



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117782007 A

(43) 申请公布日 2024. 03. 29

(21) 申请号 202311842125.4

(22) 申请日 2023.12.28

(71) 申请人 上海隧道工程有限公司

地址 200032 上海市徐汇区宛平南路1099号5楼

(72) 发明人 王浩 李程 麻逸山 费寅 陈刚
盛荣 唐子淇 王伊 王志杰
董鹏 李钦 郑洁 姜乐

(74) 专利代理机构 上海唯源专利代理有限公司
31229

专利代理师 屈明明

(51) Int. Cl.

G01C 5/00 (2006.01)

G01C 11/02 (2006.01)

G01C 11/08 (2006.01)

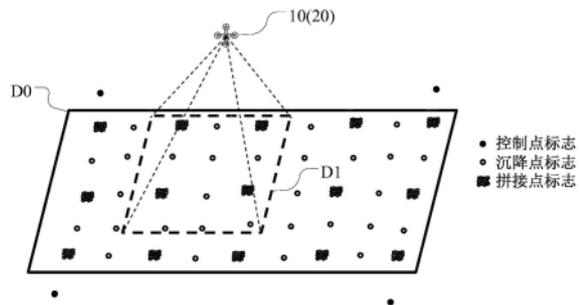
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置及测量方法

(57) 摘要

本发明涉及一种地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置及测量方法,该装置包括:工业相机;用于带动工业相机在监测区域上方移动的无人机;布设在沉降监测点处的沉降点标志,布设在监测区域内的拼接点标志及布设在监测区域周边的控制点标志,各标志均为定向反光标志;用于根据不同照片下相同标志的像坐标之间的关系将各照片拼接整合成监测区域完整图像的图像处理模块;用于根据监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志确定的物方坐标系的转换关系、计算出各沉降点标志在物方坐标系下的实际坐标、进而根据不同时期各实际坐标的变化得出沉降量的沉降量计算模块。本发明能够快速实施大范围的沉降监测,自动化程度高、测量精度高。



1. 一种地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置,其特征在于,包括:
 - 用于对地面沉降监测区域进行拍摄的工业相机;
 - 用于带动所述工业相机按照规划航线在地面沉降监测区域上方移动的无人机,所述无人机上设有供所述工业相机安装的云台;
 - 标志组件,包括布设在地面沉降监测区域内沉降监测点处的沉降点标志、布设在地面沉降监测区域内的拼接点标志、以及布设在地面沉降监测区域周边稳定位置的控制点标志,所述沉降点标志、所述拼接点标志和所述控制点标志均为定向反光标志;
 - 用于根据不同照片下相同定向反光标志的像坐标之间的关系将各照片拼接整合成地面沉降监测区域完整图像的图像处理模块,与所述工业相机建立数据连接;
 - 用于根据所述地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志的实际位置确定的物方坐标系的转换关系、计算出各沉降点标志在所述物方坐标系下的实际坐标、进而根据不同时期各实际坐标的变化得出相应沉降量的沉降量计算模块,与所述图像处理模块建立数据连接。
2. 如权利要求1所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置,其特征在于,所述工业相机拍摄的照片均为二值图像。
3. 如权利要求1所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置,其特征在于,所述图像处理模块包括:
 - 用于从各照片中提取出定向反光标志的图像中心坐标的提取单元;
 - 用于根据每张照片中提取出的图像中心坐标计算出拍摄相应照片时工业相机的位姿的测站定向单元;
 - 用于根据每相邻两张照片的工业相机的位姿和对应拼接点标志的图像中心坐标对每相邻两张照片进行图像拼接、以生成所述地面沉降监测区域完整图像的图像拼接单元。
4. 如权利要求1所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置,其特征在于,规划的航线满足相邻照片具有60%以上的重叠率,且所述拼接点标志的布设满足相邻照片重叠区域内至少覆盖有四个拼接点标志。
5. 如权利要求1所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置,其特征在于,各拼接点标志分别由若干个定向反光靶标基于预先设定的编码规则排列而成。
6. 如权利要求1所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置,其特征在于,所述地面沉降监测区域为盾构施工地面,所述盾构施工地面沿施工轴线间隔设置有多道断面线,所述施工轴线上间隔布设有多个沉降监测点,且每道所述断面线上间隔布设有多个沉降监测点,所述沉降点标志的数量与所述沉降监测点的数量相同,且一一对应地预埋于多个所述沉降监测点处。
7. 如权利要求1所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置,其特征在于,还包括用于计算所述工业相机的系统误差、以对所述地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与所述物方坐标系的转换关系进行修正的数据修正模块,所述数据修正模块连接于所述图像处理模块和所述沉降量计算模块之间。
8. 一种地面沉降高精度无人机近景摄影测量方法,其特征在于,利用如权利要求1~7任一项所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置进行测量,所述测量方法包括步骤:

步骤S1、根据地面沉降监测区域和工业相机的单张照片拍摄范围来规划无人机航线,设计标志组件的布设方案,按照所述布设方案布设各沉降点标志、控制点标志和拼接点标志;

步骤S2、在进行测量时,利用所述无人机带动所述工业相机按照所述航线进行移动,且在移动的过程中利用所述工业相机对地面沉降监测区域进行分区拍摄,并保证相邻拍摄区具有60%以上的重叠率,且重叠区域覆盖至少四个拼接点标志;

步骤S3、根据不同照片下相同定向反光标志的像坐标之间的关系将各照片拼接整合成地面沉降监测区域完整图像;

步骤S4、根据所述地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志的实际位置确定的物方坐标系的转换关系、计算出各沉降点标志在所述物方坐标系下的实际坐标;

步骤S5、在进行下一次测量时,重复步骤S2~步骤S4;

步骤S6、对两次测量分别得到的各沉降点标志的实际坐标对应求差值,得到各沉降监测点在两次测量期间发生的沉降量。

9. 如权利要求8所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量方法,其特征在于,在执行步骤S3时:

步骤S31、分别从各照片中提取出定向反光标志的图像中心坐标;

步骤S32、根据每张照片中提取出的图像中心坐标计算出拍摄相应照片时工业相机的位姿;

步骤S33、根据每相邻两张照片的工业相机的位姿和对应重叠区域内的拼接点标志的图像中心坐标对每相邻两张照片进行图像拼接,最终生成所述地面沉降监测区域完整图像。

10. 如权利要求8所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量方法,其特征在于:

在执行步骤S2之前,先对所述工业相机进行检校,利用数据修正模块计算出所述工业相机的系统误差;

在执行步骤S4时、将所述系统误差引入所述地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志的实际位置确定的物方坐标系的转换关系中,得到修正后的转换关系,然后根据修正后的转换关系计算出各沉降点标志在所述物方坐标系下的实际坐标。

地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置及测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及计算机技术领域,特别涉及一种地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置及测量方法。

背景技术

[0002] 随着城市的开发和建设,盾构法施工已经成为了市政工程建设中常用的一种施工工法,盾构机施工过程中需要对地表沉降情况进行测量,测量结果指导现场施工,确保工程安全,同时也是预测隧道沉降的重要依据。常见地表沉降监测方法有人工精密水准、自动化传感器测量、GPS测量和雷达及INSAR/DINSAR(干涉雷达/雷达差分干涉)测量。

[0003] 1、人工精密水准

[0004] 人工精密水准是使用光学或电子水准仪,逐点进行测量的方法。优点:精度高、成熟、稳定。缺点:效率不高,获取监测数据的时间很长,需要花费大量人力、实时性差、数据滞后、数据不够全面,而且通常用单点来代表大面积区域的沉降情况等。

[0005] 2、自动化传感器测量

[0006] 自动化传感器测量通过在指定区域布设自动化传感器,监测地面情况。优点:精度高、成熟、稳定。缺点:地面埋设复杂(需要钻孔开槽)、价格较高、监测区域前移的工作量巨大、数据不够全面。

[0007] 3、GPS测量

[0008] GPS测量是以若干台的GPS接收机来跟踪GPS卫星信号,就所观测的载波相位观测的数值,使用求差的方法,从而得出各个观测站之间的基线向量也就是坐标差。优点:维护简易、成熟、稳定。缺点:设备造价高、地面埋设复杂(需要钻孔开槽)、监测区域前移的工作量巨大,数据精度一般、数据不够全面。

[0009] 4、雷达及INSAR/DINSAR测量

[0010] 雷达测量就是利用电磁波遇到障碍物要发生反射,测定物体位置。优点:精度最高、监测范围大。缺点:价格高昂、数据处理复杂、无法自动数据识别、移站工作复杂。

[0011] 上述沉降监测方法大部分都具有效率不高、工作量大、数据不够全面,等问题,为了解决上述问题,提出了如下改进方案:

[0012] 5、基于固定架设的单目视觉沉降监测

[0013] 修建固定的相机观测墩,相机架设于观测墩上,在被监测的物体或设备表面上安装监测靶标,靶标可以为反光靶标,也可以为发光靶标,通过分析靶标在图像中的变化来监测物体的沉降。优点:算法简单,测量效率较高,在获得监测数据的同时获得图像或视频数据。缺点:只能做二维监测,缺少纵深方向数据;若重新安装或基础变更,无法恢复到最初的基准数据;固定加站,需要布设电缆。

[0014] 6、基于无人机倾斜摄影测沉降监测

[0015] 利用倾斜摄影测量技术获取塌陷地表各角度影像,通过空中三角测量以及像控点的测量,建立具备空间信息的沉陷区实景三维模型和正射影像,利用实景三维模型进行地

面点数据采集,通过对不同时间的相同位置的地面点数据做差获取下沉值进行沉陷监测。优点:易于操作,同传统沉降监测方法相比,监测范围广,作业效率高,能到沉降区域所有三维数据,所得监测结果更加全面。缺点:测量精度为厘米级,只能满足部分精度要求较低的监测场景;数据处理周期较长;数据量大,提取监测点数据和进行沉降计算比较繁琐。

[0016] 上述改进方案均借助了视觉监测技术,虽然在一定程度上提高了作业效率,但是测量精度不够,仅适用于部分精度要求较低的监测场景。

发明内容

[0017] 为了解决上述问题,本发明提供了一种地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置及测量方法,能够快速实施大范围的沉降监测,实现跟随施工地表沉降监测,自动化程度高、测量精度高,部署方便,利于针对工程地面沉降监测项目推广。

[0018] 本发明通过如下方案实现,一种地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置,包括:

[0019] 用于对地面沉降监测区域进行拍摄的工业相机;

[0020] 用于带动所述工业相机按照规划航线在地面沉降监测区域上方移动的无人机,所述无人机上设有供所述工业相机安装的云台;

[0021] 标志组件,包括布设在地面沉降监测区域内沉降监测点处的沉降点标志、布设在地面沉降监测区域内的拼接点标志、以及布设在地面沉降监测区域周边稳定位置的控制点标志,所述沉降点标志、所述拼接点标志和所述控制点标志均为定向反光标志;

[0022] 用于根据不同照片下相同定向反光标志的像坐标之间的关系将各照片拼接整合成地面沉降监测区域完整图像的图像处理模块,与所述工业相机建立数据连接;

[0023] 用于根据所述地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志的实际位置确定的物方坐标系的转换关系、计算出各沉降点标志在所述物方坐标系下的实际坐标、进而根据不同时期各实际坐标的变化得出相应沉降量的沉降量计算模块,与所述图像处理模块建立数据连接。

[0024] 本发明地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置的进一步改进在于,所述工业相机拍摄的照片均为二值图像。

[0025] 本发明地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置的进一步改进在于,所述图像处理模块包括:

[0026] 用于从各照片中提取出定向反光标志的图像中心坐标的提取单元;

[0027] 用于根据每张照片中提取出的图像中心坐标计算出拍摄相应照片时工业相机的位姿的测站定向单元;

[0028] 用于根据每相邻两张照片的工业相机的位姿和对应拼接点标志的图像中心坐标对每相邻两张照片进行图像拼接、以生成所述地面沉降监测区域完整图像的图像拼接单元。

[0029] 本发明地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置的进一步改进在于,规划的航线满足相邻照片具有60%以上的重叠率,且所述拼接点标志的布设满足相邻照片重叠区域内至少覆盖有四个拼接点标志。

[0030] 本发明地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置的进一步改进在于,各拼接点标志分别由若干个定向反光靶标基于预先设定的编码规则排列而成。

[0031] 本发明地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置的进一步改进在于,所述地面沉降监测区域为盾构施工地面,所述盾构施工地面沿施工轴线间隔设置有多道断面线,所述施工轴线上间隔布设有多个沉降监测点,且每道所述断面线上间隔布设有多个沉降监测点,所述沉降点标志的数量与所述沉降监测点的数量相同,且一一对应地预埋于多个所述沉降监测点处。

[0032] 本发明地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置的进一步改进在于,还包括用于计算所述工业相机的系统误差、以对所述地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与所述物方坐标系的转换关系进行修正的数据修正模块,所述数据修正模块连接于所述图像处理模块和所述沉降量计算模块之间。

[0033] 本发明还提供了一种地面沉降高精度无人机近景摄影测量方法,利用如上任一项所述的地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置进行测量,所述测量方法包括步骤:

[0034] 步骤S1、根据地面沉降监测区域和工业相机的单张照片拍摄范围来规划无人机航线,设计标志组件的布设方案,按照所述布设方案布设各沉降点标志、控制点标志和拼接点标志;

[0035] 步骤S2、在进行测量时,利用所述无人机带动所述工业相机按照所述航线进行移动,且在移动的过程中利用所述工业相机对地面沉降监测区域进行分区拍摄,并保证相邻拍摄区具有60%以上的重叠率,且重叠区域覆盖至少四个拼接点标志;

[0036] 步骤S3、根据不同照片下相同定向反光标志的像坐标之间的关系将各照片拼接整合成地面沉降监测区域完整图像;

[0037] 步骤S4、根据所述地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志的实际位置确定的物方坐标系的转换关系、计算出各沉降点标志在所述物方坐标系下的实际坐标;

[0038] 步骤S5、在进行下一次测量时,重复步骤S2~步骤S4;

[0039] 步骤S6、对两次测量分别得到的各沉降点标志的实际坐标对应求差值,得到各沉降监测点在两次测量期间发生的沉降量。

[0040] 本发明地面沉降高精度无人机近景摄影测量方法的进一步改进在于,在执行步骤S3时:

[0041] 步骤S31、分别从各照片中提取出定向反光标志的图像中心坐标;

[0042] 步骤S32、根据每张照片中提取出的图像中心坐标计算出拍摄相应照片时工业相机的位姿;

[0043] 步骤S33、根据每相邻两张照片的工业相机的位姿和对应重叠区域内的拼接点标志的图像中心坐标对每相邻两张照片进行图像拼接,最终生成所述地面沉降监测区域完整图像。

[0044] 本发明地面沉降高精度无人机近景摄影测量方法的进一步改进在于:

[0045] 在执行步骤S2之前,先对所述工业相机进行检校,利用数据修正模块计算出所述工业相机的系统误差;

[0046] 在执行步骤S4时、将所述系统误差引入所述地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志的实际位置确定的物方坐标系的转换关系中,得到修正后的转换关系,然后根据修正后的转换关系计算出各沉降点标志在所述物方坐标系下的实际坐标。

[0047] 本发明通过无人机搭载工业相机对地表沉降监测点进行拍摄,同时利用专用定向反光靶标作为标志点进行布设,能够拍摄到高对比度准二值图像,结合图像处理模块对图像进行处理,可快速准确获取标志点像坐标,以及基于像坐标实现图像拼接,同时结合沉降量计算模块的计算各沉降监测点的沉降情况。采用本发明能够快速实施大范围的沉降监测,实现跟随施工地表沉降监测,自动化程度高、可实现无人值守,测量精度高,满足沉降监测规范精度要求,部署方便,利于针对工程地面沉降监测项目推广。

附图说明

[0048] 图1示出了标志组件的分布状态以及利用工业相机进行分区拍摄的示意图。

[0049] 图2示出了定向反光标志与普通白光标志在二值图像上的亮度对比图。

[0050] 图3示出了基于编码规则提取编码式拼接点标志的图像中心点坐标的模拟图。

[0051] 图4示出了以盾构施工地面为地面沉降监测区域时的沉降监测点和控制点分布示例图。

[0052] 图5示出了无人机的交叉航线示例图。

[0053] 图6示出了基于每张照片的图像中心坐标计算出工业相机位姿的模拟图。

[0054] 图7示出了地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与物方坐标系的转换关系示意图。

具体实施方式

[0055] 为了解决传统基于视觉监测技术的地表沉降监测方法测量精度不够的问题,本发明提供了一种地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置及测量方法,能够快速实施大范围的沉降监测,实现跟随施工地表沉降监测,自动化程度高、测量精度高,部署方便,利于针对工程地面沉降监测项目推广。下面以具体实施例结合附图对该地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置及测量方法作进一步说明。

[0056] 参阅图1所示,一种地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置,包括:

[0057] 用于对地面沉降监测区域D0进行拍摄的工业相机20。

[0058] 用于带动该工业相机20按照规划航线在地面沉降监测区域D0上方移动的无人机10,该无人机10上设有供该工业相机20安装的云台。

[0059] 标志组件,包括布设在地面沉降监测区域D0内沉降监测点处的沉降点标志、布设在地面沉降监测区域D0内的拼接点标志、以及布设在地面沉降监测区域D0周边稳定位置的控制点标志,该沉降点标志、该拼接点标志和该控制点标志均为定向反光标志。

[0060] 用于根据不同照片下相同定向反光标志的像坐标之间的关系将各照片拼接整合成地面沉降监测区域完整图像的图像处理模块,与该工业相机建立数据连接。具体地,该图像处理模块包括:用于从各照片中提取出定向反光标志的图像中心坐标的提取单元;用于根据每张照片中提取出的图像中心坐标计算出拍摄相应照片时工业相机的位姿的测站定向单元;用于根据每相邻两张照片的工业相机的位姿和对应拼接点标志的图像中心坐标对每相邻两张照片进行图像拼接、以生成该地面沉降监测区域完整图像的图像拼接单元。

[0061] 用于根据该地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志的实际位置确定的物方坐标系的转换关系、计算出各沉降点标志在该物方坐标系下的实际坐标、进而

根据不同时期各实际坐标的变化得出相应沉降量的沉降量计算模块,与该图像处理模块建立数据连接。

[0062] 具体来说:参阅图2所示,该工业相机拍摄的照片均为二值图像,灰度等级只有两种,同时配合高亮反光材料制作的定向反光标志,与普通白色标志相比,定向反光标志的亮度较高,与背景灰度亮度差距较大,可以提取到高精度的图像边缘,便于准确计算出标志点图像中心坐标,定位精度可以达到1/30像素,而传统倾斜摄影测量图像灰度匹配精度大概为0.5像素级,图像测量精度提升约15倍左右,这也是后续测量精度的基础。该定向反光标志主要有两种,即圆形单点靶标和方块型编码靶标。如图1所示的拼接点标志采用的就是方块型编码靶标,方块型编码靶标是由若干个圆形单点靶标组成的,在生产的时候按照一定的规则排列并编码,每个方块型编码靶标具有位唯一的编码,后续可以通过软件基于编码规则进行解码,以便于快速得到其中心位置,参阅图3所示。而控制点标志和沉降点标志采用的是圆形单点靶标,无需进行解码,直接提取其标志中心坐标即可。需要说明的是,标志组件的布设位置以及无人机的飞行航线需要根据实际地面沉降监测区域的情况进行确定,优选规划的航线满足相邻照片具有60%以上的重叠率,且拼接点标志的布设满足相邻照片重叠区域内至少覆盖有四个拼接点标志,以便于后续进行图像拼接。具体在测量方法中以盾构施工为例进行了详细说明。

[0063] 本测量装置可自主飞行、大幅提高测量效率,将专用近景摄影测量工业相机搭载于无人机三轴云台上,配合高亮反光材料制作的定向反光标志结合图像处理和数据计算,能够提供亚毫米级测量精度,可监测施工轴线上多个沉降监测点,同时能随着施工推进重新快速布置,建立多层次监控区域,保障施工顺利进行,为施工提供快速、自动化、高精度的地面沉降监测数据。

[0064] 作为一较佳实施方式,为了弥补相机拍摄的系统误差导致的像点p在像平面上相对其理论位置存在的偏差,该测量装置还包括用于计算该工业相机的系统误差、以对该地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与该物方坐标系的转换关系进行修正的数据修正模块,该数据修正模块连接于该图像处理模块和该沉降量计算模块之间。通过数据修正模块进行修正,提高了测量结果的准确性。

[0065] 下面以盾构施工地面的沉降测量为例,对采用上述地面沉降高精度无人机近景摄影测量装置进行测量的方法进行说明,该测量方法包括步骤:

[0066] 步骤S1、根据地面沉降监测区域和工业相机的单张照片拍摄范围来规划无人机航线,设计标志组件的布设方案,按照该布设方案布设各沉降点标志、控制点标志和拼接点标志。

[0067] 具体地,参阅图4所示,该盾构施工地面沿施工轴线L0间隔设置有多道断面线M1~M4,该施工轴线L0上每间隔6m布设有一个沉降监测点(黑色点),且每道该断面线上以施工轴线L0为对称线分别向两侧间隔布设有多个沉降监测点,本实施例是按照3m、3m、3m、6m、7.5m的间隔向两侧依次布设的。该沉降点标志的数量与该沉降监测点的数量相同,且一一对应地预埋于多个该沉降监测点处。而盾构施工地面沉降监测区域(即矩形框框选范围)外周四角处各选择一个较为稳定的位置作为控制点(白色点),将四个控制点标志分别预埋于各控制点处,以便于后续确定物方坐标系,当然,为了便于从图像上快速识别出控制点标志所对应的控制点位置,可以对四个控制点标志预先进行编号。而拼接点标志是用于相邻照

片的图像拼接的,其布设方案应结合无人机航线以及工业相机单张照片的拍摄范围进行确定,无需预埋,可以根据拍摄方案确定数量和位置,拍摄前放置到对应位置即可。

[0068] 参阅图5所示,规划交叉航线,包括沿纵向往返呈折线的航线A以及沿横向往返呈折线的航线B。

[0069] 步骤S2、在进行测量时,参阅图1所示,利用该无人机10带动该工业相机20按照该航线进行移动,且在移动的过程中利用该工业相机20对地面沉降监测区域D0进行分区拍摄,每个区域D1对应相机单张照片的拍摄范围,该拍摄范围的大小取决于工业相机的靶面、焦距、视场角以及飞行高度。本实施例采用的工业相机的靶面是23mm*23mm,焦距是20mm,视场角是60度*60度,飞行高度30m,最终对应的单张照片拍摄范围大概是34.5m*34.5m,基于该拍摄范围设计拼接点标志沿纵向每6m布设一个,且避开沉降点标志的位置,优选与沉降点标志呈交替间隔方式设置,如图1所示。为了能够实现相邻照片的图像拼接,要求相机拍摄的相邻照片应满足不小于60%的重叠率,且拼接点标志的布设应满足相邻照片的重叠区域覆盖有至少四个拼接点标志,以便于图像匹配拼接。重叠率越高,覆盖的拼接点越多,图像匹配拼接效果越好。旁向上相邻照片的重叠率可以通过控制航线A和航线B中相邻线路的间距大小来保证。而航向上相邻照片的重叠率通过无人机10飞行速度以及工业相机20的拍摄频率来保证。较佳地,为了便于后续相机自检校,优选对同一区域拍摄2张相机成90度夹角的图像。

[0070] 步骤S3、根据不同照片下相同定向反光标志的像坐标之间的关系将各照片拼接整合成地面沉降监测区域完整图像。具体包括如下步骤:

[0071] 步骤S31、对拍摄的各照片进行图像处理,分别提取出所有定向反光标志的图像中心坐标。对于采用方块型编码靶标的拼接点标志来说,还需要根据编码规则对所有标志点进行解码运算。

[0072] 步骤S32、根据每张照片中提取出的图像中心坐标计算出拍摄相应照片时工业相机的位姿。具体可采用摄站定向算法计算相机位姿,即:进行两个摄站立体相对的相对定向,通过前方交会计算出标志点的三维坐标,再通过后方交会计算得到其他图像的外方位元素,再利用后方交会定向后的测站,进行前方交会计算;通过多次前方交会和后方交会计算,完成所有可以定向测站的外方位元素解算。如图6所示,图6示出了不同照片下工业相机20的不同位姿。

[0073] 步骤S33、根据每相邻两张照片的工业相机的位姿和对应重叠区域内的拼接点标志的图像中心坐标对每相邻两张照片进行图像拼接,最终生成该地面沉降监测区域完整图像。具体地,在完成所有可定向测站的外方位元素求解后,可以利用核线匹配算法对所有沉降点标志进行匹配,即逐一确定图像上某个沉降点标志在其他图像上的对应点,完成匹配后可得到地面沉降监测区域完整图像。

[0074] 步骤S4、根据该地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志的实际位置确定的物方坐标系的转换关系、计算出各沉降点标志在该物方坐标系下的实际坐标。具体地,由于控制点标志的实际位置是相对稳定的,且能够将整个地面沉降监测区域围设起来,所以,基于各控制点标志来建立施工现场的物方坐标系,并将控制点标志作为公共点来进行后续坐标系的转换。即在摄影测量得到的各标志点坐标中,找到控制点标志(可以通过提前编号的方式进行快速识别),然后基于控制点标志在像坐标系下的坐标和物方坐标系

下的坐标进行公共点转换,得到想做表现与物方坐标系的转换关系,再基于该转换关系可以将像坐标系下的所有沉降点标志的坐标转换为物方坐标系下的三维坐标(即实际坐标)。

[0075] 步骤S5、在进行下一次测量时,重复步骤S2~步骤S4。

[0076] 步骤S6、对两次测量(可根据需要选择采用哪两期的测量数据,最终得到的沉降数据即为两期测量期间发生的沉降数据)分别得到的各沉降点标志的实际坐标对应求差值,得到各沉降监测点在两次测量期间发生的沉降量。基于本期测量数据和往期测量数据生成监测报告,可以包含本期沉降量、累计沉降量、沉降速率、是否有超限数据等。

[0077] 作为一较佳实施方式,在执行步骤S2之前,先对该工业相机进行检校,利用数据修正模块计算出该工业相机的系统误差。

[0078] 具体地检校方法为:在实验室内布设三维标定场,粘贴定向反光标志。以无人机的飞行高度为对焦距离,将测量相机的镜头完成对焦并锁定。使用测量相机对三维标定场进行多位置多角度拍摄,通过标定软件解算相机的内方位元素 (x_0, y_0, f) 和镜头光学畸变系数 $(K_1, K_2, K_3, P_1, P_2, b_1, b_2)$,保存供后续使用。其标定原理如下:

[0079] 1、关于像点的系统误差。参阅图7所示,根据透视投影成像原理,物方点 $P(X, Y, Z)$ 、投影中心 S 和像点 p 三点是共线的,基于该共线特征可以建立共线方程,以实现物方点与像点的转换。但事实上由于各种干扰因素的存在,使得像点 p 在像平面上相对其理论位置存在偏差 (x, y) 。此时,共线方程要成立必须要顾及像点 p 的实际偏差值。对基于数字相机的摄影来说,干扰成像的因素主要有相机镜头的径向畸变 (K_1, K_2, K_3) 和偏心畸变 (P_1, P_2) 、像平面不平畸变 (b_1, b_2) 和像平面内比例及正交畸变,但如果采用的内方位元素 (x_0, y_0, f) 不准确,则从数学上来说也会干扰共线方程的成立。这些内部参数所引起的像点坐标误差成系统性,故称之为像点的系统误差。

[0080] 2、关于径向畸变误差。镜头径向畸变使像点沿径向产生偏差,径向畸变是对称的,对称中心与主点并不完全重合,但通常将主点视为对称中心。径向畸变有正有负,相对主点向外偏移为正,向内偏移为负。通常广角镜头 $(f < 50\text{mm})$ 多为负畸变,标准镜头 $(f = 50\text{mm})$ 有正有负,中焦 $(80\text{mm} < f < 150\text{mm})$ 和长焦 $(f > 150\text{mm})$ 镜头多为正畸变。而且标准镜头畸变最小,焦距越短(或越长)其畸变也越大。

[0081] 径向畸变误差 Δr 可用下述奇次多项式表示:

$$[0082] \quad \Delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 + \dots \quad (1)$$

[0083] 将其分解到像平面坐标系 oxy 的 x 轴和 y 轴上,则可得到高斯径向畸变表达式:

$$[0084] \quad \left. \begin{aligned} \Delta x_r &= K_1 \bar{x} r^2 + K_2 \bar{x} r^4 + K_3 \bar{x} r^6 + \dots \\ \Delta y_r &= K_1 \bar{y} r^2 + K_2 \bar{y} r^4 + K_3 \bar{y} r^6 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

[0085] 其中: K_1, K_2, K_3 表示径向畸变; Δx_r 和 Δy_r 分别表示由径向畸变导致的像点在 x 轴和 y 轴方向上的偏差量; $\bar{x} = (x - x_0)$, $\bar{y} = (y - y_0)$, $r^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2$ 。

[0086] 3、关于偏心畸变误差。透镜组中心偏离主光轴而产生偏心畸变,偏心畸变使像点既产生径向偏差又产生切向偏差,偏心畸变误差 $P(r)$ 的表达式如下:

$$[0087] \quad P(r) = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} \cdot r^2 \quad (3)$$

[0088] 将其分解到像平面坐标系 oxy 的 x 轴和 y 轴上,则有:

$$[0089] \quad \left. \begin{aligned} \Delta x_d &= P_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2P_2\bar{x} \cdot \bar{y} \\ \Delta y_d &= P_2(r^2 + 2\bar{y}^2) + 2P_1\bar{x} \cdot \bar{y} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

[0090] 其中： P_1, P_2 表示偏心畸变； Δx_d 和 Δy_d 分别表示由偏心畸变导致的像点在x轴和y轴方向上的偏差量。

[0091] 4、关于像平面畸变误差。由于像素的采样时钟不同步造成的A/D转换和信号转移误差则会引起像点在像平面内的平面畸变，通常可以简化成像素的长宽尺度比例因子和像平面x轴和y轴不正交所产生的畸变，其表达式如下：

$$[0092] \quad \left. \begin{aligned} \Delta x_m &= b_1\bar{x} + b_2\bar{y} \\ \Delta y_m &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

[0093] 其中： b_1, b_2 表示像平面畸变； Δx_m 和 Δy_m 分别表示由像平面畸变导致的像点在x轴和y轴方向上的偏差量。

[0094] 5、关于内方位元素误差。如果采用的内方位元素 (x_0, y_0, f) 不准确，则也会使像点坐标产生偏差，干扰共线方程的成立。如果主距有误差 Δf ，则相应的像点分别在x轴和y轴的偏差量 Δx_f 和 Δy_f 为：

$$[0095] \quad \left. \begin{aligned} \Delta x_f &= \frac{\bar{x}}{\bar{f}} \cdot \Delta f \\ \Delta y_f &= \frac{\bar{y}}{\bar{f}} \cdot \Delta f \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

[0096] 加上主点的误差 (x_0, y_0) ，则相应的像点分别在x轴和y轴的偏差量 Δx_n 和 Δy_n 为：

$$[0097] \quad \left. \begin{aligned} \Delta x_n &= -x_0 - \frac{\bar{x}}{\bar{f}} \cdot \Delta f \\ \Delta y_n &= -y_0 - \frac{\bar{y}}{\bar{f}} \cdot \Delta f \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

[0098] 综上所述，任一像点的系统性误差是径向畸变、偏心畸变、像平面畸变和内方位元素不准确引起的畸变的总和，这些内部参数所引起的像点坐标偏差称之为像点的系统误差，写成下式：

$$[0099] \quad \left. \begin{aligned} \Delta x' &= \Delta x_r + \Delta x_d + \Delta x_m + \Delta x_n \\ \Delta y' &= \Delta y_r + \Delta y_d + \Delta y_m + \Delta y_n \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

[0100] 在执行步骤S4时、将该系统误差引入该地面沉降监测区域完整图像的像坐标系与以控制点标志的实际位置确定的物方坐标系的转换关系中，得到修正后的转换关系，然后根据修正后的转换关系计算出各沉降点标志在该物方坐标系下的实际坐标。该转换关系通过共线方程来体现，修正后的共线方程表示如下：

$$\begin{aligned}
 [0101] \quad \left. \begin{aligned}
 x + \Delta x' &= -f \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)} \\
 y + \Delta y' &= -f \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)}
 \end{aligned} \right\} \quad (9)
 \end{aligned}$$

[0102] 其中： (x, y) 表示像点P在像平面的坐标值； (X, Y, Z) 表示对应的物方点P在物方坐标系的坐标值； (X_S, Y_S, Z_S) 而表示摄影中心S在辅助坐标系的坐标值； $(a_{1\sim 3}, b_{1\sim 3}, c_{1\sim 3})$ 为坐标系之间的转换参数。

[0103] 较佳地,对上述基于图像处理和计算得到的所有数据(包括测站位姿、标志点坐标、内方位元素和畸变参数等)进行整体光束法平差,可得到全局最优的测站位姿、标志点坐标、内参数和畸变参数。以进一步提高测量精度。

[0104] 本方法在盾构施工轴线上布设沉降监测专用定向反光靶标,通过无人机航线规划和飞行,工业相机在云台和闪光灯的配合下,拍摄到高对比度准二值图像,通过灰度质心算法对定向反光靶标的中心提取精度可达 $1/20 \sim 1/50$ 像素,对比传统倾斜摄影像素级的提取精度,可大幅提高测量精度;同时配合带有编码信息的定向反光标志,空中三角网解算速度和精度大幅提高,定位精度为亚毫米级,可实现全自动化图像处理、测站定向、标志匹配和平差计算;最终得到高精度的三维坐标数据,实现跟随盾构施工地表沉降监测。

[0105] 以上结合附图实施例对本发明进行了详细说明,本领域中普通技术人员可根据上述说明对本发明做出种种变化例。因而,实施例中的某些细节不应构成对本发明的限定,本发明将以所附权利要求书界定的范围作为本发明的保护范围。

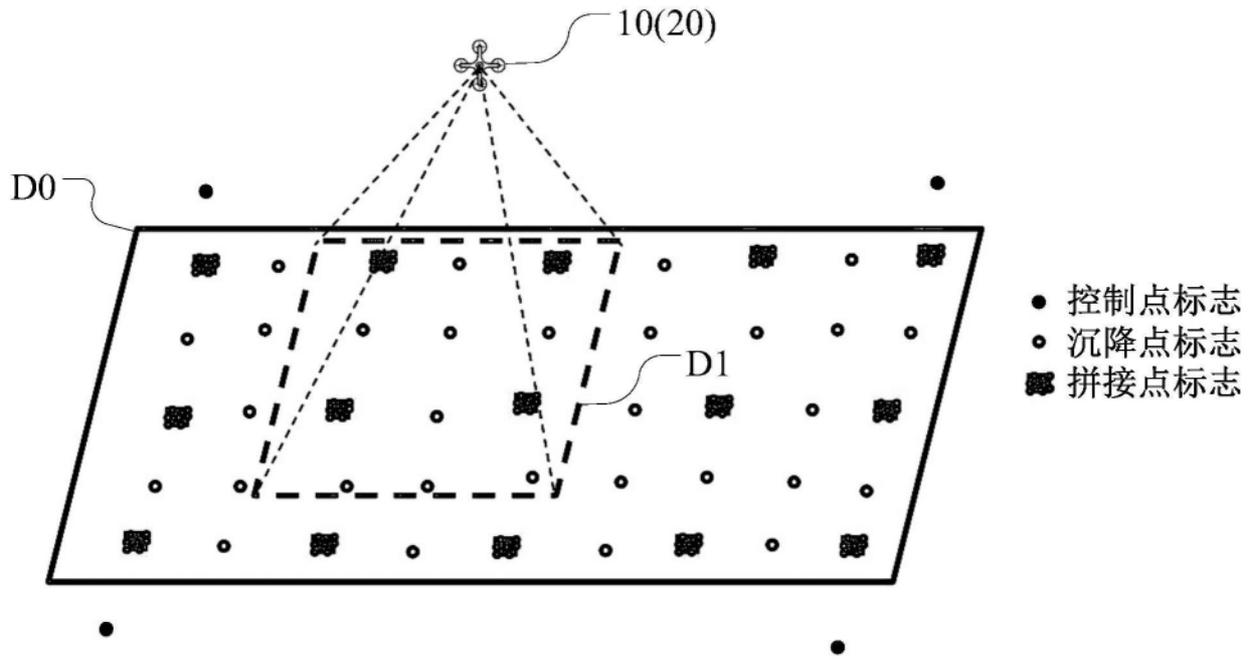


图1

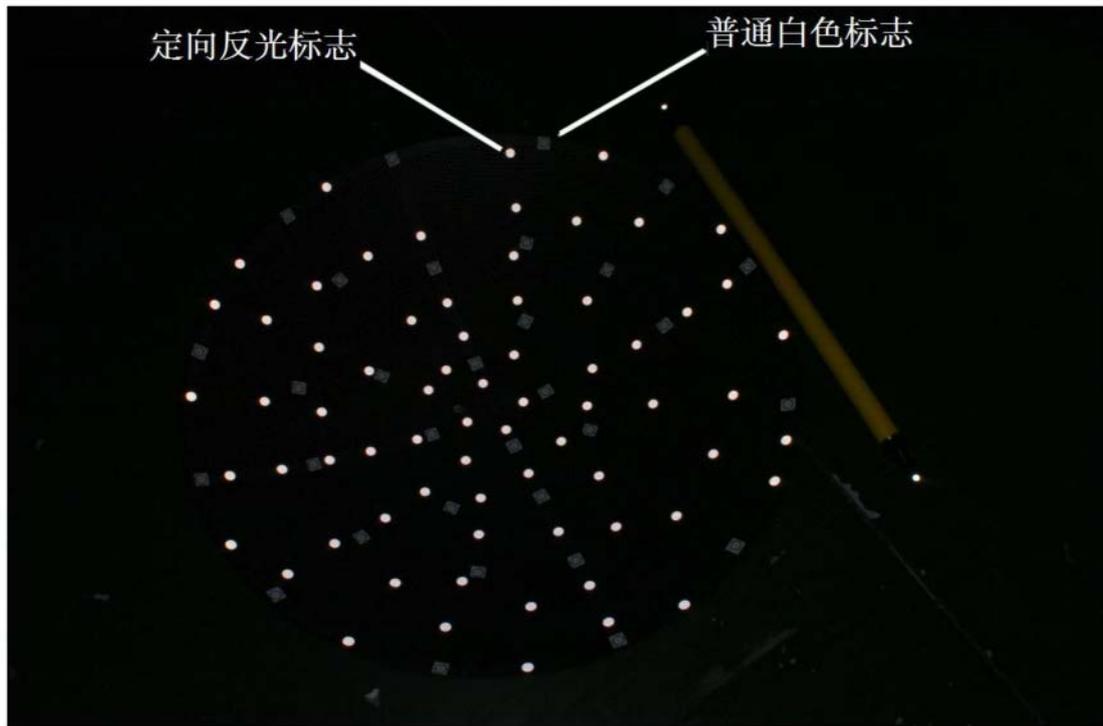


图2

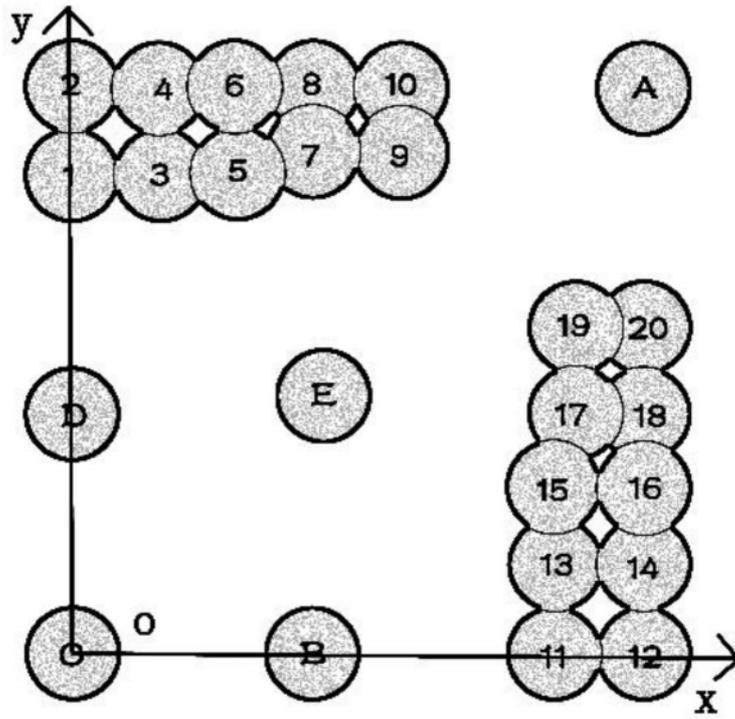


图3

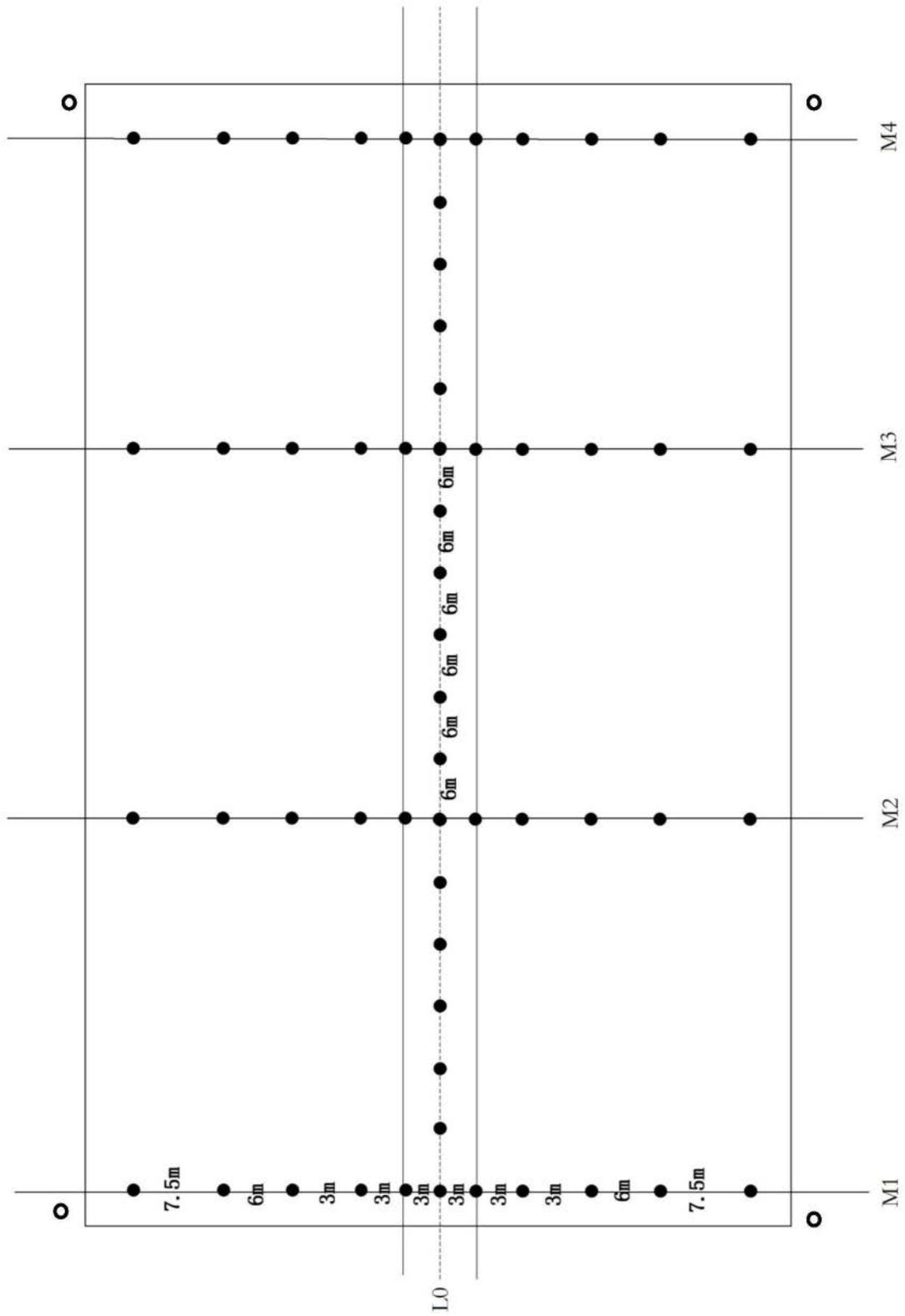
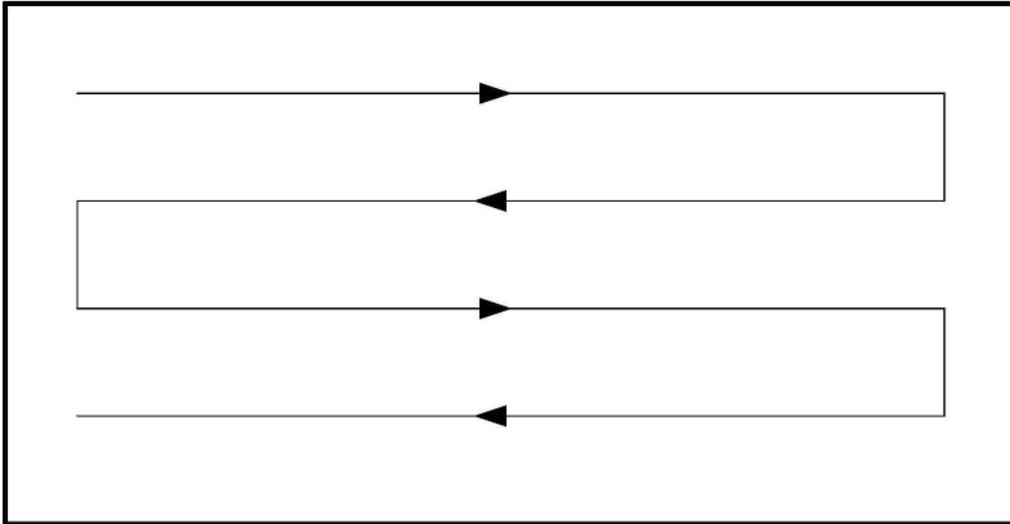


图4

航线A



航线B

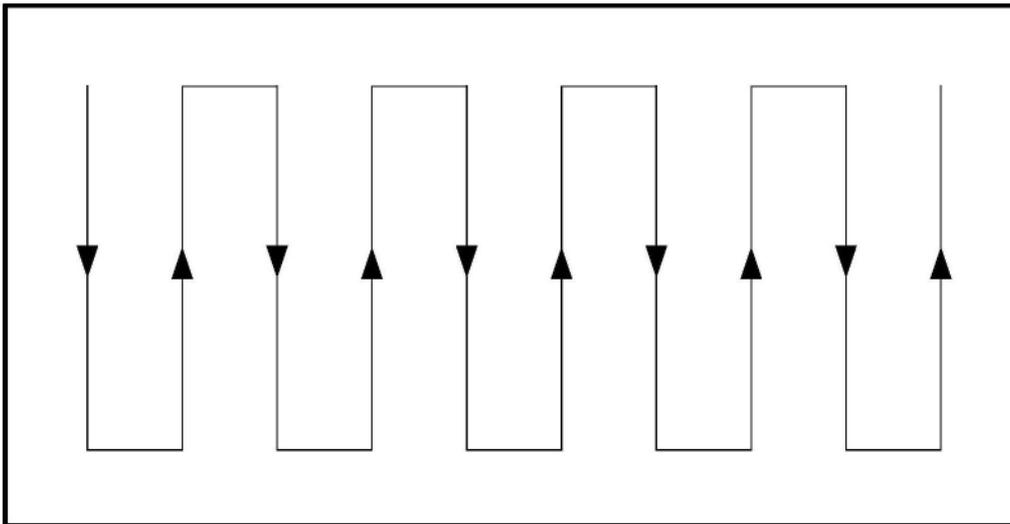


图5

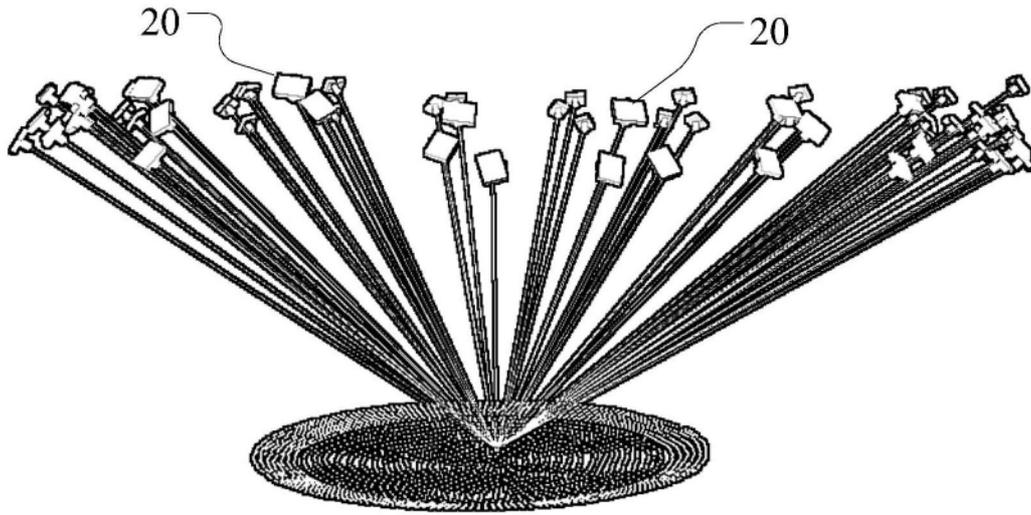


图6

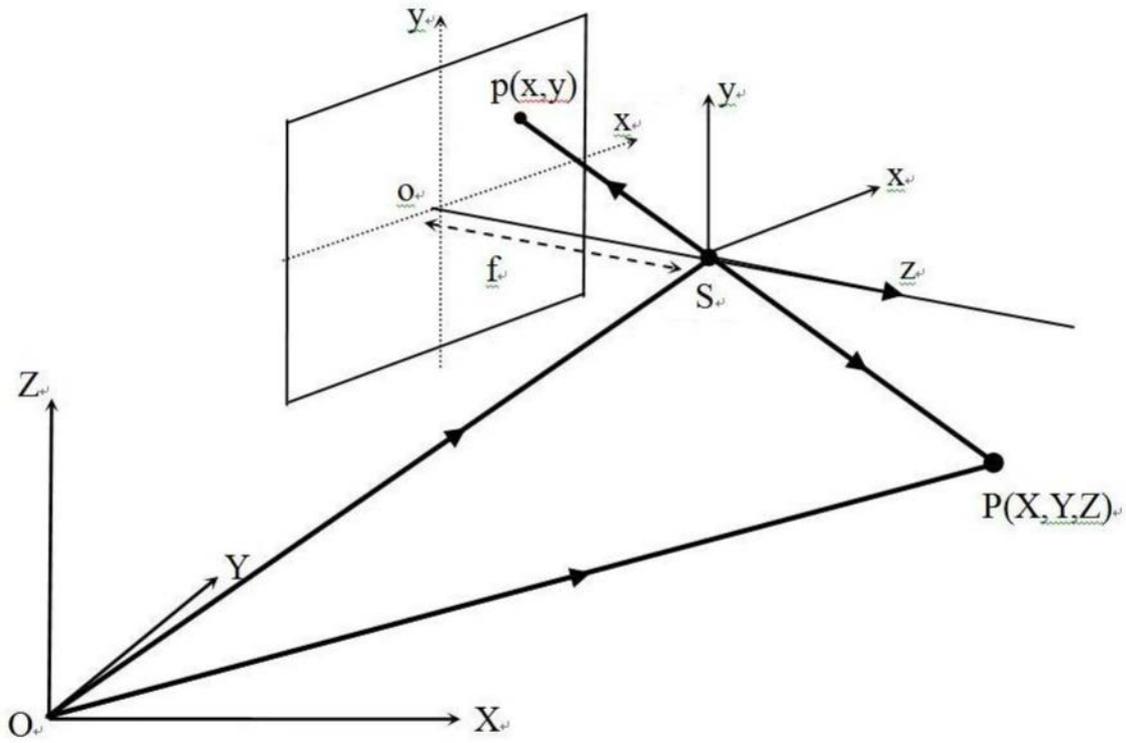


图7