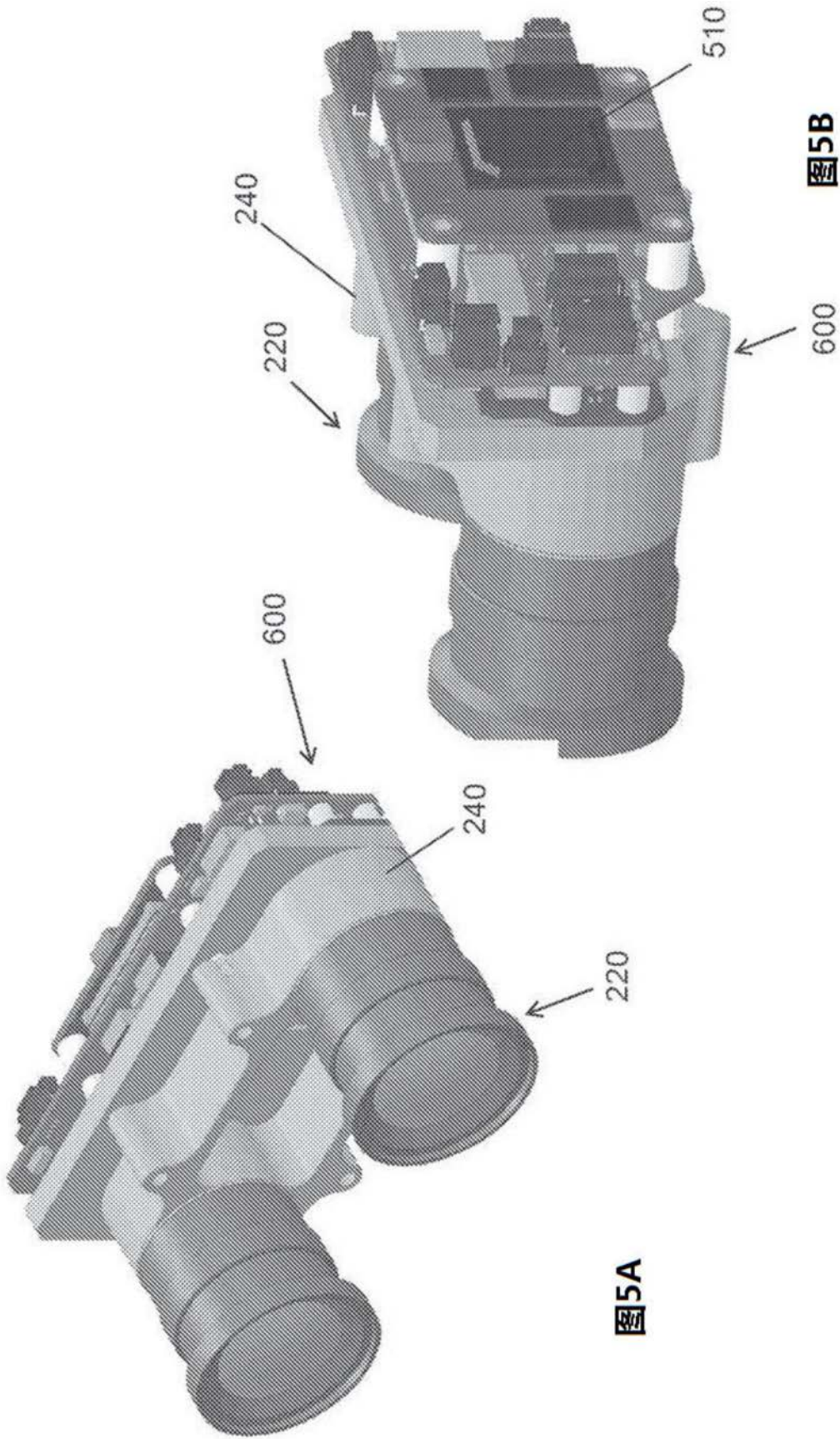
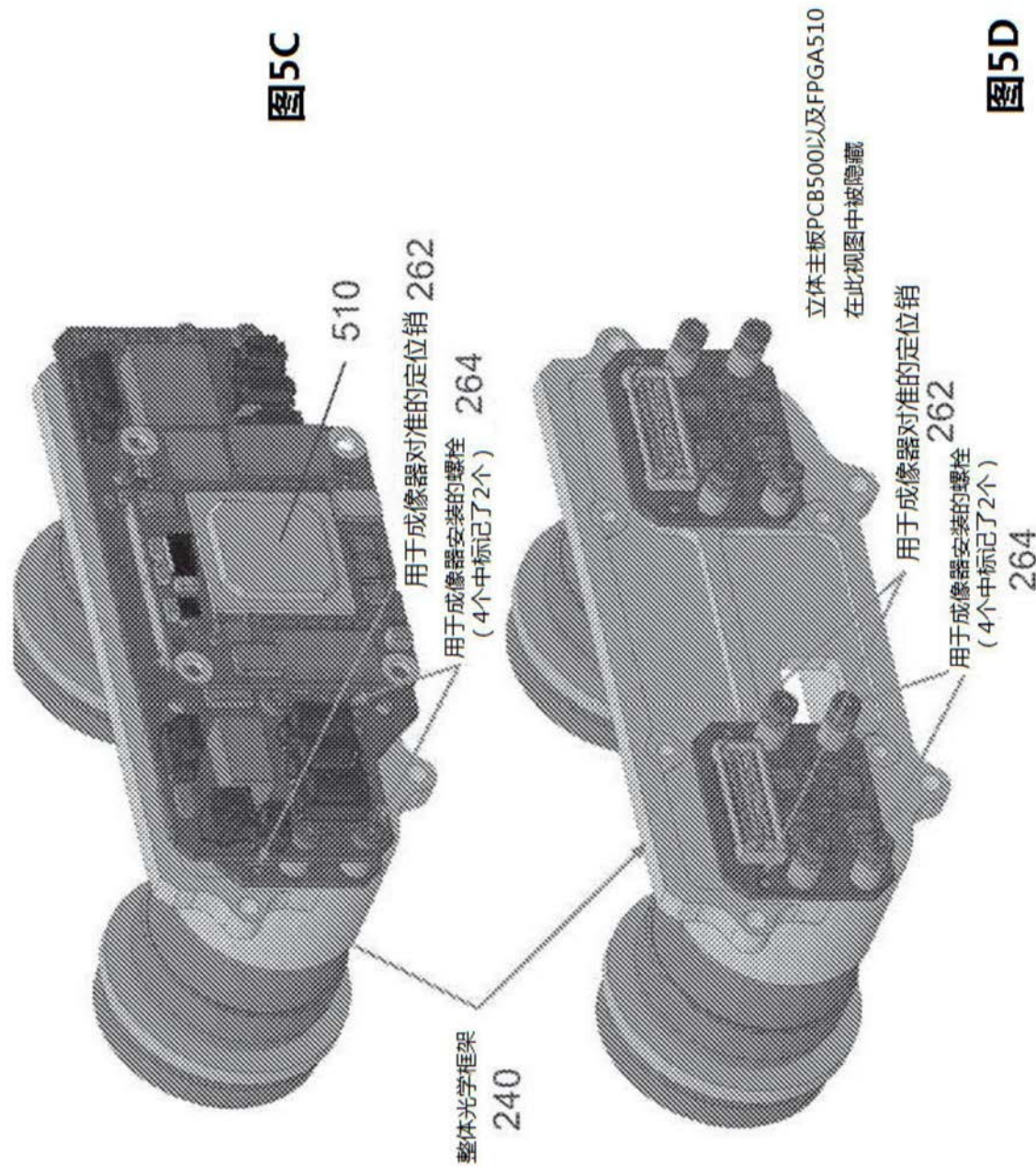
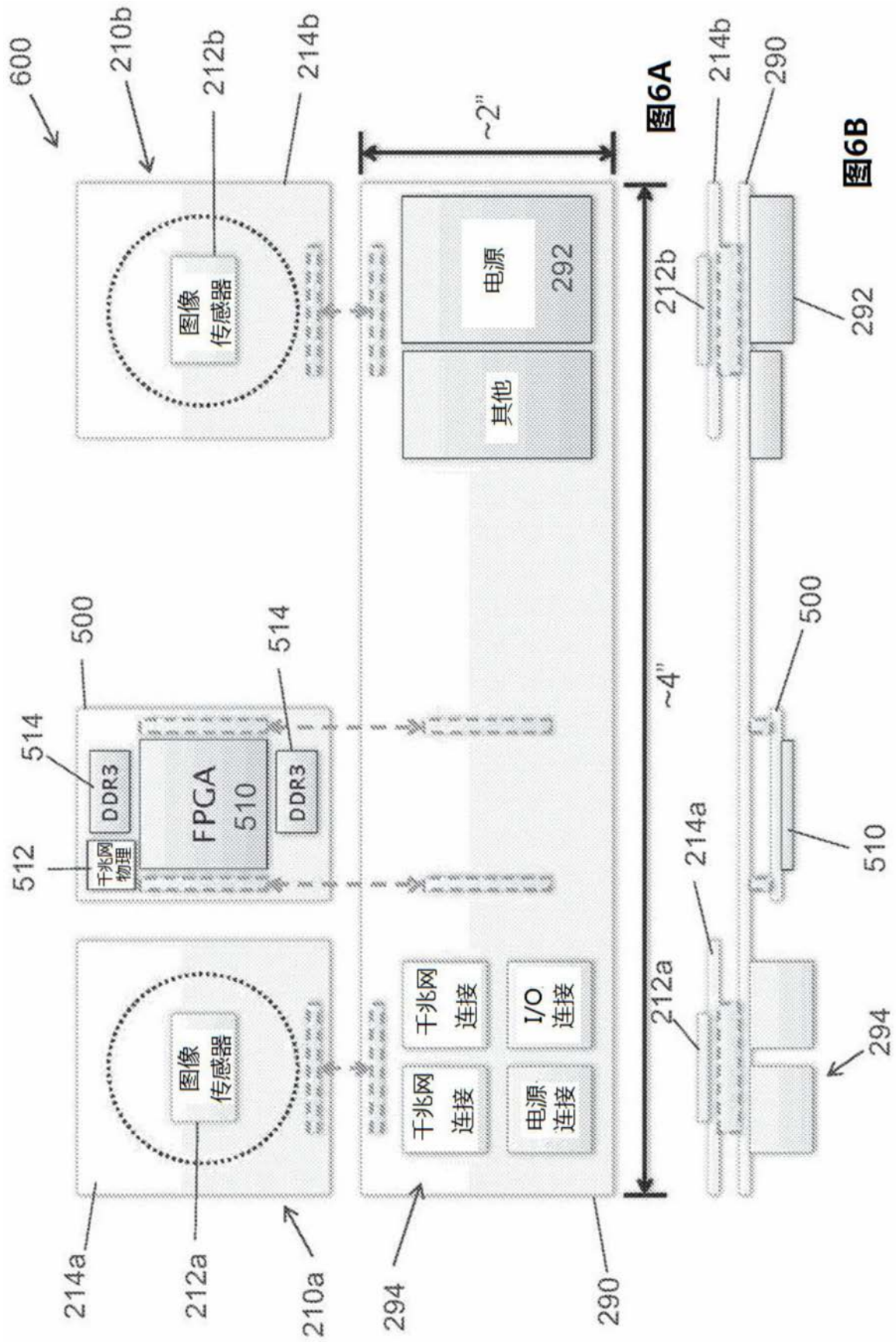


图4B







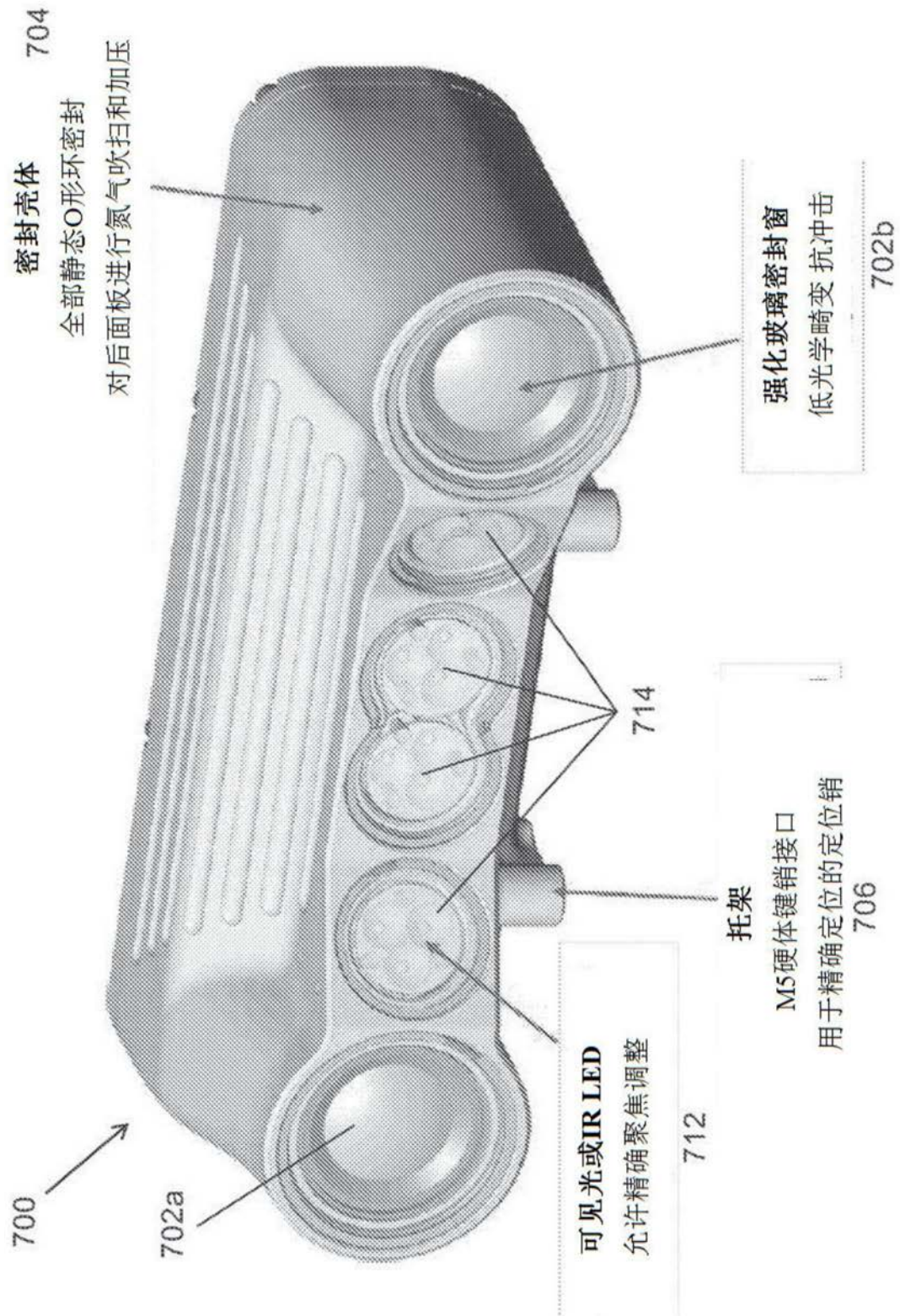


图7A

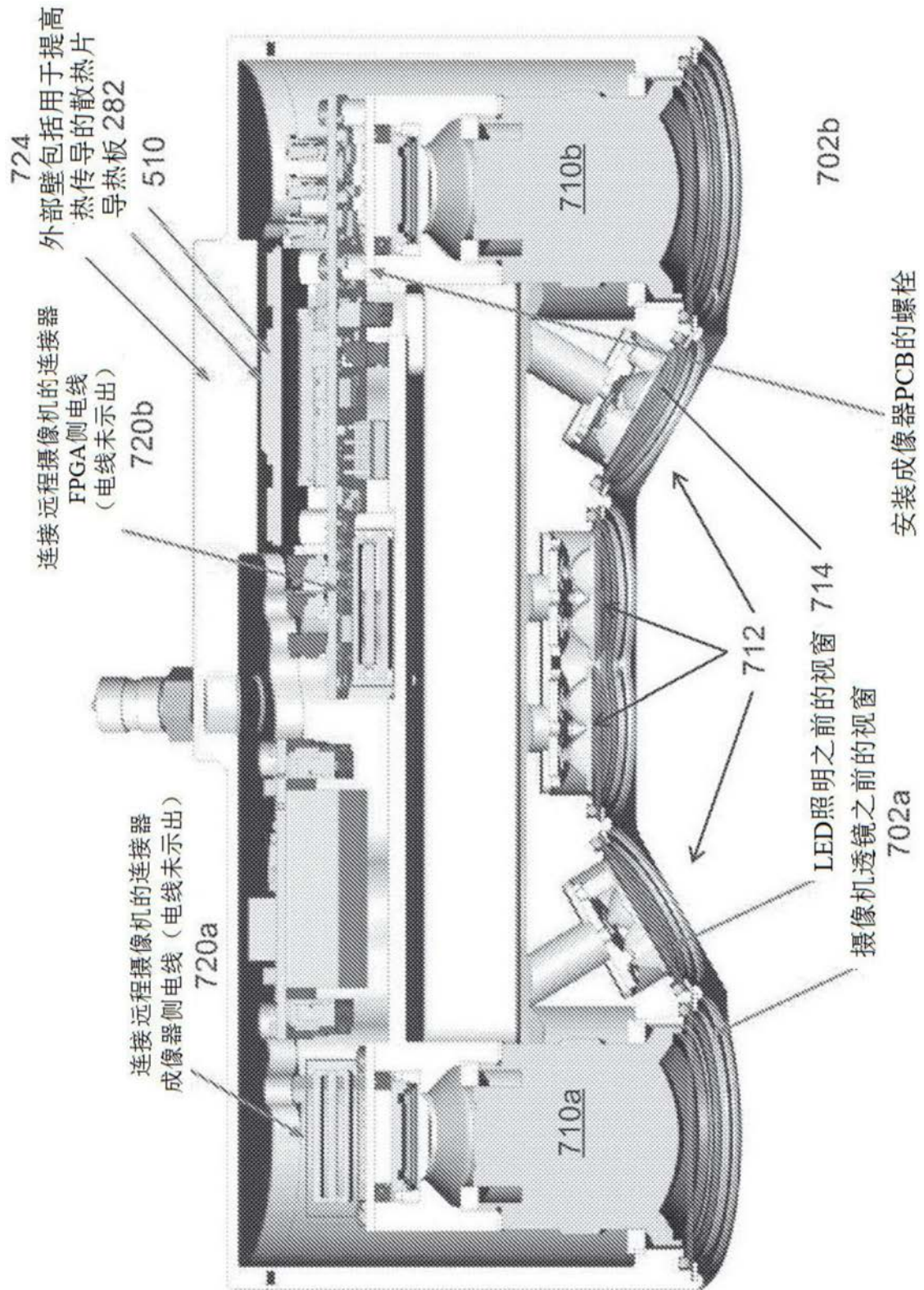


图7B

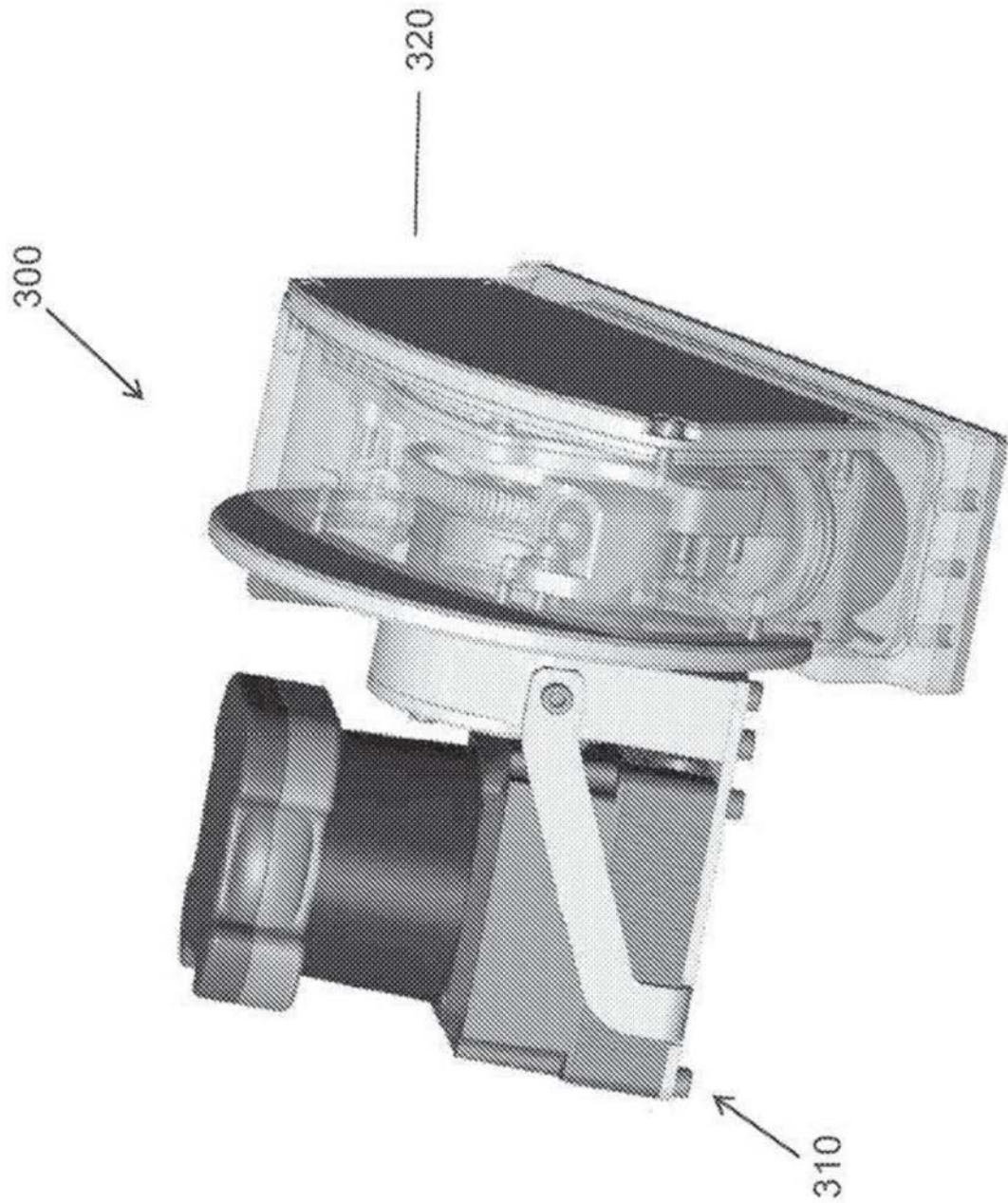


图8A

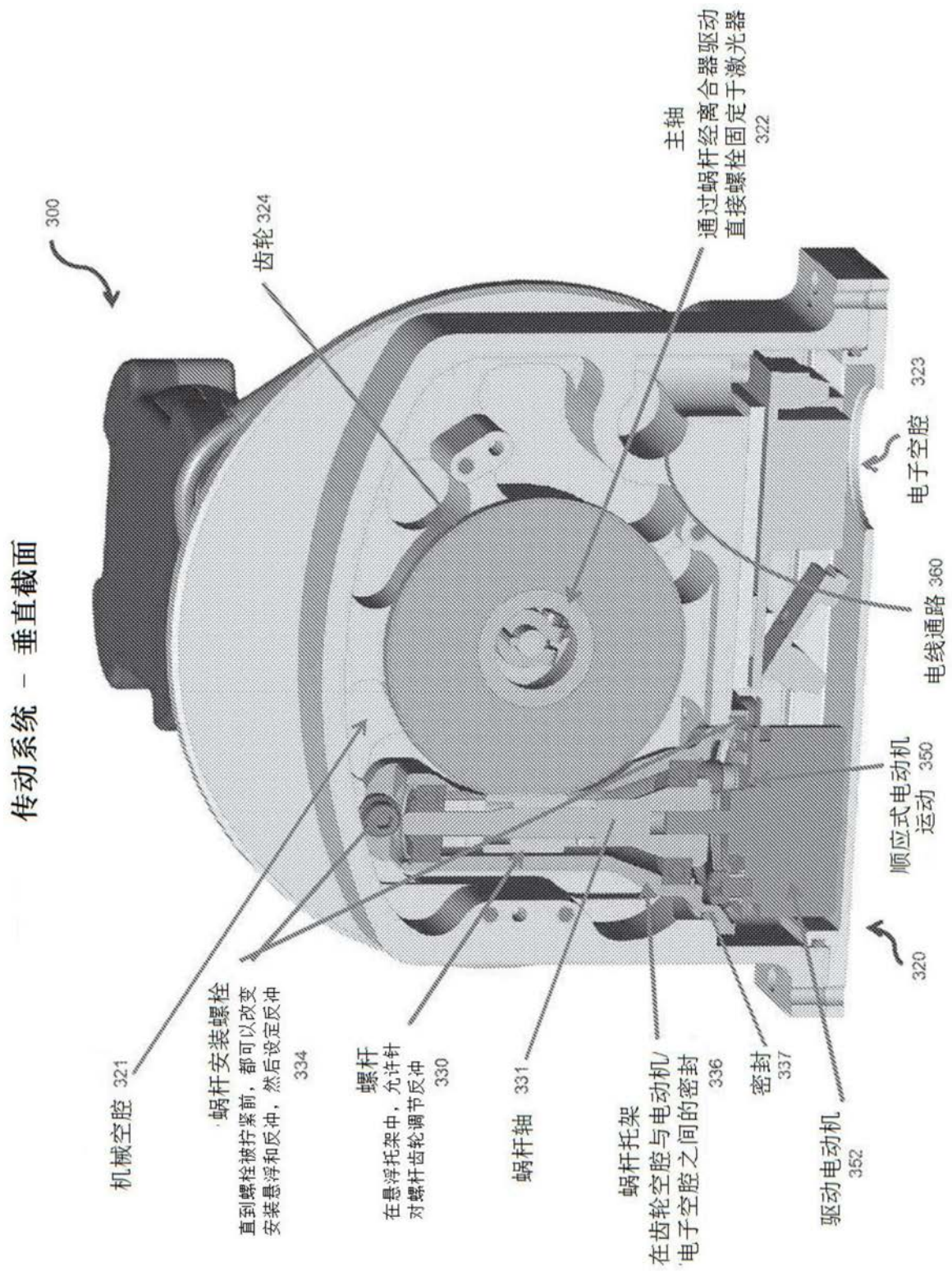


图8B

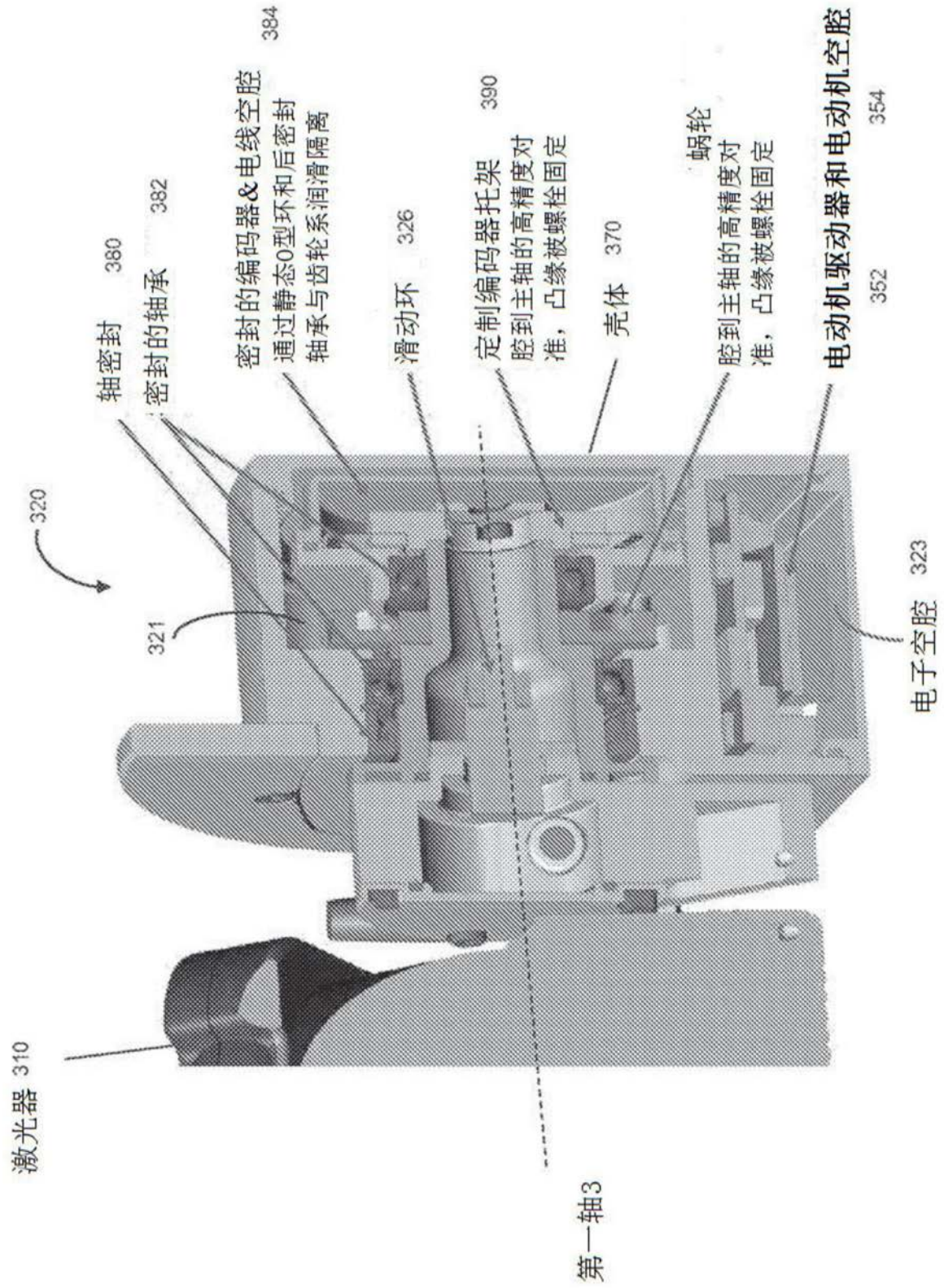


图8C

传动系统 - 水平截面

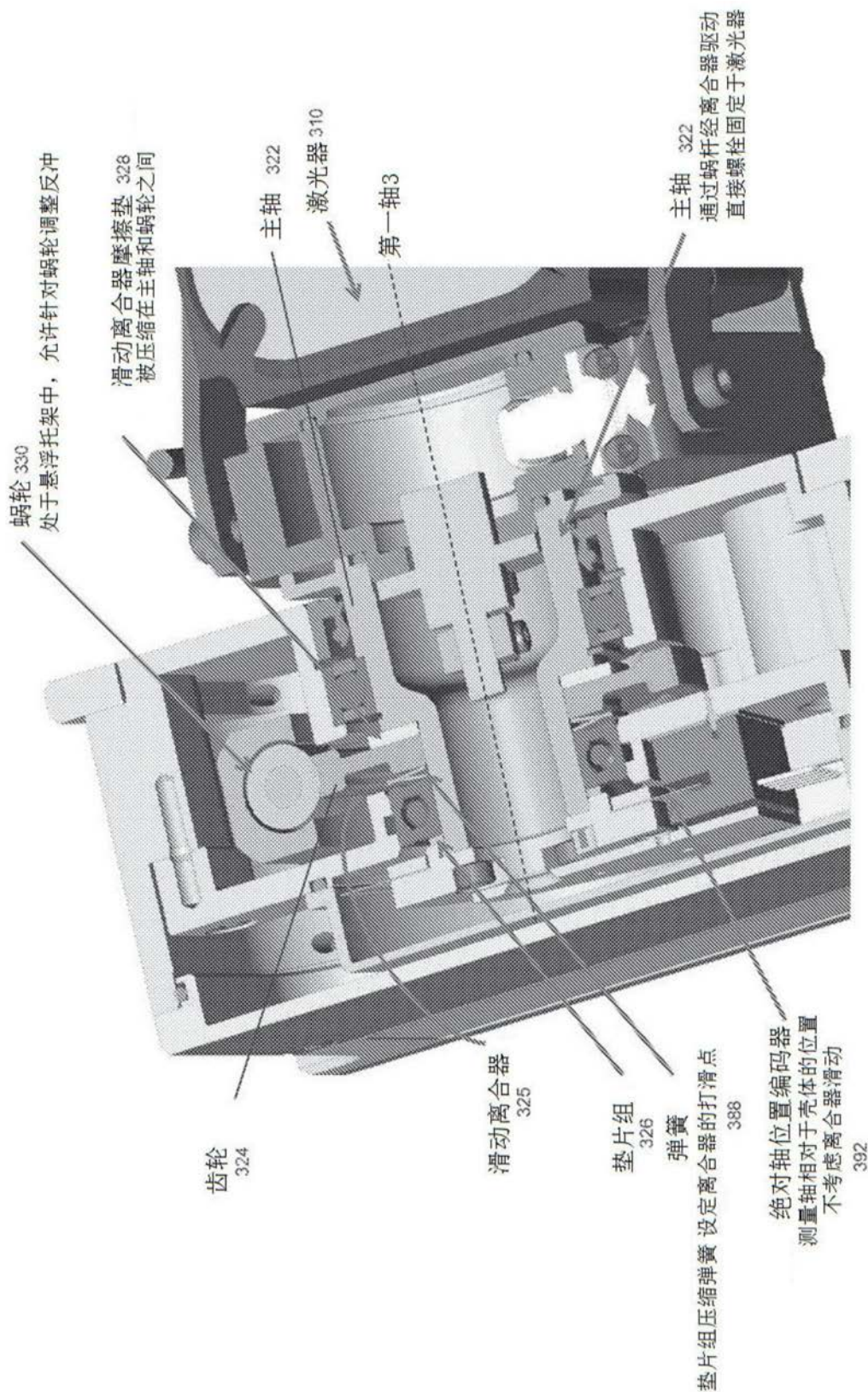


图8D

立体处理器系统

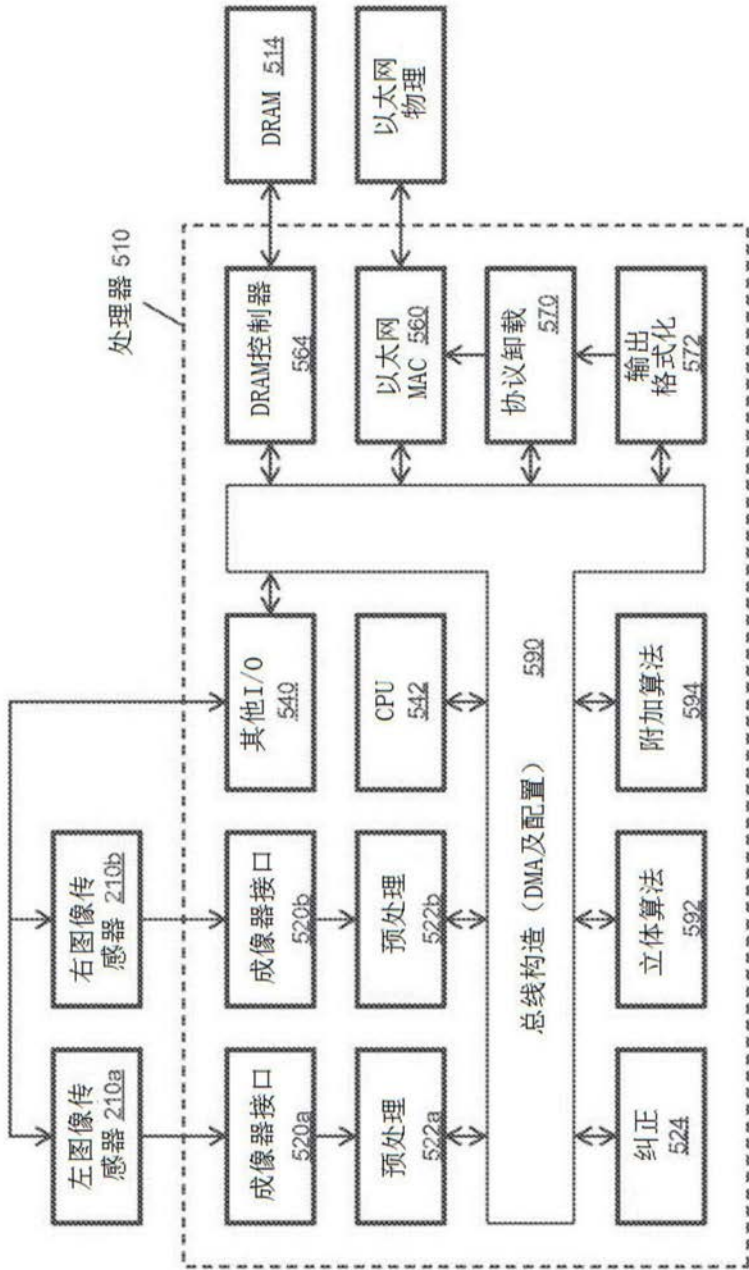


图9A

预处理流水线

图9B

纠正模块

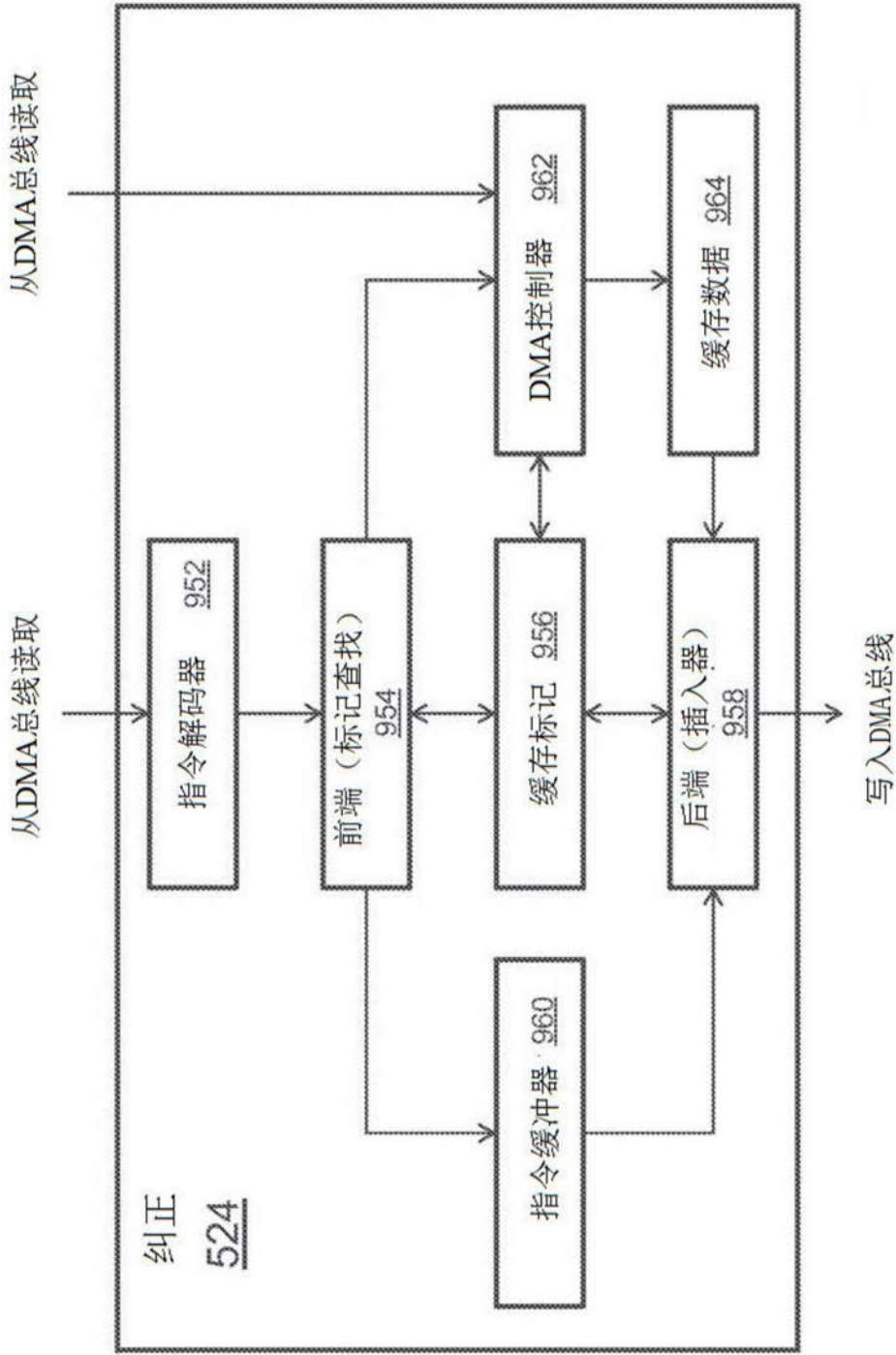


图9C

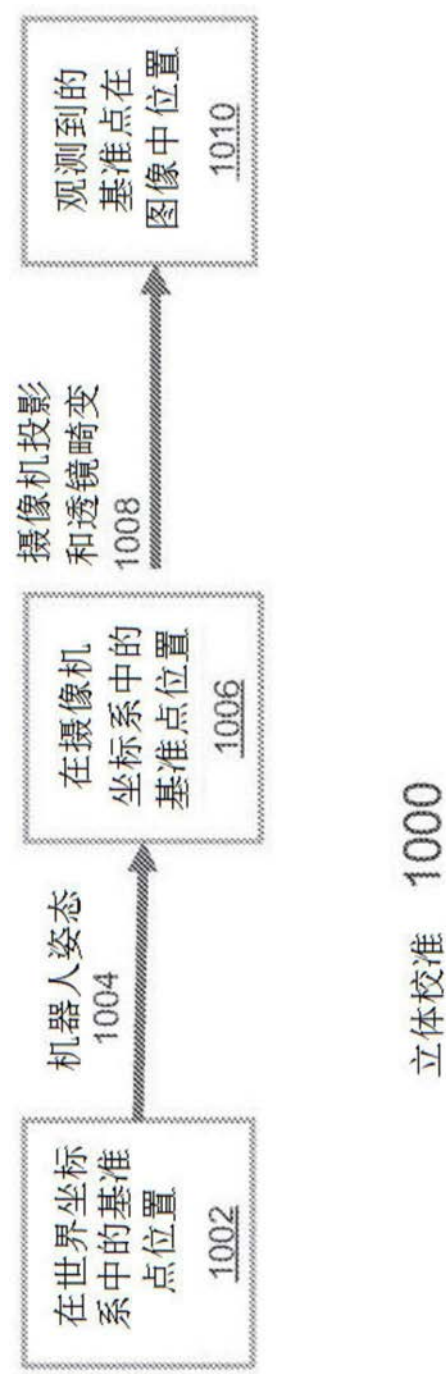


图10

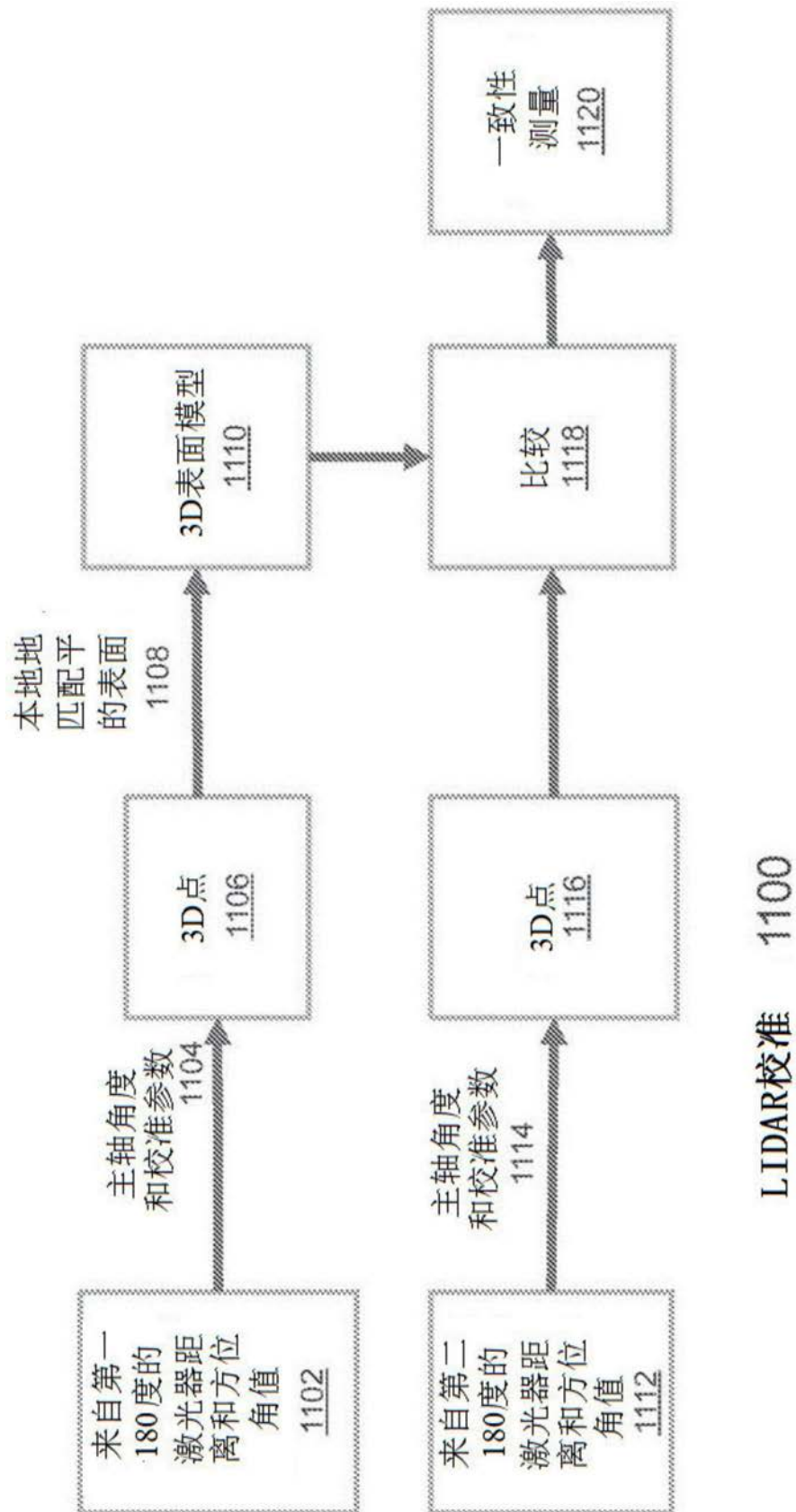


图11

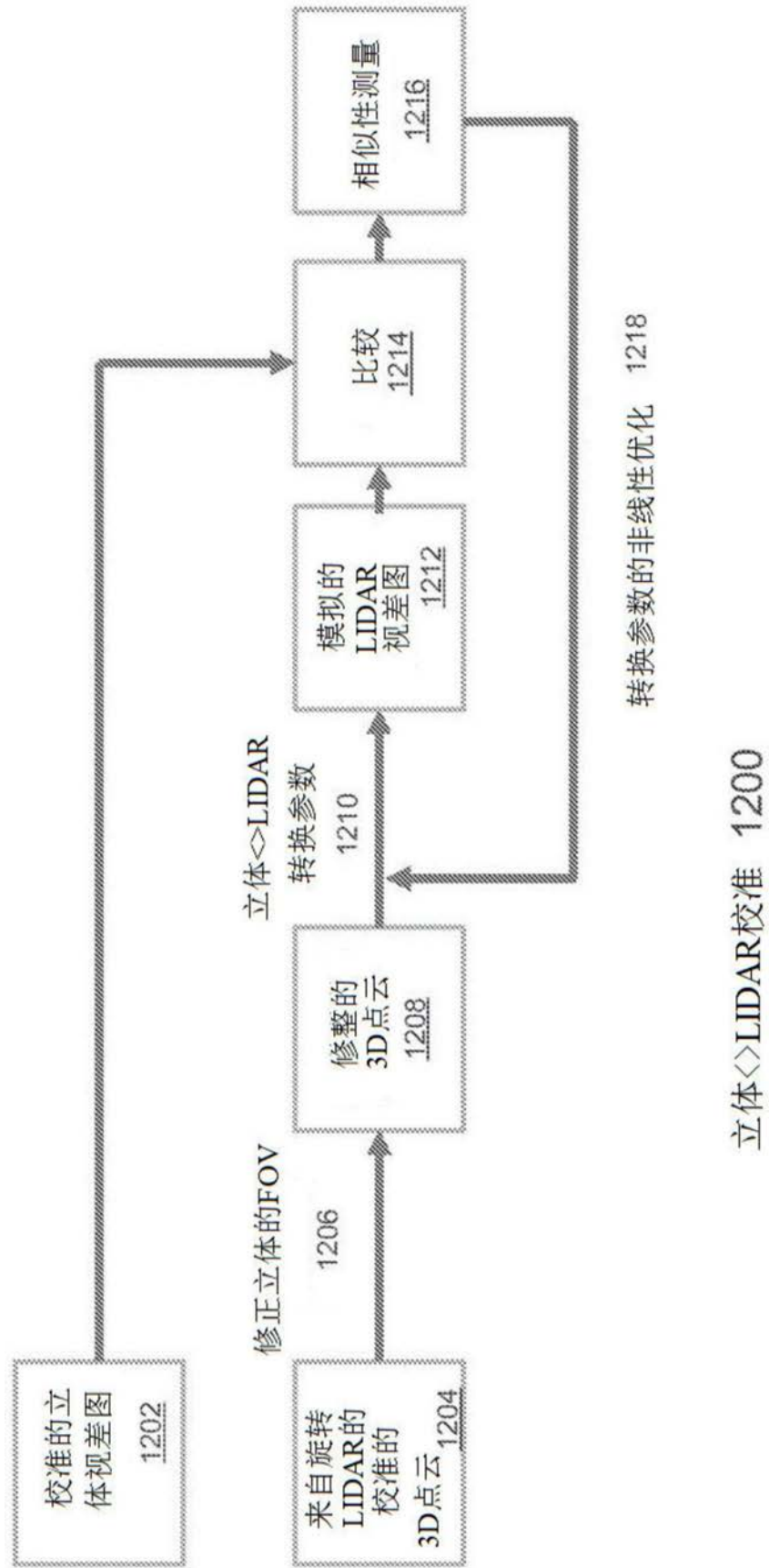


图12

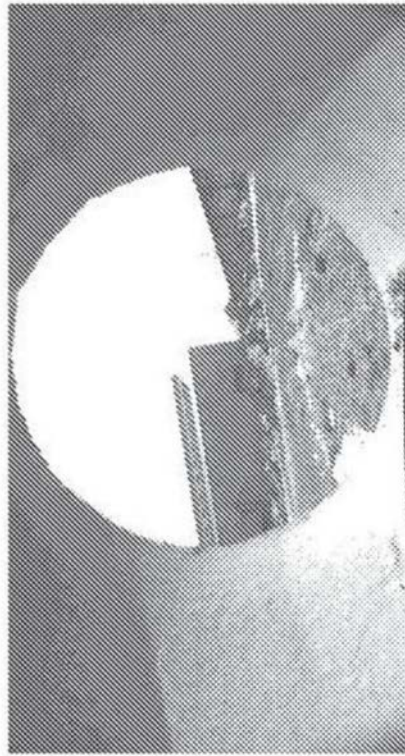


图13A

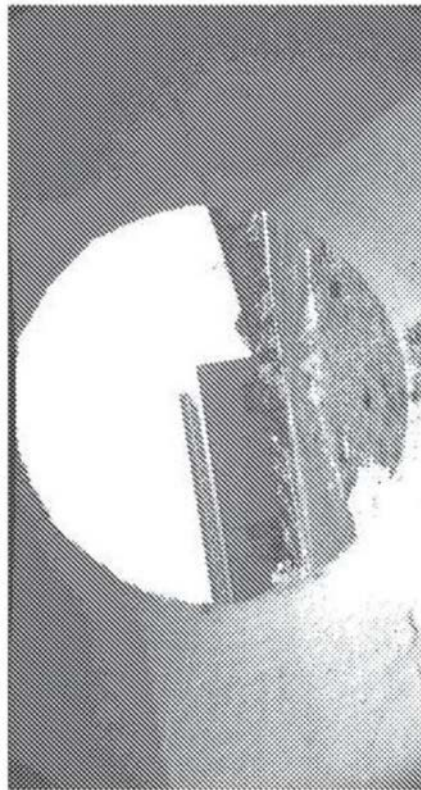


图13B

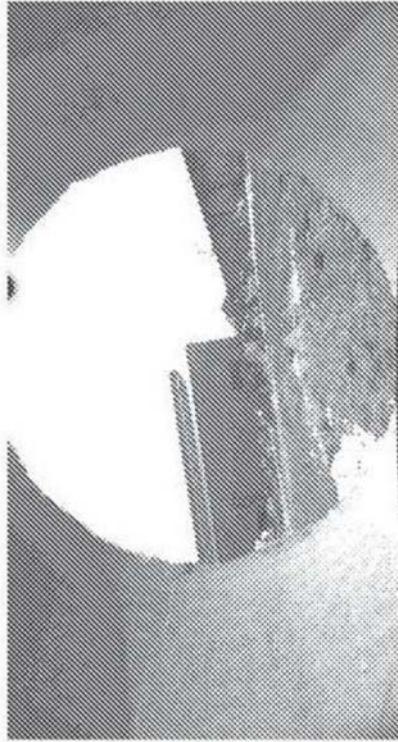


图13C

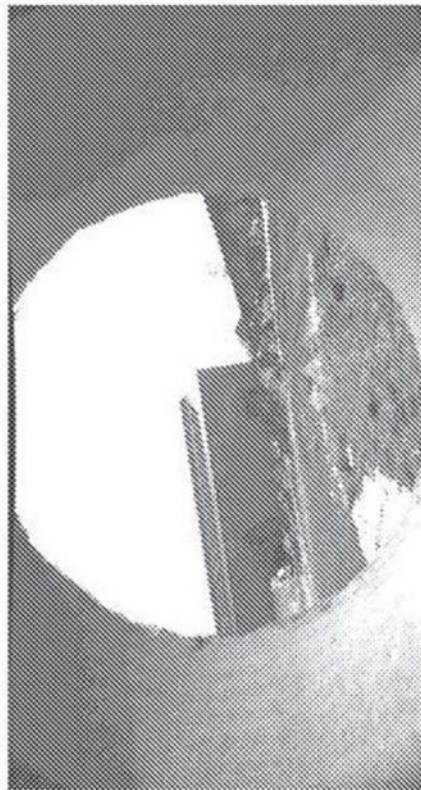


图13D

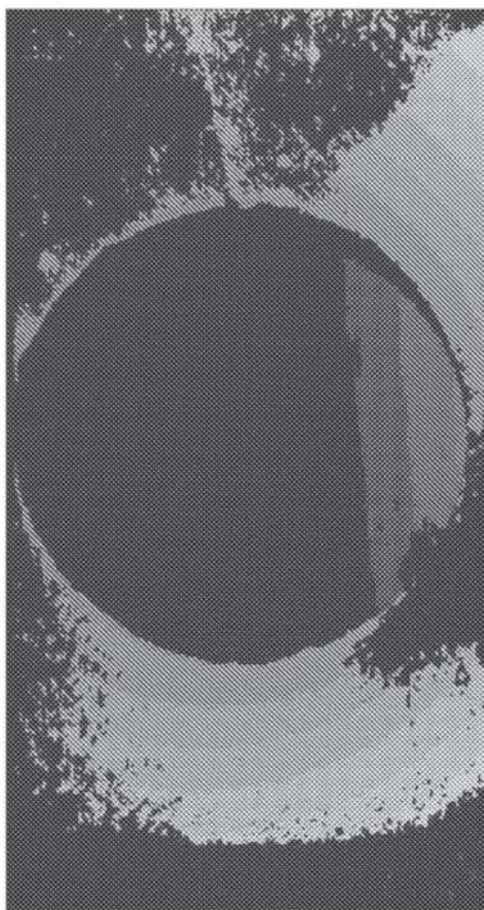


图14A

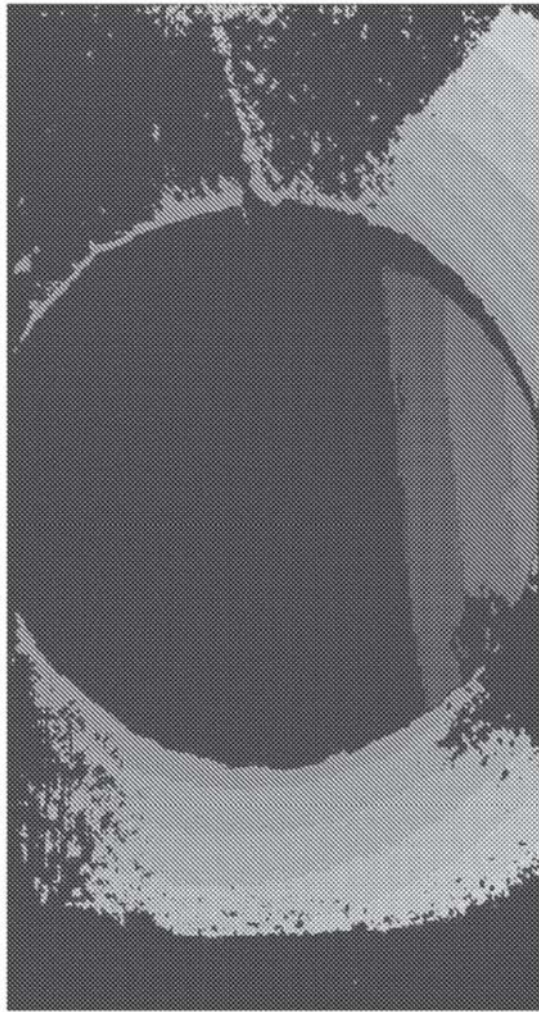


图14B

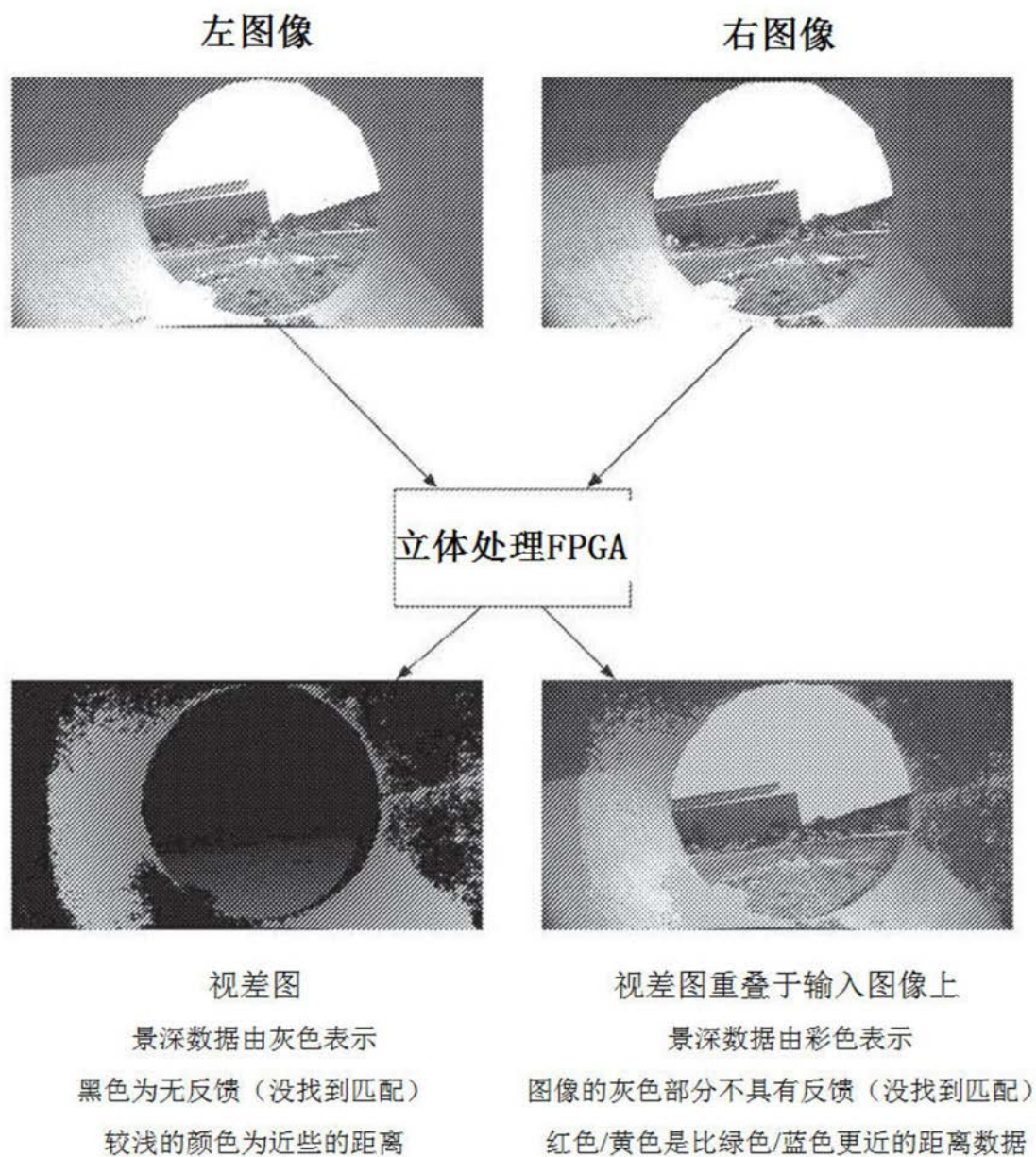


图15

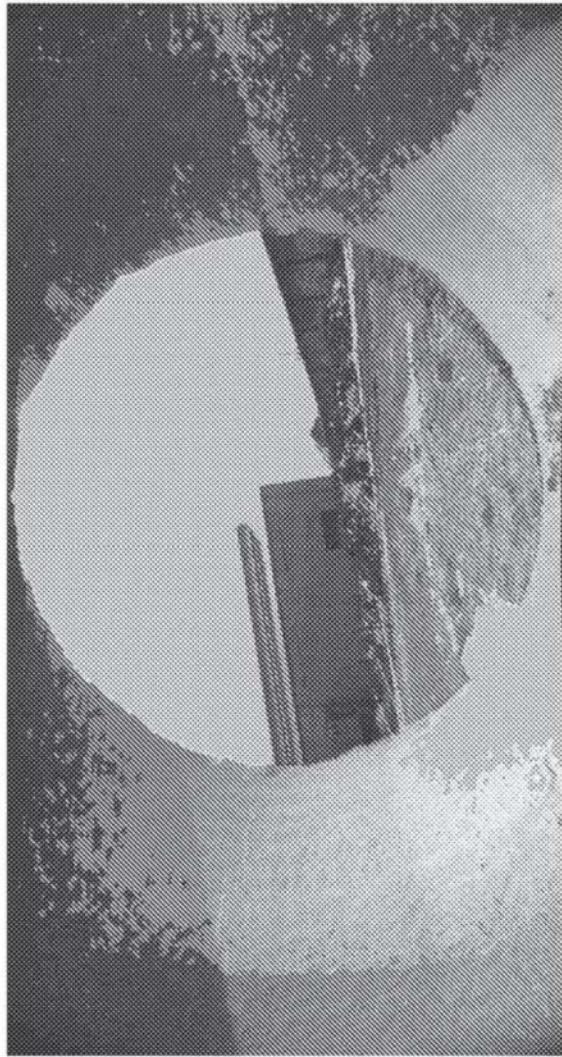


图16A

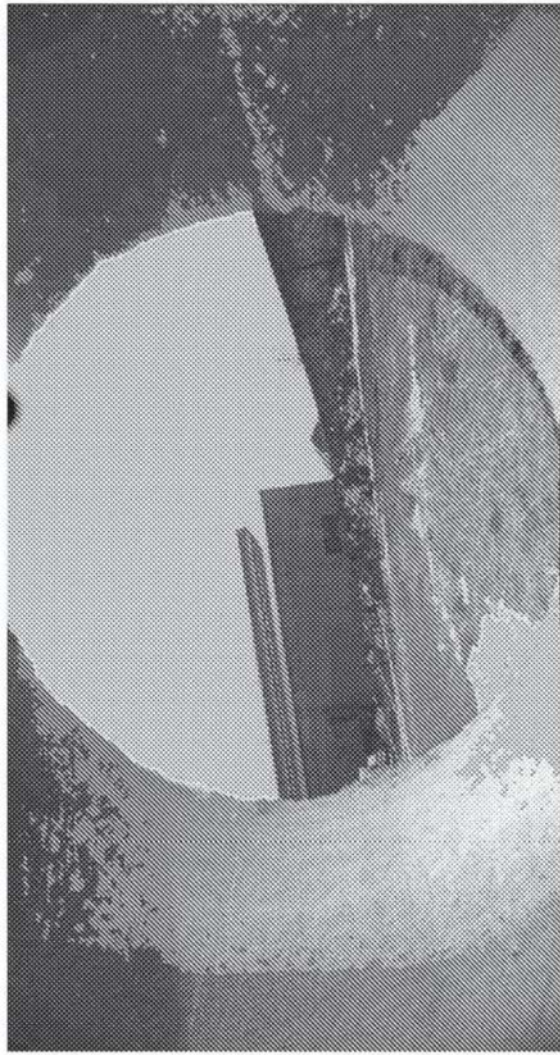


图16B

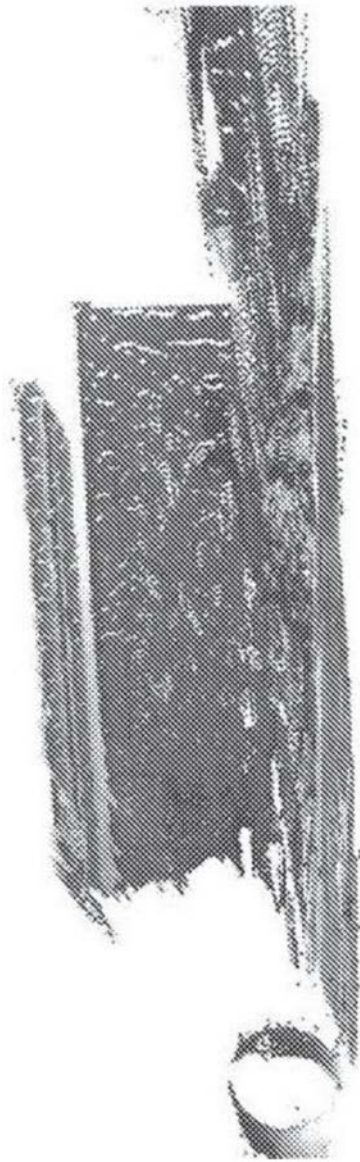


图17A

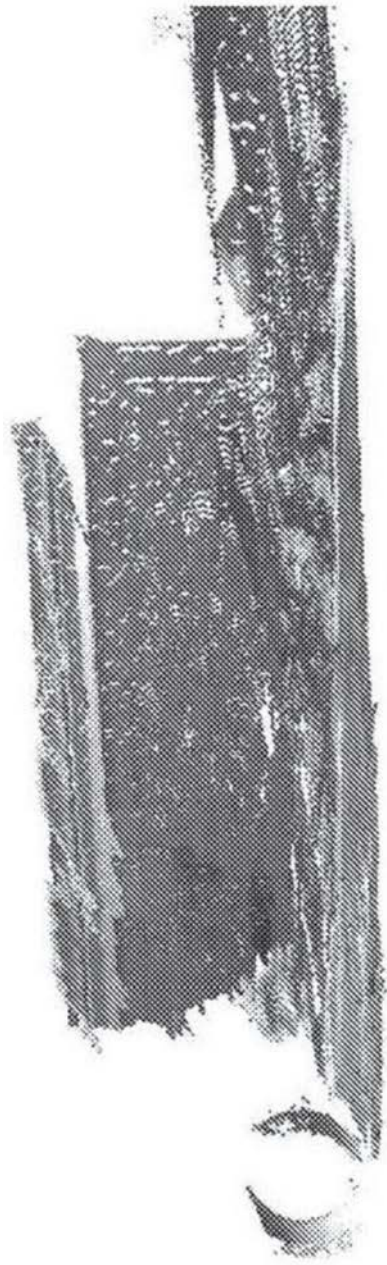
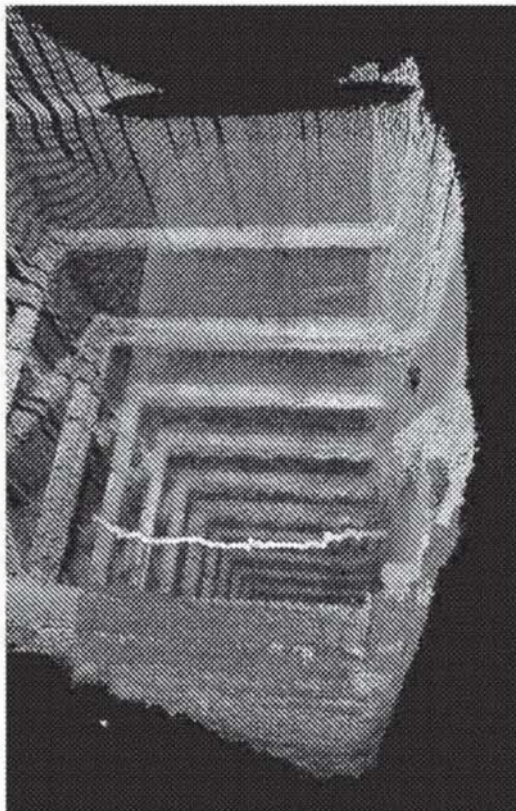


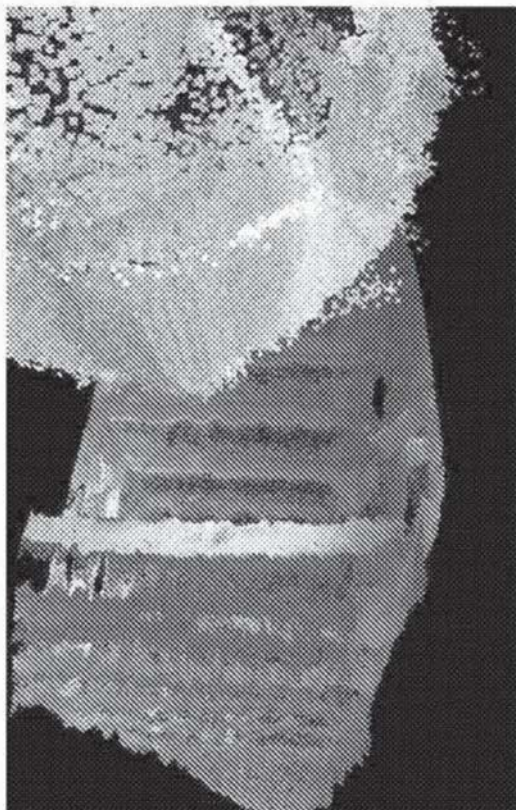
图17B

激光点云被烟雾干扰，
但立体数据仍然有效



无烟雾

图18A



有烟雾

图18B