



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118424295 A

(43) 申请公布日 2024. 08. 02

(21) 申请号 202410846012.X

G06T 7/13 (2017.01)

(22) 申请日 2024.06.27

(71) 申请人 深圳大学

地址 518061 广东省深圳市南山区粤海街
道南海大道3688号

(72) 发明人 谭毅 刘鑫 陈鹏禄 温子鸿
吴泽洲

(74) 专利代理机构 西安江风云影知识产权代理
事务所(普通合伙) 61319
专利代理师 闫家伟

(51) Int. Cl.

G01C 21/20 (2006.01)

G01C 11/04 (2006.01)

G06T 17/00 (2006.01)

G06T 7/33 (2017.01)

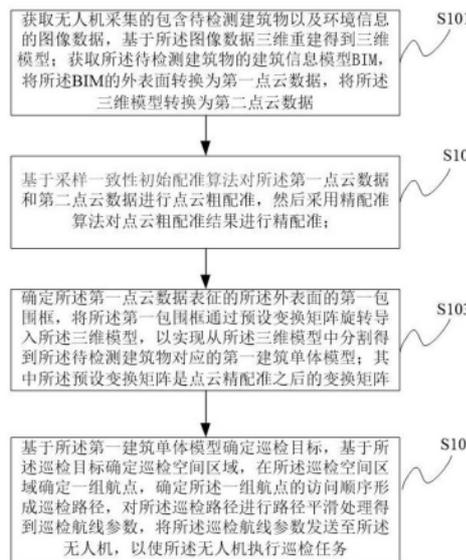
权利要求书3页 说明书13页 附图4页

(54) 发明名称

施工现场无人机智能巡检航线规划方法及系统

(57) 摘要

本公开涉及一种施工现场无人机智能巡检航线规划方法及系统。方法包括:获取无人机采集的包含待检测建筑物以及环境信息的图像数据,基于图像数据三维重建得到三维模型;将待检测建筑物的BIM的外表面转换为第一点云,将三维模型转换为第二点云;对第一点云和第二点云进行粗配准和精配准;确定BIM外表面的包围框,将包围框通过预设变换矩阵旋转导入三维模型,从其中分割到建筑物的建筑单体模型;基于建筑单体模型确定巡检目标,基于巡检目标确定巡检空间区域,在巡检空间区域确定一组航点,确定一组航点的访问顺序形成巡检路径,对巡检路径进行路径平滑处理得到巡检航线参数,将巡检航线参数发送至无人机,以使无人机执行巡检任务。



1. 一种施工现场无人机智能巡检航线规划方法,其特征在于,包括:

获取无人机采集的包含待检测建筑物以及环境信息的图像数据,基于所述图像数据三维重建得到三维模型;获取所述待检测建筑物的建筑信息模型BIM,将所述BIM的外表面转换为第一点云数据,将所述三维模型转换为第二点云数据;

基于采样一致性初始配准算法对所述第一点云数据和第二点云数据进行点云粗配准,然后采用精配准算法对点云粗配准结果进行精配准;

确定所述第一点云数据表征的所述外表面的第一包围框,将所述第一包围框通过预设变换矩阵旋转导入所述三维模型,以实现从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第一建筑单体模型;其中所述预设变换矩阵是点云精配准之后的变换矩阵;

基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,在所述巡检空间区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,对所述巡检路径进行路径平滑处理得到巡检航线参数,将所述巡检航线参数发送至所述无人机,以使所述无人机执行巡检任务。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,该方法还包括:

基于所述图像数据二维重建得到正射影像图,对所述正射影像图进行分割得到分割结果,所述分割结果至少包括所述待检测建筑物的二维图像;

将所述BIM的外表面投影至XY平面得到第一平面轮廓数据;基于所述第一平面轮廓数据和所述分割结果确定所述待检测建筑物的第二平面轮廓数据;

基于所述第二平面轮廓数据从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第二建筑单体模型;基于所述第二建筑单体模型和所述第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型;

将所述基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标的步骤中的所述第一建筑单体模型替换为所述最终建筑单体模型。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,该方法还包括:

获取所述待检测建筑物对应的数字表面模型DSM数据;

所述基于所述第一平面轮廓数据和所述分割结果确定所述待检测建筑物的第二平面轮廓数据,包括:

将所述DSM数据与所述分割结果进行配准得到第一配准结果;将所述第一平面轮廓数据与所述第一配准结果进行配准,得到配准后的第二平面轮廓数据;

所述基于所述第二平面轮廓数据从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第二建筑单体模型,包括:

将所述第二平面轮廓数据表征的平面轮廓投影至所述三维模型中,并将投影的平面轮廓在Z轴上进行给定阈值的生长得到三维的第二包围框,基于所述第二包围框实现从所述三维模型中分割得到所述第二建筑单体模型。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,该方法还包括:

将所述第一包围框和所述第二包围框配准融合,取所述第一包围框和所述第二包围框的并集,确定所述并集表征的模型范围符合预设要求时,将所述第二建筑单体模型和所述第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型;

或者,

获取所述BIM的单层外轮廓数据,所述单层外轮廓数据表示所述待检测建筑物的任意一个单楼层的外轮廓形状;

将所述单层外轮廓数据表征的平面轮廓投影至XY平面并按照预设比例缩放得到单层包围框,基于所述单层包围框对所述最终建筑单体模型分割得到各楼层的单层模型。

5.根据权利要求1~4任一项所述的方法,其特征在于,所述基于采样一致性初始配准算法对所述第一点云数据和第二点云数据进行粗配准,包括:

计算所述第一点云数据和第二点云数据的快速点特征直方图FPFH描述符,基于所述FPFH描述符对所述第一点云数据和第二点云数据之间的点云进行匹配;

从匹配的所有点云中随机选择至少三对匹配点云,基于所述至少三对匹配点云计算变换矩阵,重复该步骤直至误差值满足预设条件时,输出目标变换矩阵;

基于所述目标变换矩阵对所述第一点云数据和第二点云数据进行粗配准。

6.根据权利要求1~4任一项所述的方法,其特征在于,所述基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,包括:

接收输入的巡检参数,基于所述巡检参数从所述第一建筑单体模型中分割确定对应的巡检目标;其中,所述巡检参数包括巡检目标的标识信息,不同的巡检参数对应不同的巡检目标,所述巡检目标是所述第一建筑单体模型中的至少部分区域;

基于所述巡检目标的表面的法向量膨胀得到初始巡检空间区域,基于体素化的方式对所述初始巡检空间区域进行离散化处理,然后采用最远点采样的方法对离散化处理后的初始巡检空间区域进行下采样,从而得到巡检空间区域。

7.根据权利要求1~4任一项所述的方法,其特征在于,所述在所述巡检空间区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,包括:

通过贪心算法计算巡检所需的一组航点,确定各航点的可见范围以航点航向;

基于所述巡检目标的周围环境信息,采用A*算法寻找所述一组航点之间的飞行路径,进而得到所述一组航点的距离矩阵;其中所述周围环境信息至少包括障碍物位置信息;

根据所述距离矩阵采用模拟退火算法计算得到所述一组航点的访问顺序以形成巡检路径。

8.一种施工现场无人机智能巡检航线规划系统,其特征在于,包括:

数据处理模块,用于获取无人机采集的包含待检测建筑物以及环境信息的图像数据,基于所述图像数据三维重建得到三维模型;获取所述待检测建筑物的建筑信息模型BIM,将所述BIM的外表面转换为第一点云数据,将所述三维模型转换为第二点云数据;

点云配准模块,用于基于采样一致性初始配准算法对所述第一点云数据和第二点云数据进行点云粗配准,然后采用精配准算法对点云粗配准结果进行精配准;

模型分割模块,用于确定所述第一点云数据表征的所述外表面的第一包围框,将所述第一包围框通过预设变换矩阵旋转导入所述三维模型,以实现从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第一建筑单体模型;其中所述预设变换矩阵是点云精配准之后的变换矩阵;

巡检执行模块,用于基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,在所述巡检空间区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,对所述巡检路径进行路径平滑处理得到巡检航线参数,将所述巡检航线参数发

送至所述无人机,以使所述无人机执行巡检任务。

9.一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求1~7任一项所述施工现场无人机智能巡检航线规划方法。

10.一种电子设备,其特征在于,包括:

处理器;以及

存储器,用于存储计算机程序;

其中,所述处理器配置为经由执行所述计算机程序来执行权利要求1~7任一项所述施工现场无人机智能巡检航线规划方法。

施工现场无人机智能巡检航线规划方法及系统

技术领域

[0001] 本公开实施例涉及建筑施工智能巡检技术领域,尤其涉及一种施工现场无人机智能巡检航线规划方法及系统。

背景技术

[0002] 随着建筑行业的不断发展,对于施工与运维过程中的巡检要求也不断提升,在巡检的安全性,巡检效率以及自动化方面有着更高的要求。而目前传统的巡检方案主要基于人工巡检,或人工操作无人机等方式进行,劳动力消耗大,巡检效率低、安全问题突出等问题需要解决。

[0003] 相关技术中,基于无人机和建筑信息模型BIM技术可实现对建筑物的自动化巡检,其巡检效率高、安全问题少。但是在无人机的路径规划时,部分巡检区域航线规划粗略不精确,甚至存在遗漏巡查,导致无人机巡检的结果准确性降低。

发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题或者至少部分地解决上述技术问题,本公开实施例提供了一种施工现场无人机智能巡检航线规划方法及系统。

[0005] 第一方面,本公开实施例提供了一种施工现场无人机智能巡检航线规划方法,包括:

获取无人机采集的包含待检测建筑物以及环境信息的图像数据,基于所述图像数据三维重建得到三维模型;获取所述待检测建筑物的建筑信息模型BIM,将所述BIM的外表面转换为第一点云数据,将所述三维模型转换为第二点云数据;

基于采样一致性初始配准算法对所述第一点云数据和第二点云数据进行点云粗配准,然后采用精配准算法对点云粗配准结果进行精配准;

确定所述第一点云数据表征的所述外表面的第一包围框,将所述第一包围框通过预设变换矩阵旋转导入所述三维模型,以实现从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第一建筑单体模型;其中所述预设变换矩阵是点云精配准之后的变换矩阵;

基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,在所述巡检空间区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,对所述巡检路径进行路径平滑处理得到巡检航线参数,将所述巡检航线参数发送至所述无人机,以使所述无人机执行巡检任务。

[0006] 在一个实施例中,该方法还包括:

基于所述图像数据二维重建得到正射影像图,对所述正射影像图进行分割得到分割结果,所述分割结果至少包括所述待检测建筑物的二维图像;

将所述BIM的外表面投影至XY平面得到第一平面轮廓数据;基于所述第一平面轮廓数据和所述分割结果确定所述待检测建筑物的第二平面轮廓数据;

基于所述第二平面轮廓数据从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应

的第二建筑单体模型;基于所述第二建筑单体模型和所述第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型;

将所述基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标的步骤中的所述第一建筑单体模型替换为所述最终建筑单体模型。

[0007] 在一个实施例中,该方法还包括:

获取所述待检测建筑物对应的数字表面模型DSM数据;

所述基于所述第一平面轮廓数据和所述分割结果确定所述待检测建筑物的第二平面轮廓数据,包括:

将所述DSM数据与所述分割结果进行配准得到第一配准结果;将所述第一平面轮廓数据与所述第一配准结果进行配准,得到配准后的第二平面轮廓数据;

所述基于所述第二平面轮廓数据从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第二建筑单体模型,包括:

将所述第二平面轮廓数据表征的平面轮廓投影至所述三维模型中,并将投影的平面轮廓在Z轴上进行给定阈值的生长得到三维的第二包围框,基于所述第二包围框实现从所述三维模型中分割得到所述第二建筑单体模型。

[0008] 在一个实施例中,该方法还包括:

将所述第一包围框和所述第二包围框配准融合,取所述第一包围框和所述第二包围框的并集,确定所述并集表征的模型范围符合预设要求时,将所述第二建筑单体模型和所述第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型;

或者,

获取所述BIM的单层外轮廓数据,所述单层外轮廓数据表示所述待检测建筑物的任意一个单楼层的外轮廓形状;

将所述单层外轮廓数据表征的平面轮廓投影至XY平面并按照预设比例缩放得到单层包围框,基于所述单层包围框对所述最终建筑单体模型分割得到各楼层的单层模型。

[0009] 在一个实施例中,所述基于采样一致性初始配准算法对所述第一点云数据和第二点云数据进行粗配准,包括:

计算所述第一点云数据和第二点云数据的快速点特征直方图FPFH描述符,基于所述FPFH描述符对所述第一点云数据和第二点云数据之间的点云进行匹配;

从匹配的所有点云中随机选择至少三对匹配点云,基于所述至少三对匹配点云计算变换矩阵,重复该步骤直至误差值满足预设条件时,输出目标变换矩阵;

基于所述目标变换矩阵对所述第一点云数据和第二点云数据进行粗配准。

[0010] 在一个实施例中,所述基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,包括:

接收输入的巡检参数,基于所述巡检参数从所述第一建筑单体模型中分割确定对应的巡检目标;其中,所述巡检参数包括巡检目标的标识信息,不同的巡检参数对应不同的巡检目标,所述巡检目标是所述第一建筑单体模型中的至少部分区域;

基于所述巡检目标的表面的法向量膨胀得到初始巡检空间区域,基于体素化的方式对所述初始巡检空间区域进行离散化处理,然后采用最远点采样的方法对离散化处理后的初始巡检空间区域进行下采样,从而得到巡检空间区域。

[0011] 在一个实施例中,所述在所述巡检空间区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,包括:

通过贪心算法计算巡检所需的一组航点,确定各航点的可见范围以航点航向;

基于所述巡检目标的周围环境信息,采用A*算法寻找所述一组航点之间的飞行路径,进而得到所述一组航点的距离矩阵;其中所述周围环境信息至少包括障碍物位置信息;

根据所述距离矩阵采用模拟退火算法计算得到所述一组航点的访问顺序以形成巡检路径。

[0012] 第二方面,本公开实施例提供一种施工现场无人机智能巡检航线规划系统,包括:

数据处理模块,用于获取无人机采集的包含待检测建筑物以及环境信息的图像数据,基于所述图像数据三维重建得到三维模型;获取所述待检测建筑物的建筑信息模型BIM,将所述BIM的外表面转换为第一点云数据,将所述三维模型转换为第二点云数据;

点云配准模块,用于基于采样一致性初始配准算法对所述第一点云数据和第二点云数据进行点云粗配准,然后采用精配准算法对点云粗配准结果进行精配准;

模型分割模块,用于确定所述第一点云数据表征的所述外表面的第一包围框,将所述第一包围框通过预设变换矩阵旋转导入所述三维模型,以实现从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第一建筑单体模型;其中所述预设变换矩阵是点云精配准之后的变换矩阵;

巡检执行模块,用于基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,在所述巡检空间区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,对所述巡检路径进行路径平滑处理得到巡检航线参数,将所述巡检航线参数发送至所述无人机,以使所述无人机执行巡检任务。

[0013] 第三方面,本公开实施例提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现上述任一实施例所述施工现场无人机智能巡检航线规划方法。

[0014] 第四方面,本公开实施例提供一种电子设备,包括:

处理器;以及

存储器,用于存储计算机程序;

其中,所述处理器配置为经由执行所述计算机程序来执行上述任一实施例所述施工现场无人机智能巡检航线规划方法。

[0015] 本公开实施例提供的技术方案与现有技术相比具有如下优点:

本公开实施例提供的施工现场无人机智能巡检航线规划方法及系统,获取无人机采集的包含待检测建筑物以及环境信息的图像数据,基于所述图像数据三维重建得到三维模型;获取所述待检测建筑物的建筑信息模型BIM,将所述BIM的外表面转换为第一点云数据,将所述三维模型转换为第二点云数据;基于采样一致性初始配准算法对所述第一点云数据和第二点云数据进行点云粗配准,然后采用精配准算法对点云粗配准结果进行精配准;确定所述第一点云数据表征的所述外表面的第一包围框,将所述第一包围框通过预设变换矩阵旋转导入所述三维模型,以实现从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第一建筑单体模型;其中所述预设变换矩阵是点云精配准之后的变换矩阵;基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,在所述巡检空间

区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,对所述巡检路径进行路径平滑处理得到巡检航线参数,将所述巡检航线参数发送至所述无人机,以使所述无人机执行巡检任务。这样,本实施例的方案在路径规划时不仅考虑单一BIM信息,同时考虑基于无人机航拍采集的环境图像三维重建得到的三维模型信息,且在点云配准时采用采样一致性初始配准算法粗配准然后结合精配准,使得点云配准结果更精确,从而使得基于BIM外表面即外轮廓的包围框分割的建筑单体模型更准确,据此分割巡检目标并确定规划路径,可以使得巡检区域航线规划更加精确,因此本实施例的方案基于BIM-三维重建分割的方式可以实现精细化的无人机巡检航线规划,从而提高无人机巡检结果的准确性。

附图说明

[0016] 此处的附图被并入说明书中并构成本说明书的一部分,示出了符合本公开的实施例,并与说明书一起用于解释本公开的原理。

[0017] 为了更清楚地说明本公开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,对于本领域普通技术人员而言,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0018] 图1为本公开实施例施工现场无人机智能巡检航线规划方法流程图;
图2为本公开另一实施例施工现场无人机智能巡检航线规划方法流程图;
图3为本公开实施例巡检路径规划处理流程图;
图4为本公开实施例施工现场无人机智能巡检航线规划系统示意图;
图5为本公开实施例的电子设备示意图。

具体实施方式

[0019] 为了能够更清楚地理解本公开的上述目的、特征和优点,下面将对本公开的方案进行进一步描述。需要说明的是,在不冲突的情况下,本公开的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0020] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本公开,但本公开还可以采用其他不同于在此描述的方式来实施;显然,说明书中的实施例只是本公开的一部分实施例,而不是全部的实施例。

[0021] 应当理解,在下文中,“至少一个(项)”是指一个或者多个,“多个”是指两个或两个以上。“和/或”用于描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,“A和/或B”可以表示:只存在A,只存在B以及同时存在A和B三种情况,其中A,B可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项(个)”或其类似表达,是指这些项中的任意组合,包括单项(个)或复数项(个)的任意组合。例如,a,b或c中的至少一项(个),可以表示:a,b,c,“a和b”,“a和c”,“b和c”,或“a和b和c”,其中a,b,c可以是单个,也可以是多个。

[0022] 图1为本公开实施例的一种施工现场无人机智能巡检航线规划方法流程图,该施工现场无人机智能巡检航线规划方法可由计算设备执行,具体可以包括以下步骤:

步骤S101:获取无人机采集的包含待检测建筑物以及环境信息的图像数据,基于所述图像数据三维重建得到三维模型;获取所述待检测建筑物的建筑信息模型BIM,将所述

BIM的外表面转换为第一点云数据,将所述三维模型转换为第二点云数据。

[0023] 示例性的,可以在固定高度设置一条固定航线,无人机沿着该固定航线飞行快速获取环境信息如包含待检测建筑物以及环境信息的图像数据,基于无人机采集的多个图像完成三维重建与二维重建,得到三维模型与正射影像图,关于正射影像图请参考下文具体描述。其中,三维模型可以是mesh网格模型。另外,获取施工现场的建筑物或施工对象的BIM模型,提取BIM模型外壳,将BIM模型外壳转换为第一点云数据即源点云数据,将重建的三维模型转换为第二点云数据即目标点云数据。待检测建筑物可以是已经建成投用的建筑物如大楼,也可以是正在施工建设中的建筑物,对此不作限制。

[0024] 步骤S102:基于采样一致性初始配准算法(SAC_IA算法)对所述第一点云数据和第二点云数据进行点云粗配准,然后采用精配准算法对点云粗配准结果进行精配准。

[0025] 示例性的,SAC_IA算法可以提高配准的精度和鲁棒性。精配准算法可以是但不限于ICP(Iterative Closest Point)算法,采用ICP算法对点云数据进行精配准,其通过反复调整变换来最小化源点云和目标点云中最近点之间的距离,直到满足点对之间的平均距离小于设定的阈值时结束。

[0026] 步骤S103:确定所述第一点云数据表征的所述外表面的第一包围框,将所述第一包围框通过预设变换矩阵旋转导入所述三维模型,以实现从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第一建筑单体模型;其中所述预设变换矩阵是点云精配准之后的变换矩阵。

[0027] 示例性的,第一包围框即基于BIM模型提取的外轮廓包围框,将该包围框通过点云配准最后得到的变换矩阵即预设变换矩阵进行旋转,将旋转的包围框导入三维模型中,判断三维模型的三角面片是否有例如50%以上的部分在该包围框内,若是则该三角面片为单体建筑物或施工区域的建筑物的面片,重复这个判断过程,直到三维模型的所有三角面片循环完成。如此可以将属于该包围框内的三维模型的部分分割出来得到待检测建筑物对应的第一建筑单体模型。

[0028] 步骤S104:基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,在所述巡检空间区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,对所述巡检路径进行路径平滑处理得到巡检航线参数,将所述巡检航线参数发送至所述无人机,以使所述无人机执行巡检任务。

[0029] 示例性的,巡检目标可以是待检测建筑物的某个部分如前面、背面、侧面,或者是某一个或多个楼层。通过建立的第一建筑单体模型可以准确分割确定巡检目标,然后确定巡检空间区域即无人机巡检飞行区域,在该巡检空间区域确定一组航点即无人机巡检时悬停采集数据的巡检点,之后确定一组航点的访问顺序即可形成巡检路径,对巡检路径进行路径平滑处理得到巡检航线参数,导出巡检航线参数至无人机,无人机即可基于巡检航线参数执行巡检任务,例如采集建筑物数据如图像回传以便于维修检测或者质量监督等。

[0030] 本实施例的上述方案在路径规划时不仅考虑单一BIM信息,同时考虑基于无人机航拍采集的环境图像三维重建得到的三维模型信息,且在点云配准时采用采样一致性初始配准算法粗配准然后结合精配准,使得点云配准结果更精确,从而使得基于BIM外表面即外轮廓的包围框分割的建筑单体模型更准确,据此分割巡检目标并确定规划路径,可以使得巡检区域航线规划更加精确,因此本实施例的方案基于BIM-三维重建分割的方式可以实现

精细化的无人机巡检航线规划,从而提高无人机巡检结果的准确性。另外,第一点云即BIM点云采用外表面点云而不是整体点云,减少处理的数据量,整体上可以提高无人机巡检路径规划的效率。

[0031] 在上述实施例的基础上,结合参考图2所示,于一个实施例中,该方法还可包括以下步骤:

步骤S201:基于所述图像数据二维重建得到正射影像图,对所述正射影像图进行分割得到分割结果,所述分割结果至少包括所述待检测建筑物的二维图像。

[0032] 示例性的,可以采用预先训练的UNet网络对二维重建产生的正射影像图进行准确分割,实现建筑物或施工场景的准确分割,得到待检测建筑物的二维图像。

[0033] 步骤S202:将所述BIM的外表面投影至XY平面得到第一平面轮廓数据;基于所述第一平面轮廓数据和所述分割结果确定所述待检测建筑物的第二平面轮廓数据。

[0034] 示例性的,将BIM模型的外表面即外轮廓投影至XY平面得到第一平面轮廓数据,基于分割结果中的待检测建筑物的二维图像可确定建筑物边界轮廓数据,融合第一平面轮廓数据和该建筑物边界轮廓数据可以得到更加准确的第二平面轮廓数据。

[0035] 步骤S203:基于所述第二平面轮廓数据从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第二建筑单体模型;基于所述第二建筑单体模型和所述第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型。

[0036] 确定第二平面轮廓数据之后,即可从重建的三维模型中分割得到待检测建筑物对应的第二建筑单体模型。例如将第二平面轮廓数据表示的平面轮廓移动至三维模型的底面,沿着高度方向移动一定高度得到棱柱体,该棱柱体与三维模型布尔相交运算,提取相交部分即为第二建筑单体模型。当然分割方法并不限于此。

[0037] 相应的,步骤S104中将所述基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标的步骤中的所述第一建筑单体模型可以替换为所述最终建筑单体模型。之后可以执行步骤S104中的剩余步骤。

[0038] 本实施例中,基于二维重建的正射影像图以及BIM模型进行分割得到准确的建筑单体模型,并与基于三维重建分割得到的建筑单体模型合并得到更加准确的最终建筑单体模型,据此实现巡检目标的确定并规划无人机的巡检路径,这样可以使得巡检区域航线规划进一步精确,因此本实施例的方案基于二维重建分割与三维重建分割相结合的三维模型的单体化的方式可以实现更加精细化的无人机巡检航线规划,从而进一步提高无人机巡检结果的准确性。

[0039] 在一个实施例中,该方法还可以包括:获取所述待检测建筑物对应的数字表面模型DSM(Digital Surface Model)数据。具体的,DSM数据可以是地物表面的模拟,包括植被表面、建筑房屋的表面,具有高程信息。该DSM数据可以视为建筑物的俯视深度图。

[0040] 步骤S202中基于所述第一平面轮廓数据和所述分割结果确定所述待检测建筑物的第二平面轮廓数据,具体可以包括:将所述DSM数据与所述分割结果进行配准得到第一配准结果;将所述第一平面轮廓数据与所述第一配准结果进行配准,得到配准后的第二平面轮廓数据。

[0041] 示例性的,基于DSM数据标识的建筑数据,可以采用SURF(Speeded Up Robust Features)算法将二维分割结果即待检测建筑物的二维图像与DSM数据进行配准得到第一

配准结果,输出配准矩阵。之后以BIM模型投影至XY平面的BIM外轮廓为基准,将第一平面轮廓数据表征的第一平面轮廓与第一次配准结果进行二次配准,输出配准后的轮廓数据即第二平面轮廓数据。

[0042] 相应的,步骤S203中基于所述第二平面轮廓数据从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第二建筑单体模型,具体可以包括:将所述第二平面轮廓数据表征的平面轮廓投影至所述三维模型中,并将投影的平面轮廓在Z轴上进行给定阈值的生长得到三维的第二包围框,基于所述第二包围框实现从所述三维模型中分割得到所述第二建筑单体模型。

[0043] 示例性的,将第二平面轮廓数据表征的二维平面轮廓投影至三维模型中,将二维平面轮廓在Z轴上进行一个给定阈值的生长,得到三维的包围框,基于该包围框对三维模型的所有面片进行判定,判断三维模型的三角面片是否有例如50%以上的部分在该包围框内,若是则该三角面片为单体建筑物或施工区域的建筑物的面片,重复这个判断过程,直到三维模型的所有三角面片循环完成。如此可以将属于该包围框内的三维模型的部分分割出来得到待检测建筑物对应的第二建筑单体模型。之后可基于第二建筑单体模型和第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型。

[0044] 本实施例中,进一步结合建筑的DSM数据进行与BIM-二维重建分割结果再次配准分割得到准确的第二建筑单体模型,然后与BIM-三维重建分割的第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型,据此实现巡检目标的确定并规划无人机的巡检路径,这样可以使得巡检区域航线规划更进一步精确,因此本实施例的方案可以实现更进一步的精细化的无人机巡检航线规划,从而更进一步提高无人机巡检结果的准确性。

[0045] 在上述实施例的基础上,于一个实施例中,该方法还可以包括:将所述第一包围框和所述第二包围框配准融合,取所述第一包围框和所述第二包围框的并集,确定所述并集表征的模型范围符合预设要求时,将所述第二建筑单体模型和所述第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型。

[0046] 本实施例中实现对二维与三维重建分割结果的融合匹配。具体的,将第一包围框与第二包围框进行融合,对两个包围框进行配准融合,取两个包围框的并集,判定两个包围框的并集范围或对应的三角面片数量误差不满足要求,则判定分割无效,重新进行二维分割与三维分割两个步骤,误差满足要求的情况下,将两模型即第二建筑单体模型和第一建筑单体模型进行合并,得到最后的最终建筑单体模型。本示例的方案可以使得合并的最终建筑单体模型更准确,据此实现巡检目标的确定并规划无人机的巡检路径,这样可以使得巡检区域航线规划更进一步精确,因此本实施例的方案可以实现更进一步的精细化的无人机巡检航线规划,从而更进一步提高无人机巡检结果的准确性。

[0047] 在一个实施例中,该方法还可包括:获取所述BIM的单层外轮廓数据,所述单层外轮廓数据表示所述待检测建筑物的任意一个单楼层的外轮廓形状;将所述单层外轮廓数据表征的平面轮廓投影至XY平面并按照预设比例缩放得到单层包围框,基于所述单层包围框对所述最终建筑单体模型分割得到各楼层的单层模型。

[0048] 示例性的,本实施例中可以实现分割结果即最终建筑单体模型的单层匹配。具体的,基于BIM模型提取BIM点云的分层包围框即单层包围框,例如将BIM模型的单层外轮廓投影在XY平面上进行适当比例缩放,得到分层包围框,基于分层包围框对最终建筑单体模型

的三角面片进行循环判断,若三角面片50%的部分在分层包围框内,则该三角面片属于该分层包围框对应的楼层。这样可实现最终建筑单体模型的楼层单体化,得到单层模型。还可将分层包围框上下底面进行实体化,与分层模型即单层模型进行交叉检测,在分层模型内的面进行保存,优化单层模型的可视化。通过单层匹配处理后,下文基于巡检参数确定巡检目标时,可以快速地确定巡检目标,进而提高巡检路径规划的效率。同时该分层后的各单层模型作为最终建筑单体模型的一部分,使得该最终建筑单体模型更加精细化,如细化到楼层,据此实现巡检目标的确定并规划无人机的巡检路径时,使得巡检区域航线规划更进一步精确,因此本实施例的方案可以实现更进一步的精细化的无人机巡检航线规划,从而更进一步提高无人机巡检结果的准确性。

[0049] 在上述任意一个实施例的基础上,于一个实施例中,步骤S102中基于采样一致性初始配准算法对所述第一点云数据和第二点云数据进行粗配准,具体可包括:计算所述第一点云数据和第二点云数据的快速点特征直方图FPFH(Fast Persistent Feature Histograms)描述符,基于所述FPFH描述符对所述第一点云数据和第二点云数据之间的点云进行匹配;从匹配的所有点云中随机选择至少三对匹配点云,基于所述至少三对匹配点云计算变换矩阵,重复该步骤直至误差值满足预设条件时,输出目标变换矩阵;基于所述目标变换矩阵对所述第一点云数据和第二点云数据进行粗配准。

[0050] 示例性的,采用SAC_IA方法实现点云数据粗配准,计算源点云(BIM的第一点云)与目标点云(三维重建模型的第二点云)的快速点特征直方图(FPFH)特征描述子即描述符,FPFH描述符捕捉局部几何信息,提供点云特征的稳健表示,通过FPFH描述符可建立源点云与目标点云之间的对应关系,基于FPFH对源点云和目标点云之间的点进行匹配,然后随机选择 $x(x \geq 3)$ 对匹配点,基于匹配点计算源点云与目标点云之间的变换矩阵,重复上述过程,直到误差值如点对之间的误差满足预设条件如误差值小于或等于预设阈值,此时输出变换矩阵即目标变换矩阵,据此实现源点云到目标点云的刚性变换,也即实现粗配准。这样,随机采样尽量选择那些与其它点对一致的点对,减少误差,且选择误差最小的变换矩阵实现配准,提高了配准的精度和鲁棒性,进而使得无人机的航线规划更精细,提高了无人机巡检结果的准确性。

[0051] 在上述任意一个实施例的基础上,于一个实施例中,所述基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,具体可包括:

接收输入的巡检参数,基于所述巡检参数从所述第一建筑单体模型中分割确定对应的巡检目标;其中,所述巡检参数包括巡检目标的标识信息,不同的巡检参数对应不同的巡检目标,所述巡检目标是所述第一建筑单体模型中的至少部分区域;

基于所述巡检目标的表面的法向量膨胀得到初始巡检空间区域,基于体素化的方式对所述初始巡检空间区域进行离散化处理,然后采用最远点采样的方法对离散化处理后的初始巡检空间区域进行下采样,从而得到巡检空间区域。

[0052] 作为示例,参考图3中所示,根据输入的根据输入参数,如基坑,理工楼,A-1栋建筑3-10层区域等标识参数,自动分割出对应不同的巡检目标,也即提取巡检范围。另外,可以基于巡检目标的包围框扩大分割出其周围环境信息。基于巡检目标的mesh模型表面的法向量膨胀得到巡检无人机的初始巡检空间区域即基于空间膨胀的视点空间,基于体素化的方式对初始巡检空间区域进行离散化处理,然后采用最远点采样的方法对初始巡检空间区域

再次下采样,得到巡检空间区域。这样可以减少数据量,提高无人机的路径规划的效率,同时保持规划路径的精确性。该方案中可以更精细化的从整个的建筑单体模型或多个分层模型中分割确定对应的局部的巡检目标,据巡检参数自动提取巡检范围,针对该巡检目标进行巡检路径规划,从而可实现更加精细化的路径规划,使得无人机的航线规划更精细,提高了无人机巡检结果的准确性。

[0053] 在上述任意一个实施例的基础上,于一个实施例中,所述在所述巡检空间区域确定一组航点(亦称视点),确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,具体可包括:通过贪心算法计算巡检所需的一组航点,确定各航点的可见范围及航点航向;基于所述巡检目标的周围环境信息,采用A*算法寻找所述一组航点之间的飞行路径,进而得到所述一组航点的距离矩阵;其中所述周围环境信息至少包括障碍物位置信息;根据所述距离矩阵采用模拟退火算法计算得到所述一组航点的访问顺序以形成巡检路径。

[0054] 示例性的,可以采用光线投射的方式计算航点的可见范围,并采用以模型的三角面片面积为势场强度的改进人工势场法(Artificial Potential Field)确定无人机航点航向,确定航向后计算航点的实际可见性。通过贪心算法计算巡检所需的航点。基于提取的环境信息,采用A*算法寻找航点之间的飞行路径,计算航点的距离矩阵,距离矩阵是一个包含一组航点两两之间距离的矩阵。根据航点的距离矩阵采用模拟退火算法计算巡检点即航点访问顺序,得到巡检路径。基于得到的巡检路径还可以采用例如三次贝塞尔曲线进行路径平滑,得到最终巡检航线参数。最后可以导出巡检航线参数至无人机,执行巡检任务。

[0055] 需要说明的是,尽管在附图中以特定顺序描述了本公开中方法的各个步骤,但是,这并非要求或者暗示必须按照该特定顺序来执行这些步骤,或是必须执行全部所示的步骤才能实现期望的结果。附加的或备选的,可以省略某些步骤,将多个步骤合并为一个步骤执行,以及/或者将一个步骤分解为多个步骤执行等。另外,也易于理解的是,这些步骤可以是例如在多个模块/进程/线程中同步或异步执行。

[0056] 如图4所示,本公开实施例提供一种施工现场无人机智能巡检航线规划系统,包括:

数据处理模块401,用于获取无人机采集的包含待检测建筑物以及环境信息的图像数据,基于所述图像数据三维重建得到三维模型;获取所述待检测建筑物的建筑信息模型BIM,将所述BIM的外表面转换为第一点云数据,将所述三维模型转换为第二点云数据;

点云配准模块402,用于基于采样一致性初始配准算法对所述第一点云数据和第二点云数据进行点云粗配准,然后采用精配准算法对点云粗配准结果进行精配准;

模型分割模块403,用于确定所述第一点云数据表征的所述外表面的第一包围框,将所述第一包围框通过预设变换矩阵旋转导入所述三维模型,以实现从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第一建筑单体模型;其中所述预设变换矩阵是点云精配准之后的变换矩阵;

巡检执行模块404,用于基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,在所述巡检空间区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,对所述巡检路径进行路径平滑处理得到巡检航线参数,将所述巡检航线参数发送至所述无人机,以使所述无人机执行巡检任务。

[0057] 在一个实施例中,该系统还可包括二维分割模块,用于:

基于所述图像数据二维重建得到正射影像图,对所述正射影像图进行分割得到分割结果,所述分割结果至少包括所述待检测建筑物的二维图像;

将所述BIM的外表面投影至XY平面得到第一平面轮廓数据;基于所述第一平面轮廓数据和所述分割结果确定所述待检测建筑物的第二平面轮廓数据;

基于所述第二平面轮廓数据从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第二建筑单体模型;基于所述第二建筑单体模型和所述第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型;

巡检执行模块,还可用于执行所述基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标的步骤时,将所述第一建筑单体模型替换为所述最终建筑单体模型。

[0058] 在一个实施例中,该系统还可包括数据获取模块,用于:获取所述待检测建筑物对应的数字表面模型DSM数据;

所述二维分割模块基于所述第一平面轮廓数据和所述分割结果确定所述待检测建筑物的第二平面轮廓数据,具体包括:

将所述DSM数据与所述分割结果进行配准得到第一配准结果;将所述第一平面轮廓数据与所述第一配准结果进行配准,得到配准后的第二平面轮廓数据;

所述二维分割模块基于所述第二平面轮廓数据从所述三维模型中分割得到所述待检测建筑物对应的第二建筑单体模型,具体包括:

将所述第二平面轮廓数据表征的平面轮廓投影至所述三维模型中,并将投影的平面轮廓在Z轴上进行给定阈值的生长得到三维的第二包围框,基于所述第二包围框实现从所述三维模型中分割得到所述第二建筑单体模型。

[0059] 在一个实施例中,该系统还可包括分割融合模块,用于:

将所述第一包围框和所述第二包围框配准融合,取所述第一包围框和所述第二包围框的并集,确定所述并集表征的模型范围符合预设要求时,将所述第二建筑单体模型和所述第一建筑单体模型合并得到最终建筑单体模型。

[0060] 在一个实施例中,该系统还可包括单层分割模块,用于:

获取所述BIM的单层外轮廓数据,所述单层外轮廓数据表示所述待检测建筑物的任意一个单楼层的外轮廓形状;

将所述单层外轮廓数据表征的平面轮廓投影至XY平面并按照预设比例缩放得到单层包围框,基于所述单层包围框对所述最终建筑单体模型分割得到各楼层的单层模型。

[0061] 在一个实施例中,所述点云配准模块,具体用于:

计算所述第一点云数据和第二点云数据的快速点特征直方图FPFH描述符,基于所述FPFH描述符对所述第一点云数据和第二点云数据之间的点云进行匹配;

从匹配的所有点云中随机选择至少三对匹配点云,基于所述至少三对匹配点云计算变换矩阵,重复该步骤直至误差值满足预设条件时,输出目标变换矩阵;

基于所述目标变换矩阵对所述第一点云数据和第二点云数据进行粗配准。

[0062] 在一个实施例中,所述巡检执行模块基于所述第一建筑单体模型确定巡检目标,基于所述巡检目标确定巡检空间区域,具体包括:

接收输入的巡检参数,基于所述巡检参数从所述第一建筑单体模型中分割确定对应的巡检目标;其中,所述巡检参数包括巡检目标的标识信息,不同的巡检参数对应不同的

巡检目标,所述巡检目标是所述第一建筑单体模型中的至少部分区域;

基于所述巡检目标的表面的法向量膨胀得到初始巡检空间区域,基于体素化的方式对所述初始巡检空间区域进行离散化处理,然后采用最远点采样的方法对离散化处理后的初始巡检空间区域进行下采样,从而得到巡检空间区域。

[0063] 在一个实施例中,所述巡检执行模块在所述巡检空间区域确定一组航点,确定所述一组航点的访问顺序形成巡检路径,具体包括:

通过贪心算法计算巡检所需的一组航点,确定各航点的可见范围以航点航向;

基于所述巡检目标的周围环境信息,采用A*算法寻找所述一组航点之间的飞行路径,进而得到所述一组航点的距离矩阵;其中所述周围环境信息至少包括障碍物位置信息;

根据所述距离矩阵采用模拟退火算法计算得到所述一组航点的访问顺序以形成巡检路径。

[0064] 关于上述实施例中的系统,其中各个模块执行操作的具体方式以及带来的相应技术效果已经在有关该方法的实施例中进行了对应的详细描述,此处将不做详细阐述说明。

[0065] 应当注意,尽管在上文详细描述中提及了用于动作执行的设备的若干模块或者单元,但是这种划分并非强制性的。实际上,根据本公开的实施方式,上文描述的两个或更多模块或者单元的特征和功能可以在一个模块或者单元中具体化。反之,上文描述的一个模块或者单元的特征和功能可以进一步划分为由多个模块或者单元来具体化。作为模块或单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本公开方案的目的。本领域普通技术人员在不付出创造性劳动的情况下,即可以理解并实施。

[0066] 本公开实施例还提供一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序被处理器执行时实现上述任一项实施例所述施工现场无人机智能巡检航线规划方法。

[0067] 示例性的,该可读存储介质例如可以为但不限于电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件,或者任意以上的组合。可读存储介质的更具体的例子(非穷举的列表)包括:具有一个或多个导线的电连接、便携式盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM或闪存)、光纤、便携式紧凑盘只读存储器(CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。

[0068] 所述计算机可读存储介质可以包括在基带中或者作为载波一部分传播的数据信号,其中承载了可读程序代码。这种传播的数据信号可以采用多种形式,包括但不限于电磁信号、光信号或上述的任意合适的组合。可读存储介质还可以是可读存储介质以外的任何可读介质,该可读介质可以发送、传播或者传输用于由指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用的程序。可读存储介质上包含的程序代码可以用任何适当的介质传输,包括但不限于无线、有线、光缆、RF等等,或者上述的任意合适的组合。

[0069] 本公开实施例还提供一种电子设备,包括处理器以及存储器,存储器用于存储计算机程序。其中,所述处理器配置为经由执行所述计算机程序来执行上述任一项实施例中施工现场无人机智能巡检航线规划方法。

[0070] 下面参照图5来描述根据本发明的这种实施方式的电子设备600。图5显示的电子设备600仅仅是一个示例,不应对本发明实施例的功能和使用范围带来任何限制。

[0071] 如图5所示,电子设备600以通用计算设备的形式表现。电子设备600的组件可以包括但不限于:至少一个处理单元610、至少一个存储单元620、连接不同系统组件(包括存储单元620和处理单元610)的总线630、显示单元640等。

[0072] 其中,所述存储单元存储有程序代码,所述程序代码可以被所述处理单元610执行,使得所述处理单元610执行本说明书上述方法实施例部分中描述的根据本发明各种示例性实施方式的步骤。例如,所述处理单元610可以执行如图1中所示方法的步骤。

[0073] 所述存储单元620可以包括易失性存储单元形式的可读介质,例如随机存取存储单元(RAM)6201和/或高速缓存存储单元6202,还可以进一步包括只读存储单元(ROM)6203。

[0074] 所述存储单元620还可以包括具有一组(至少一个)程序模块6205的程序/实用工具6204,这样的程序模块6205包括但不限于:操作系统、一个或者多个应用程序、其它程序模块以及程序数据,这些示例中的每一个或某种组合中可能包括网络环境的实现。

[0075] 总线630可以为表示几类总线结构中的一种或多种,包括存储单元总线或者存储单元控制器、外围总线、图形加速端口、处理单元或者使用多种总线结构中的任意总线结构的局域总线。

[0076] 电子设备600也可以与一个或多个外部设备700(例如键盘、指向设备、蓝牙设备等)通信,还可与一个或者多个使得用户能与该电子设备600交互的设备通信,和/或与使得该电子设备600能与一个或多个其它计算设备进行通信的任何设备(例如路由器、调制解调器等等)通信。这种通信可以通过输入/输出(I/O)接口650进行。并且,电子设备600还可以通过网络适配器660与一个或者多个网络(例如局域网(LAN),广域网(WAN)和/或公共网络,例如因特网)通信。网络适配器660可以通过总线630与电子设备600的其它模块通信。应当明白,尽管图中未示出,可以结合电子设备600使用其它硬件和/或软件模块,包括但不限于:微代码、设备驱动器、冗余处理单元、外部磁盘驱动阵列、RAID系统、磁带驱动器以及数据备份存储系统等。

[0077] 通过以上的实施方式的描述,本领域的技术人员易于理解,这里描述的示例实施方式可以通过软件实现,也可以通过软件结合必要的硬件的方式来实现。因此,根据本公开实施方式的技术方案可以以软件产品的形式体现出来,该软件产品可以存储在一个非易失性存储介质(可以是CD-ROM,U盘,移动硬盘等)中或网络上,包括若干指令以使得一台计算设备(可以是个人计算机、服务器、或者网络设备等)执行根据本公开实施方式的上述各实施例的施工现场无人机智能巡检航线规划方法步骤。

[0078] 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。

[0079] 以上所述仅是本公开的具体实施方式,使本领域技术人员能够理解或实现本公开。对这些实施例的多种修改对本领域的技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本公开的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本公开

将不会被限制于本文所述的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

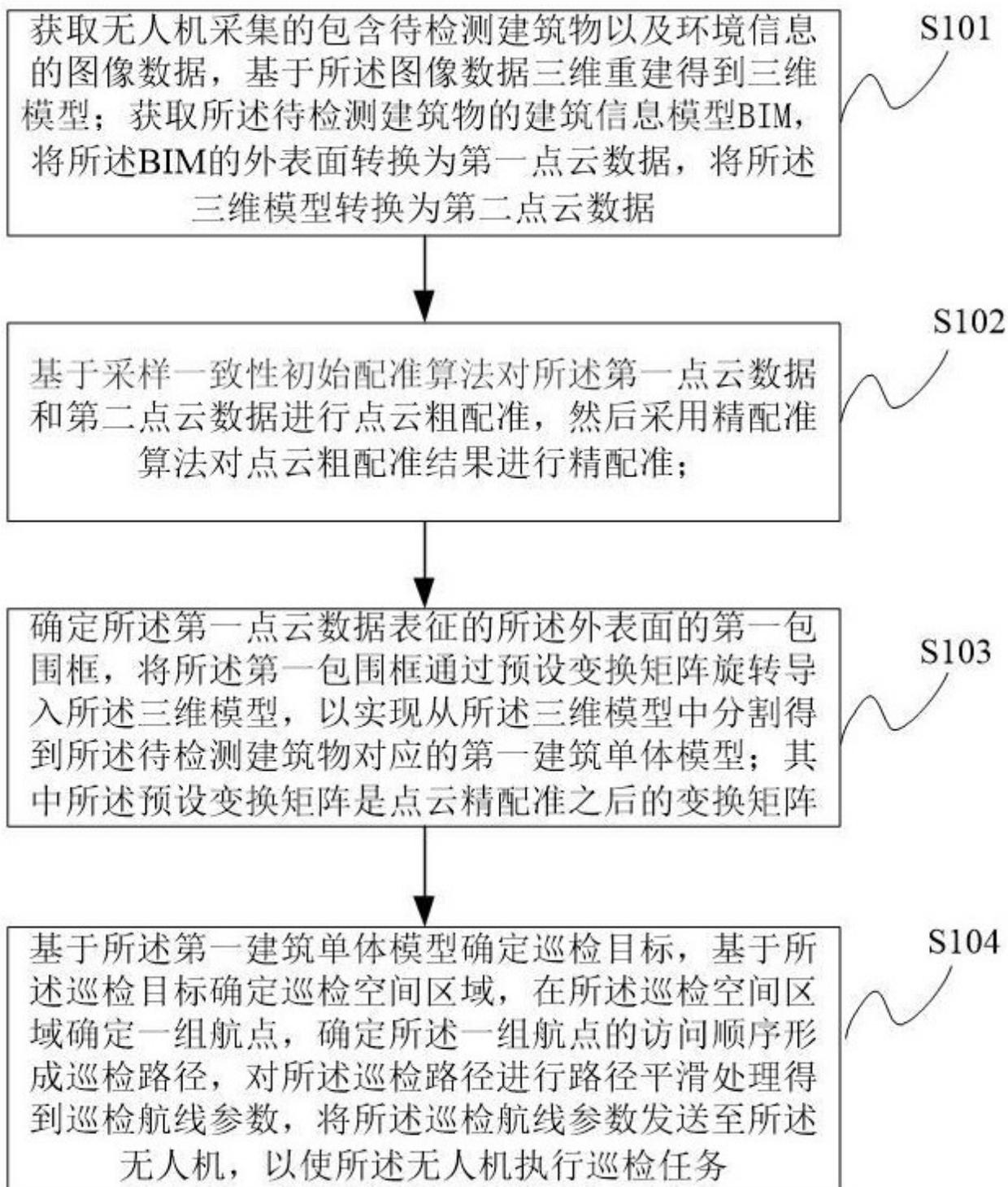


图 1

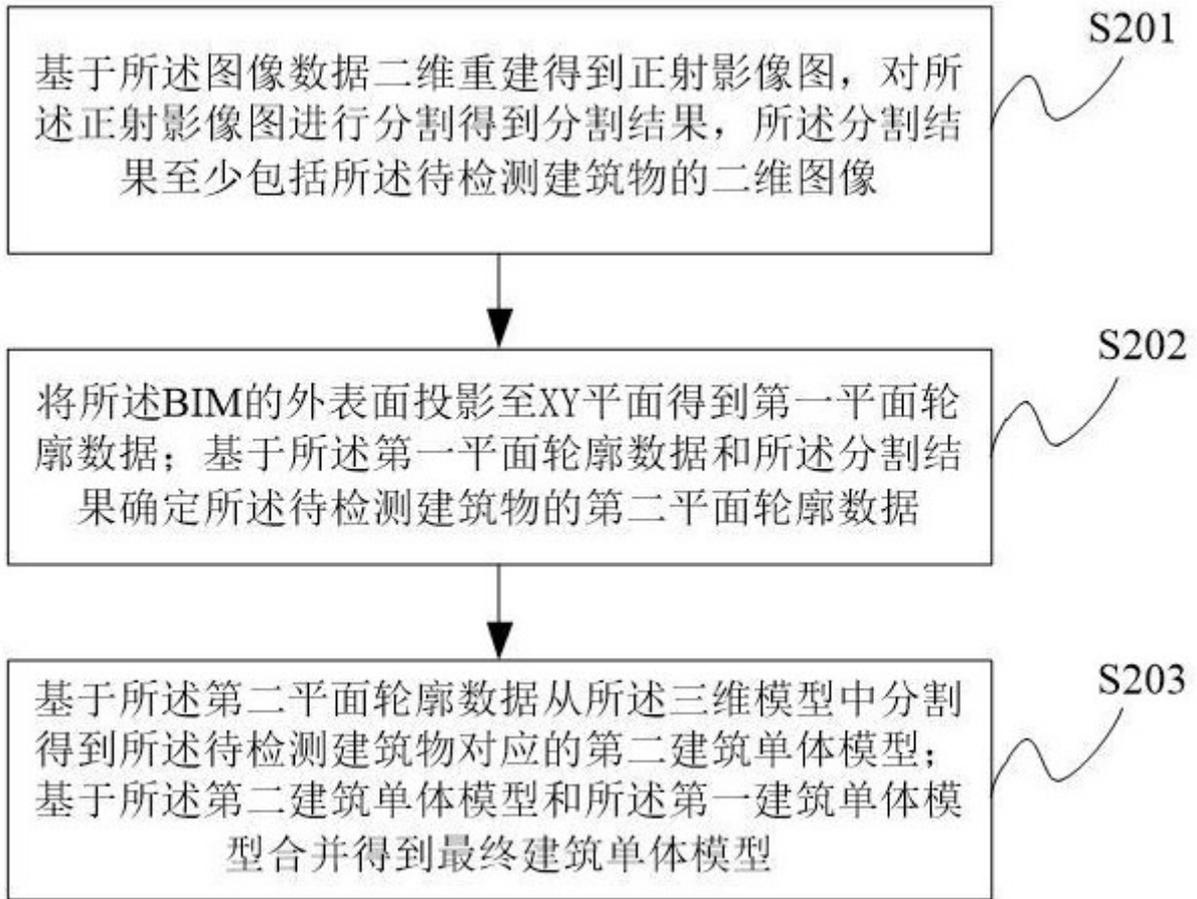


图 2

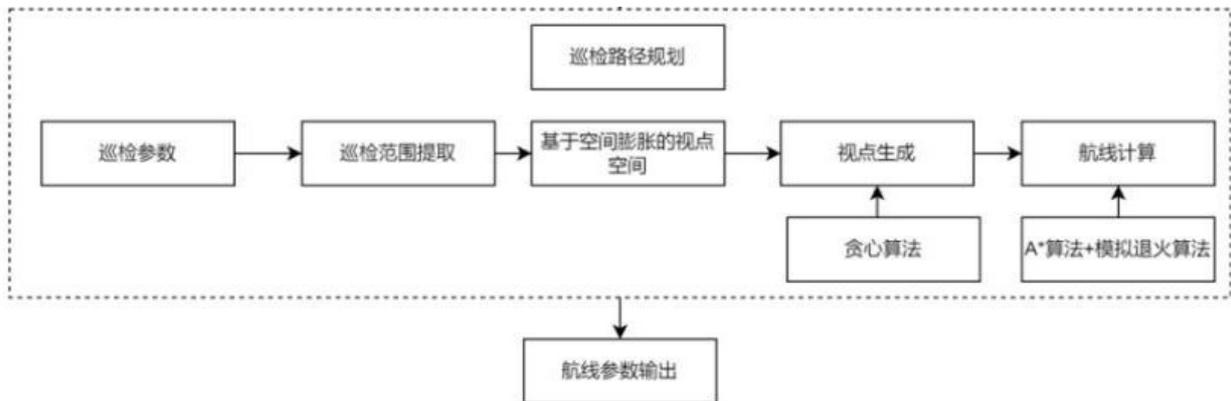


图 3

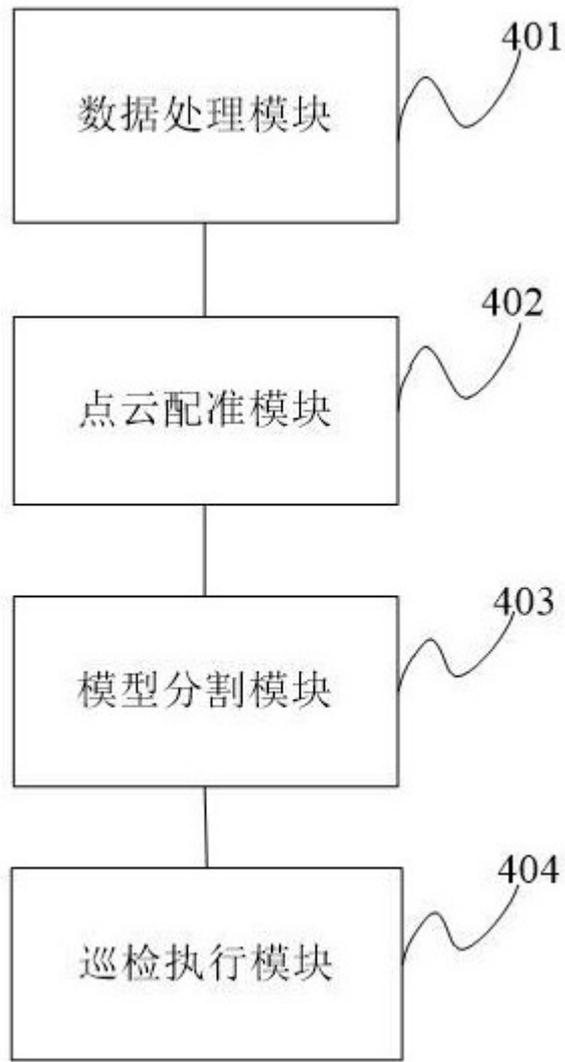


图 4

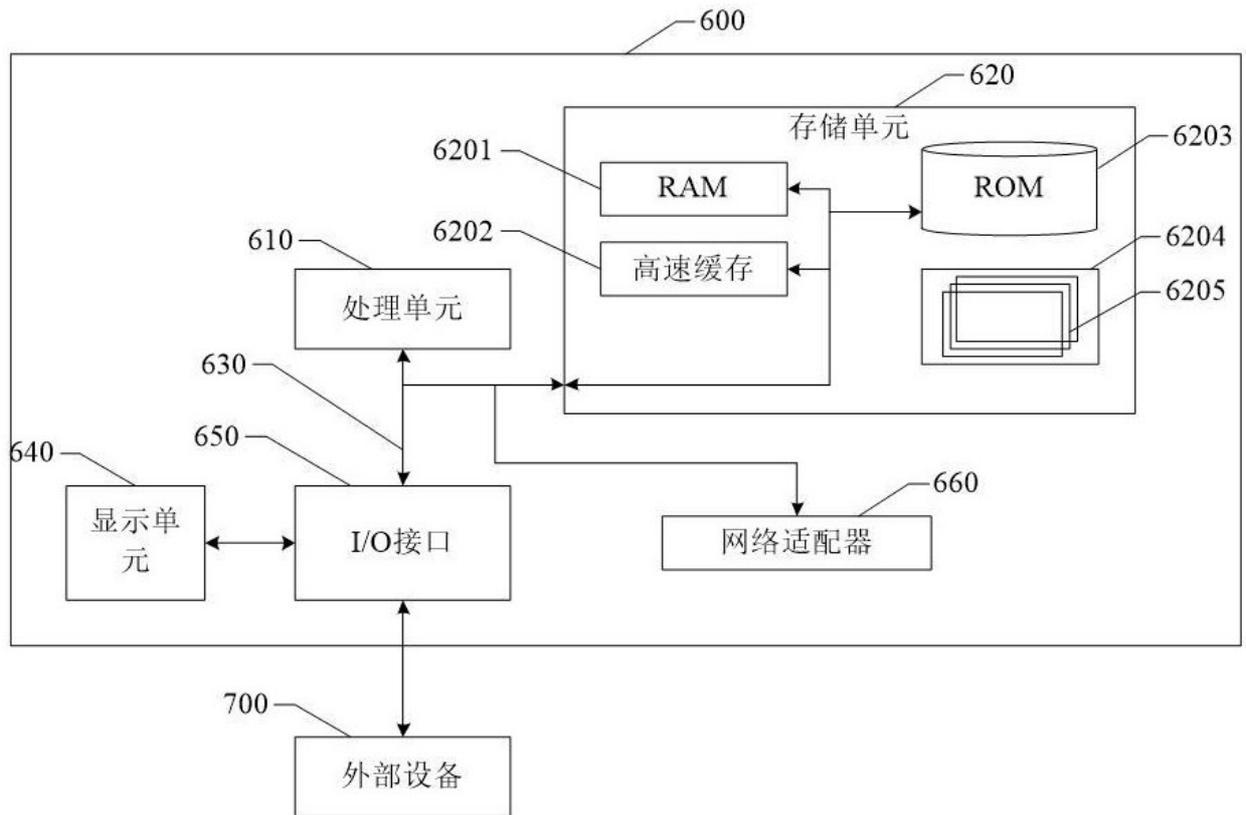


图 5