



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111583409 B

(45) 授权公告日 2023. 06. 27

(21) 申请号 202010220326.0

(22) 申请日 2020.03.25

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111583409 A

(43) 申请公布日 2020.08.25

(73) 专利权人 沈大勇

地址 610100 四川省成都市龙泉驿区龙泉建设路2号

(72) 发明人 沈大勇 贾军辉 龚建辉

(74) 专利代理机构 北京远大卓悦知识产权代理

有限公司 11369

专利代理师 卞静静

(51) Int. Cl.

G06T 17/20 (2006.01)

G06T 19/20 (2011.01)

(56) 对比文件

CN 102708591 B, 2014.12.03

CN 102853803 B, 2015.05.27

US 2019378332 A1, 2019.12.12

陈杰;高诚辉;何炳蔚.非封闭三角网格模型边界特征的自动识别.机械设计与制造.2011,(第11期),全文.

审查员 李铎

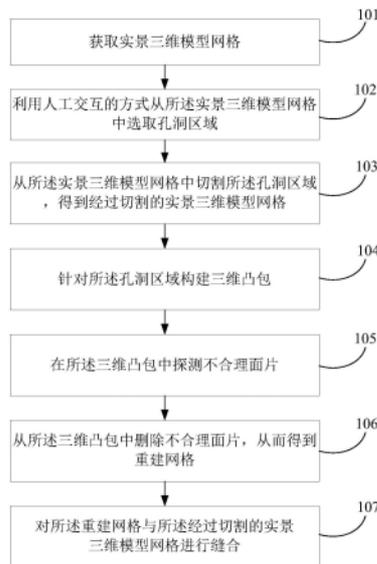
权利要求书2页 说明书8页 附图9页

(54) 发明名称

针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法和装置

(57) 摘要

本发明公开了针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法以及装置。方法包括:获取实景三维模型;利用人工交互的方式从实景三维模型网格中选取孔洞区域;从实景三维模型网格中切割孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格;针对孔洞区域构建三维凸包;在三维凸包中探测不合理面片,包括:根据三维凸包构建OBB方向包围盒,统计三维凸包中法线与包围盒各面之间的交点数量,将与包围盒中交点数量低于设定阈值的面相交的法线设为不合理法线,将具有不合理法线的面片设为不合理面片;从三维凸包中删除不合理面片,从而得到重建网格;对重建网格与经过切割的实景三维模型网格进行缝合。本发明提高对于实景三维模型中无网格边界孔洞的修补效率。



1. 针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,其特征在于,包括:

获取实景三维模型网格;

利用人工交互的方式从所述实景三维模型网格中选取孔洞区域;

从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格;

针对所述孔洞区域构建三维凸包;

在所述三维凸包中探测不合理面片,包括:根据所述三维凸包构建OBB方向包围盒,统计所述三维凸包中法线与所述包围盒各面之间的交点数量,将与所述包围盒中交点数量低于设定阈值的面相交的法线设为不合理法线,将具有所述不合理法线的面片设为不合理面片;

从所述三维凸包中删除不合理面片,从而得到重建网格;

对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合。

2. 如权利要求1所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,其特征在于,所述从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格,包括:

从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,探测所述孔洞区域的边界,删除所述实景三维模型网格中与所述孔洞区域的边界邻接的三角形,从而得到经过切割的实景三维模型网格。

3. 如权利要求1或2所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,其特征在于,所述在所述三维凸包中探测不合理面片,具体包括:

根据所述三维凸包构建OBB方向包围盒,统计所述三维凸包中法线与所述包围盒各面之间的交点数量 N_i ($1 < i \leq 6$),将所述包围盒中交点数量最大的面设为 N_1 ,则将满足条件 $N_i/N_1 < k$ ($1 < i \leq 6, 0 < k \leq 0.1$)的第 i 面所包含的法线方向范围设为不合理法线阈值 δ_{normal} ,如所述三维凸包中面片的法线方向 $n \in \delta_{normal}$,则该面片为不合理面片。

4. 如权利要求1或2所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,其特征在于,所述在所述三维凸包中探测不合理面片,还包括:

将所述三维凸包中法线沿Z轴负方向的面片设为不合理面片。

5. 如权利要求1或2所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,其特征在于,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合,包括:

将所述重建网格的边界与所述经过切割的实景三维模型网格的边界之间的缝隙作为常规孔洞进行修补。

6. 如权利要求5所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,其特征在于,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合,具体包括:

计算所述重建网格的边界上顶点与所述经过切割的实景三维模型网格的边界上顶点之间的最短距离 l_{min} ,设构成最短距离的两个顶点分别为所述重建网格边界上的顶点A和所述经过切割的实景三维模型网格边界上的顶点B,以边AB作为缝合的起始边;

以边AB构建三角形,从所述重建网格的边界或者所述经过切割的实景三维模型网格的边界上选取下一个顶点G,顶点G的选取条件为:使三角形 $\triangle ABG$ 的外接圆半径最小;继续以边BG构建下一个三角形,下一个顶点的选取条件与顶点G相同,重复上述过程,直至完成对所述重建网格和所述经过切割的实景三维模型网格的边界的缝合。

7. 如权利要求6所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,其特征在于,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合之前,还包括:

调整所述重建网格的结构以及对所述重建网格进行法线重定向操作。

8. 如权利要求7所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,其特征在于,所述调整所述重建网格的结构包括对所述重建网格进行加密或均化操作。

9. 针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补装置,其特征在于,包括:

获取模块,用于获取实景三维模型网格;

选取模块,用于利用人工交互的方式从所述实景三维模型网格中选取孔洞区域;

切割模块,用于从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格;

构建模块,用于针对所述孔洞区域构建三维凸包;

探测模块,用于在所述三维凸包中探测不合理面片,所述探测模块包括:探测子模块,用于根据所述三维凸包构建OBB方向包围盒,统计所述三维凸包中法线与所述包围盒各面之间的交点数量,将与所述包围盒中交点数量低于设定阈值的面相交的法线设为不合理法线,将具有所述不合理法线的面片设为不合理面片;

重建模块,用于从所述三维凸包中删除不合理面片,从而得到重建网格;

缝合模块,用于对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合。

10. 如权利要求9所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补装置,其特征在于,所述切割模块具体用于从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,探测所述孔洞区域的边界,删除所述实景三维模型网格中与所述孔洞区域的边界邻接的三角形,从而得到经过切割的实景三维模型网格。

针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及软件领域,尤其涉及针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法以及电子设备。

背景技术

[0002] 实景三维模型凭借高效的数据获取和逼真的三维地形、建筑物表达,已经成为三维地理空间信息采集和重建的重要手段。但是,由于数据采集过程中环境、设备、人为等因素的影响,获取的图像、视频数据的质量会有不同程度的缺陷,导致实际生产的实景三维模型数据会存在孔洞、蜡融现象、结构破损、纹理拉伸以及缺失等问题。

[0003] 三维网格的孔洞是模型修补中最为常见的缺陷问题,目前主流的算法都是针对比较典型带有边界的孔洞,这类孔洞主要产生于三维激光扫描建筑、雕塑、器具等进行曲面重建的过程中,而实景三维模型的复杂程度要远远超过前者重建的模型。针对实景三维模型,根据其孔洞特征可以将分为常规孔洞和无网格边界孔洞,无网格边界孔洞具有完整的三维网格结构,部分可能还具有水密性,无网格边界孔洞的修补需要对模型进行重构,难度要比常规孔洞修补大。目前可参与生产的三维模型编辑软件如Geomagic、3D MAX、DPMoeller、Blender等修补上述无网格边界孔洞,都需要大量的人工操作,自动化程度比较低,而且针对此项工作的作业员还需要具备一定的专业技术,实景三维模型的优化往往需要大量的人力、物力。

发明内容

[0004] 本发明的一个目的是解决至少上述问题和/或缺陷,并提供至少后面将说明的优点。

[0005] 本发明的一个目的是提供一种针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,其采用人工交互选取孔洞区域和自动化修补孔洞相结合的方式,最大程度上减少人工操作,能够极大地提升模型修补的效率。

[0006] 本发明的又一个目的是提供一种针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补装置,其采用人工交互选取孔洞区域和自动化修补孔洞相结合的方式,最大程度上减少人工操作,能够极大地提升模型修补的效率。

[0007] 为了实现根据本发明的这些目的和其它优点,提供了一种针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,包括:

[0008] 获取实景三维模型网格;

[0009] 利用人工交互的方式从所述实景三维模型网格中选取孔洞区域;

[0010] 从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格;

[0011] 针对所述孔洞区域构建三维凸包;

[0012] 在所述三维凸包中探测不合理面片,包括:根据所述三维凸包构建OBB方向包围

盒,统计所述三维凸包中法线与所述包围盒各面之间的交点数量,将与所述包围盒中交点数量低于设定阈值的面相交的法线设为不合理法线,将具有所述不合理法线的面片设为不合理面片;

[0013] 从所述三维凸包中删除不合理面片,从而得到重建网格;

[0014] 对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合。

[0015] 优选的是,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法中,所述从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格,包括:

[0016] 所述从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,探测所述孔洞区域的边界,删除所述实景三维模型网格中与所述孔洞区域的边界邻接的三角形,从而得到经过切割的实景三维模型网格。

[0017] 优选的是,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法中,所述在所述三维凸包中探测不合理面片,具体包括:

[0018] 根据所述三维凸包构建OBB方向包围盒,统计所述三维凸包中法线与所述包围盒各面之间的交点数量 N_i ($1 < i \leq 6$),将所述包围盒中交点数量最大的面设为 N_1 ,则将满足条件 $N_i/N_1 < k$ ($1 < i \leq 6, 0 < k \leq 0.1$)的第 i 面所包含的法线方向范围设为不合理法线阈值 δ_{normal} ,如所述三维凸包中面片的法线方向 $n \in \delta_{normal}$,则该面片为不合理面片。

[0019] 优选的是,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法中,所述在所述三维凸包中探测不合理面片,还包括:

[0020] 将所述三维凸包中法线沿Z轴负方向的面片设为不合理面片。

[0021] 优选的是,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法中,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合,包括:

[0022] 将所述重建网格的边界与所述经过切割的实景三维模型网格的边界之间的缝隙作为常规孔洞进行修补。

[0023] 优选的是,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法中,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合,具体包括:

[0024] 计算所述重建网格的边界上顶点与所述经过切割的实景三维模型网格的边界上顶点之间的最短距离 l_{min} ,设构成最短距离的两个顶点分别为所述重建网格边界上的顶点A和所述经过切割的实景三维模型网格边界上的顶点B,以边AB作为缝合的起始边;

[0025] 以边AB构建三角形,从所述重建网格的边界或者所述经过切割的实景三维模型网格的边界上选取下一个顶点G,顶点G的选取条件为:使三角形 $\triangle ABG$ 的外接圆半径最小;继续以边BG构建下一个三角形,下一个顶点的选取条件与顶点G相同,重复上述过程,直至完成对所述重建网格和所述经过切割的实景三维模型网格的边界的缝合。

[0026] 优选的是,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法中,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合之前,还包括:

[0027] 调整所述重建网格的结构以及对所述重建网格进行法线重定向操作。

[0028] 优选的是,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法中,所述调整所述重建网格的结构包括对所述重建网格进行加密或均化操作。

[0029] 针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补装置,包括:

[0030] 获取模块,用于获取实景三维模型网格;

- [0031] 选取模块,用于利用人工交互的方式从所述实景三维模型网格中选取孔洞区域;
- [0032] 切割模块,用于从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格;
- [0033] 构建模块,用于针对所述孔洞区域构建三维凸包;
- [0034] 探测模块,用于在所述三维凸包中探测不合理面片,所述探测模块包括:探测子模块,用于根据所述三维凸包构建OBB方向包围盒,统计所述三维凸包中法线与所述包围盒各面之间的交点数量,将与所述包围盒中交点数量低于设定阈值的面相交的法线设为不合法线,将具有所述不合法线的面片设为不合理面片;
- [0035] 重建模块,用于从所述三维凸包中删除不合理面片,从而得到重建网格;
- [0036] 缝合模块,用于对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合。
- [0037] 优选的是,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补装置中,所述切割模块具体用于从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,探测所述孔洞区域的边界,删除所述实景三维模型网格中与所述孔洞区域的边界邻接的三角形,从而得到经过切割的实景三维模型网格。
- [0038] 本发明至少包括以下有益效果:
- [0039] 本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法先通过人工交互的方式从实景三维模型网格中选取孔洞区域,然后进入自动化的孔洞修补过程,即先针对孔洞区域构建三维凸包,再根据三维凸包构建OBB方向包围盒,基于三维凸包中法线与包围盒的交点情况确定不合法线,进而确定不合理面片,通过将不合理面片从三维凸包中删除构建出重建网格,最后将重建网格与切割出孔洞区域的实景三维模型网格进行缝合,从而实现对于孔洞的修补。本发明最大程度上减少人工操作,极大地提高对于实景三维模型中无网格边界孔洞的修补效率。
- [0040] 本发明的其它优点、目标和特征将部分通过下面的说明体现,部分还将通过对本发明的研究和实践而为本领域的技术人员所理解。

附图说明

- [0041] 图1为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例的流程图;
- [0042] 图2为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例的所采用的三角网翼边索引结构的示意图;
- [0043] 图3为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例的所采用的空间排序算法的示意图;
- [0044] 图4为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例中自动化孔洞修补过程的示意图;
- [0045] 图5为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例中人工交互选取孔洞区域、从实景三维模型网格中切割孔洞区域以及构建三维凸包的示意图;
- [0046] 图6为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例中探测不合理面片的示意图;

[0047] 图7为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例中重建网格和经过切割的实景三维模型网格进行缝合的示意图；

[0048] 图8为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例中围墙修补成果的示意图；

[0049] 图9为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的另一个实施例中建筑墙面修补成果的示意图；

[0050] 图10为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的另一个实施例中重建网格与实景三维模型原网格结构对比的示意图；

[0051] 图11为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补装置的一个实施例的结构示意图。

具体实施方式

[0052] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明,以令本领域技术人员参照说明书文字能够据以实施。

[0053] 本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例的流程图如图1所示。本发明的实施例提供了一种针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法,包括:

[0054] 步骤101,获取实景三维模型网格。

[0055] 在步骤101中,读入实景三维模型OBJ数据,进行数据结构化和空间排序,之后利用人工交互的方式操作选取孔洞区域,并实现后续的孔洞修补过程。

[0056] 为方便算法的程序设计以及提升其效率,需要对数据的三维网格结构重新定义,读取数据存储为翼边索引结构。图2为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例的所采用的三角网翼边索引结构的示意图。翼边结构是基于三角网中面和顶点的,而边由两个相邻三角面的邻接关系进行隐式表示。这种三角剖分的数据结构可以看作是三角面和顶点之间关联性以及邻接关系的容器。在这种数据结构中,可以通过任意顶点访问包含它的所有入射面,进入其中一个入射面可以访问其三角面的索引列表。单个三角面的三条边由固定的首尾顶点连接方向来约束,并且通过边也能访问其邻接三角面。所以,借助翼边结构,已知顶点、边、面中的任一种要素即可找到存在关联的其他要素,并且由一个三角面出发可以快速遍历整个三角网数据列表。

[0057] 图3为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例的所采用的空间排序算法的示意图。由于本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的执行是增量的,运行的速度取决于数据插入的顺序,所以使用空间排序算法将顶点进行排序可以有效提高算法的运行效率。这种算法主要利用具有一定几何规律的空间曲线填充对象进行排序,使几何上接近的对象以更高概率的插入顺序接近。这样在数据插入过程中,检索的数据结构部分可能在最近的插入操作中查询过,所以该数据可能会在缓存中而非内存中,检索加快的同时也会提高算法自身数据结构的内存局部性,从而提高算法效率。

[0058] 步骤102,利用人工交互的方式从所述实景三维模型网格中选取孔洞区域。

[0059] 在一些情况下,在利用人工交互的方式选取孔洞区域之后,本发明所述的方法还

可以自动检测所选区域是否存在网格边界,并根据检测结果采用不同的网格孔洞修补方法,也可以根据具体情况强制采用其中一种。具体来说,当检测结果为无网格边界孔洞时,可以采用步骤103至步骤106的自动化孔洞修补过程。当检测结果为常规孔洞时,则可以采用常规孔洞的修补方法。

[0060] 图4为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例中自动化孔洞修补过程的示意图。本发明首先利用三维凸包算法对问题区域(即在步骤102中所选取的孔洞区域)进行网格重构,使重构后的网格不含缺陷特征,再对重构网格进行三角形筛选,将筛选后的重构网格替换问题区域的三角网,最后将两侧边界粘合,沿边界构建三角网并进行常规孔洞修补,修复重构区域。自动化孔洞修补过程具体包括:

[0061] 步骤103,从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格。

[0062] 步骤104,针对所述孔洞区域构建三维凸包。

[0063] 具体地,提取孔洞区域的顶点信息,对顶点数据进行三维狄洛尼三角剖分,构建三维凸包,并输出凸包表面三角网。

[0064] 图5示出了在一个实施例中人工交互选取的孔洞区域、从实景三维模型网格中切割孔洞区域以及构建三维凸包的示意图。针对建筑物近地面的墙壁上的孔洞进行修补,首先通过人工交互的方式选取出孔洞区域,然后将孔洞区域从实景三维模型网格中切割,再针对孔洞区域进行三维凸包的构建。

[0065] 步骤105,在所述三维凸包中探测不合理面片,包括:根据所述三维凸包构建OBB方向包围盒,统计所述三维凸包中法线与所述包围盒各面之间的交点数量,将与所述包围盒中交点数量低于设定阈值的面相交的法线设为不合理法线,将具有所述不合理法线的面片设为不合理面片。

[0066] 步骤106,从所述三维凸包中删除不合理面片,从而得到重建网格。

[0067] 输出的三维凸包三角网是封闭的,因此需要删除不合理的三角面片,从而将三维凸包在这些位置展开,以便于重建网格和经过切割的实景三维模型网格之间的缝合。图6示出了本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例中探测不合理面片的示意图。继续针对建筑物近地面的墙壁上的孔洞进行修补。经过步骤104构建了三维凸包,每个三角面片的方向用其法线表示。在步骤105中,根据三维凸包构建了OBB方向包围盒,统计三维凸包中法线与包围盒各面的交点数量,从图6中可以看出,包围盒的顶面以及正面的交点数量相对较大,而包围盒的两个侧端面以及底面的交点数量较少(低于设定阈值),表明三维凸包与包围盒的两个侧端面以及底面的相对应的面片数量较少,同时意味着顶点数据量低,那么当将这些面片设定不合理面片而从三维凸包中删除时,所形成的重建网格在与切割后的实景三维模型网格进行缝合时所需的运算量最小,模型修补的效果最好。其中,可以根据需要对设定阈值进行具体地选择。

[0068] 步骤107,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合。

[0069] 图7为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例中对重建网格和经过切割的实景三维模型网格进行缝合的示意图。从图7中可以看出,重建网格和经过切割的实景三维模型网格之间是存在缝隙的。通过缝合将两者结合成统一的整体,从而完成对于实景三维模型中无网格边界孔洞的修补。

[0070] 本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法先通过人工交互的方式从实景三维模型网格中选取孔洞区域,然后进入自动化的孔洞修补过程,即先针对孔洞区域构建三维凸包,再根据三维凸包构建OBB方向包围盒,基于三维凸包中法线与包围盒的交点情况确定不合理法线,进而确定不合理面片,通过将不合理面片从三维凸包中删除构建出重建网格,最后将重建网格与切割出孔洞区域的实景三维模型网格进行缝合,从而实现对于孔洞的修补。本发明最大程度地减少人工操纵,极大地提高了对于实景三维模型中无网格边界孔洞的修补效率。

[0071] 在步骤103中,为防止三维凸包与实景三维模型网格存在相交部分,进一步地,所述从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格,包括:所述从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,探测所述孔洞区域的边界,删除所述实景三维模型网格中与所述孔洞区域的边界邻接的三角形,从而得到经过切割的实景三维模型网格。

[0072] 在一个可选的实施例中,步骤105中,所述在所述三维凸包中探测不合理面片,具体包括:根据所述三维凸包构建OBB方向包围盒,统计所述三维凸包中法线与所述包围盒各面之间的交点数量 N_i ($1 < i \leq 6$),将所述包围盒中交点数量最大的面设为 N_1 ,则将满足条件 $N_i/N_1 < k$ ($1 < i \leq 6, 0 < k \leq 0.1$)的第 i 面所包含的法线方向范围设为不合理法线阈值 δ_{normal} ,如所述三维凸包中面片的法线方向 $n \in \delta_{normal}$,则该面片为不合理面片。

[0073] 包围盒中交点数量最大的面所包含的法线方向可以理解为法线的主要方向,以主要方向为依据,对其他面所包含的法线方向进行判断,如符合上述条件,则认为其属于不合理法线阈值 δ_{normal} 。其中,normal代表法线。 k 值可以根据需要进行设定。

[0074] 在一个可选的实施例中,在步骤105中,所述在所述三维凸包中探测不合理面片,还包括:将所述三维凸包中法线沿Z轴负方向的面片设为不合理面片。

[0075] 对于实景三维模型而言,一般姿态是固定的,并且整个模型网格是可定向的,建筑物的网格法线整体趋势是沿Z轴正方向向外发散的,因此,针对模型这一特征,可以计算三维凸包的法线信息,将法线沿Z轴负方向的面片纳入不合理面片范围内。

[0076] 在一个可选的实施例中,在步骤106中,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合,包括:将所述重建网格的边界与所述经过切割的实景三维模型网格的边界之间的缝隙作为常规孔洞进行修补。

[0077] 在一个可选的实施例中,在步骤106中,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法中,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合,具体包括:

[0078] 计算所述重建网格的边界上顶点与所述经过切割的实景三维模型网格的边界上顶点之间的最短距离 l_{min} ,设构成最短距离的两个顶点分别为所述重建网格边界上的顶点A和所述经过切割的实景三维模型网格边界上的顶点B,以边AB作为缝合的起始边。

[0079] 以边AB构建三角形,从所述重建网格的边界或者所述经过切割的实景三维模型网格的边界上选取下一个顶点G,顶点G的选取条件为:使三角形 $\triangle ABG$ 的外接圆半径最小;继续以边BG构建下一个三角形,下一个顶点的选取条件与顶点G相同,重复上述过程,直至完成对所述重建网格和所述经过切割的实景三维模型网格的边界的缝合。

[0080] 图7示出了本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的一个实施例中对重建网格和经过切割的实景三维模型网格进行缝合的示意图。具体地,在对顶

点G进行选取时,其中一条边界的顶点C或者在另一条边界上的顶点D作为顶点G的候选点,这两个顶点与边AB分别可构成 $\triangle ABC$ 和 $\triangle ABD$ 。为防止出现非流形曲面,取外接圆半径r值较小的 $\triangle ABC$ 构建,即在该实施例中,选择顶点C作为顶点G。接下来,转至外侧边BC按相同的原則构建新的三角形。

[0081] 在一个可选的实施例中,在步骤106中,对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合之前,还包括:调整所述重建网格的结构以及对所述重建网格进行法线重定向操作。

[0082] 在实际应用中,修补区域纹理较为复杂或者过度色彩不足时,修补可能会造成较为明显的纹理缺陷,通过对重建网格的结构进行调整以及对重建网格进行法线重定向可以有效克服上述缺陷。

[0083] 优选地,所述调整所述重建网格的结构包括对所述重建网格进行加密或均化操作。

[0084] 以下以具体的实景三维模型为例,对本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的模型修复成果做进一步地说明。

[0085] 由于无人机航拍缺少地面近景的拍摄条件,地面围墙和建筑立面往往会缺失某些特定角度的图像信息,所以一般围墙和建筑近地面的墙壁会很容易出现孔洞。针对模型中围墙和建筑墙面上的孔洞进行修补后,利用ContextCompare软件重新进行纹理映射,最终成果如图8和9所示。

[0086] 从图8可以看出,围墙孔洞得到了平坦完整的修补,并且网格结构能够切合纹理特征,边缘部分(如墙角、墙根)缝合效果较好。

[0087] 图9所示的孔洞-1和孔洞-2虽然都有网格边界,但从中可以看出孔洞区域整体都发生了变形,并不适用常规孔洞修补。利用本发明所提供的无网格边界孔洞修补方法对三种孔洞进行修补后,可以看出模型基本形态已经得到很好的还原。

[0088] 值得一提的是,为更好地观察网格结构及法线对纹理映射的影响,本发明将图9中原本色调很暗的图片进行亮度调整,足够显现纹理的色彩细节,从中可以看出修补区域与其邻域纹理色彩存在差异。主要原因是,如果人工交互选取的孔洞区域网格不是整个建筑立面,那么重建网格的法线可能会与周边网格的法线存在偏差,并且修复的网格平面如果没有足够平滑,部分选取模型重建的网格和原网格结构也会存在差异,纹理映射之后会出现修补纹理色彩不匀称的现象。

[0089] 图10为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补方法的另一个实施例中重建网格与实景三维模型原网格结构对比的示意图。图10的模型色调差在不做图像处理的情况下肉眼很难发觉,但在实际生产中修补区域纹理较为复杂或者过度色彩不足时,修补可能会造成较为明显的纹理缺陷。通过调整重建网格的网格结构(加密或均化)和法线重定向,可以解决上述问题,避免修补之后的纹理缺陷。

[0090] 孔洞修补过程中,人工交互阶段效率的快慢取决于作业员技能的熟练程度,对此不在程序算法的效率测算范围内。在既定系统环境下,对具有代表性的孔洞修补案例进行时间统计,并与作业员利用Geomagic软件修补的平均操作时间作对比,结果如表1。

[0091] 表1模型孔洞修补时间列表

[0092]	编号	原网格密度	重建网格密度	T	T_m
	墙壁-1	4486	2990	1.737	11
	墙壁-2	28755	7183	4.359	21
	建筑物-1	581	672	0.086	0.002
	建筑物-2	17234	6921	8.148	30
[0093]	建筑物-3	15237	5527	6.726	27
T 为本发明的自动化孔洞修补过程所耗费的时间				CPU: unit/sec	
T_m 为平均人工操作时间				人工通过软件修补: unit/min	

[0094] 由表1可知,本发明自动化孔洞修补的效率远远高于人工操作,能够满足人工交互作业模式的需求。

[0095] 图11为本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补装置的一个实施例的结构示意图。装置包括:获取模块201,用于获取实景三维模型网格;选取模块202,用于利用人工交互的方式从所述实景三维模型网格中选取孔洞区域;切割模块203,用于从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,得到经过切割的实景三维模型网格;构建模块204,用于针对所述孔洞区域构建三维凸包;探测模块205,用于在所述三维凸包中探测不合理面片,所述探测模块包括:探测子模块,用于根据所述三维凸包构建OBB方向包围盒,统计所述三维凸包中法线与所述包围盒各面之间的交点数量,将与所述包围盒中交点数量低于设定阈值的面相交的法线设为不合理法线,将具有所述不合理法线的面片设为不合理面片;重建模块206,用于从所述三维凸包中删除不合理面片,从而得到重建网格;缝合模块207,用于对所述重建网格与所述经过切割的实景三维模型网格进行缝合。

[0096] 本发明所提供的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补装置先通过人工交互的方式从实景三维模型网格中选取孔洞区域,然后进入自动化的孔洞修补过程,即先针对孔洞区域构建三维凸包,再根据三维凸包构建OBB方向包围盒,基于三维凸包中法线与包围盒的交点情况确定不合理法线,进而确定不合理面片,通过将不合理面片从三维凸包中删除构建出重建网格,最后将重建网格与切割出孔洞区域的实景三维模型网格进行缝合,从而实现对于孔洞的修补。本发明最大程度减少了人工操作,极大地提高了对于实景三维模型中无网格边界孔洞的修补效率。

[0097] 进一步地,所述的针对实景三维模型的无网格边界孔洞修补装置中,所述切割模块具体用于从所述实景三维模型网格中切割所述孔洞区域,探测所述孔洞区域的边界,删除所述实景三维模型网格中与所述孔洞区域的边界邻接的三角形,从而得到经过切割的实景三维模型网格。

[0098] 尽管本发明的实施方案已公开如上,但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用。它完全可以被适用于各种适合本发明的领域。对于熟悉本领域的人员而言,可容易地实现另外的修改。因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下,本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的图例。

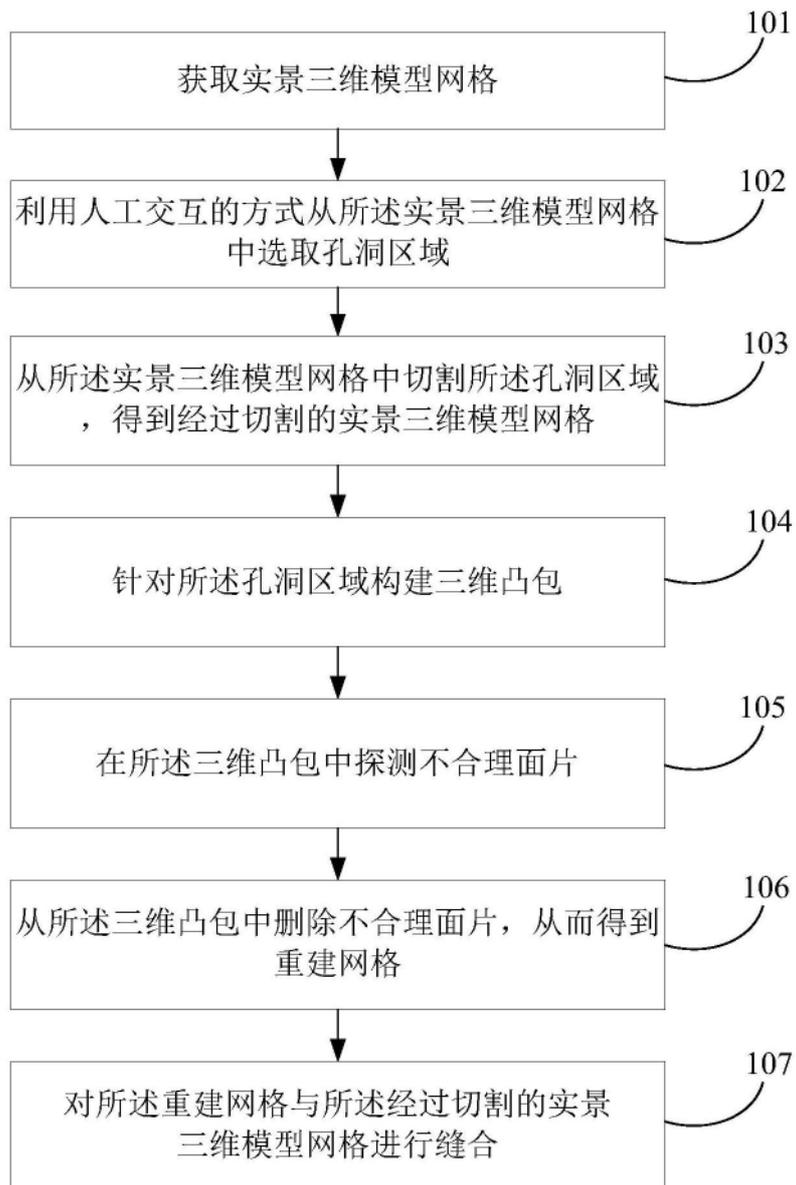


图1

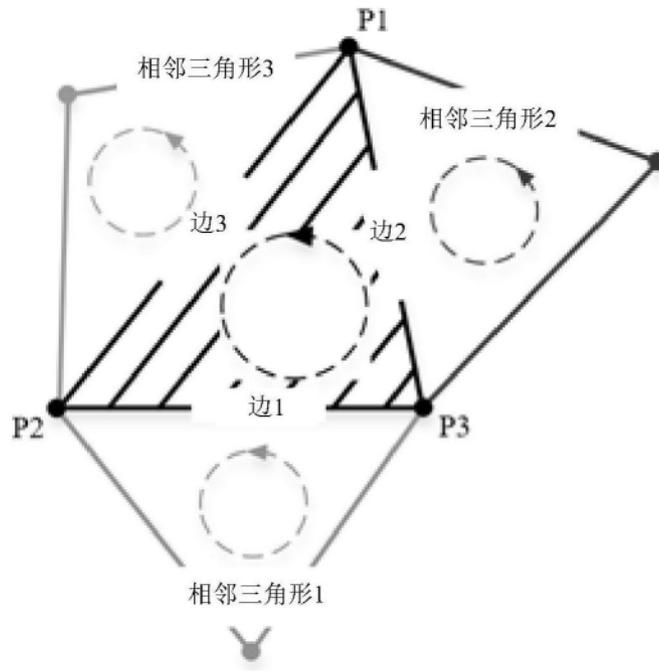


图2

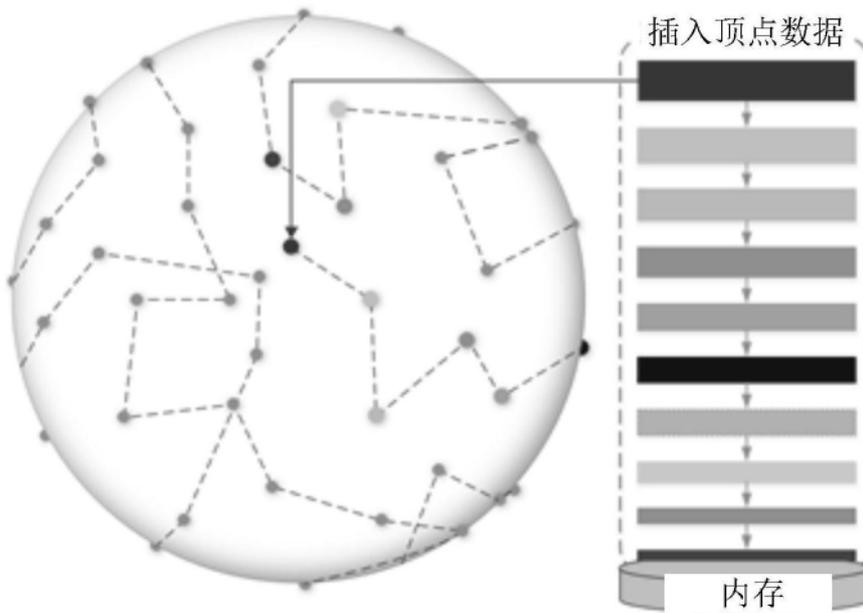


图3

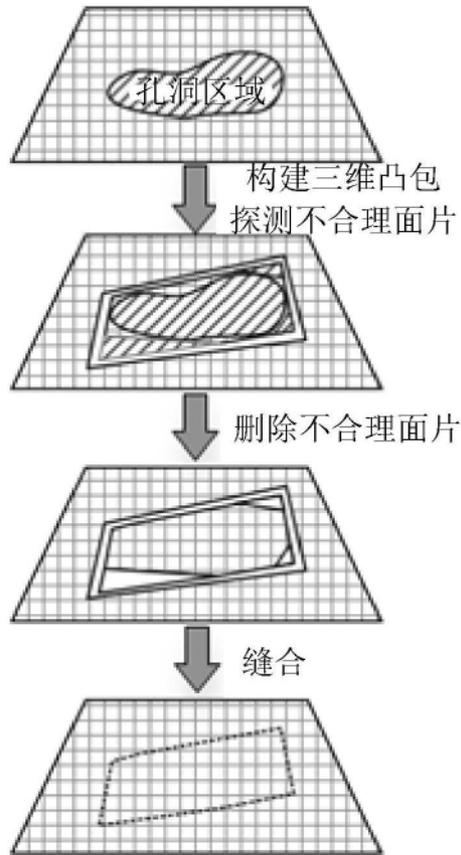


图4

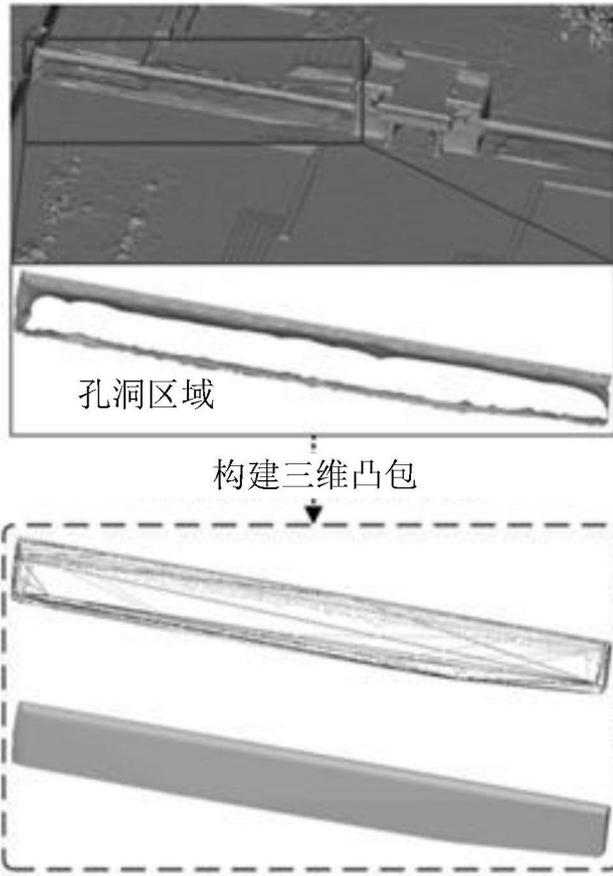


图5

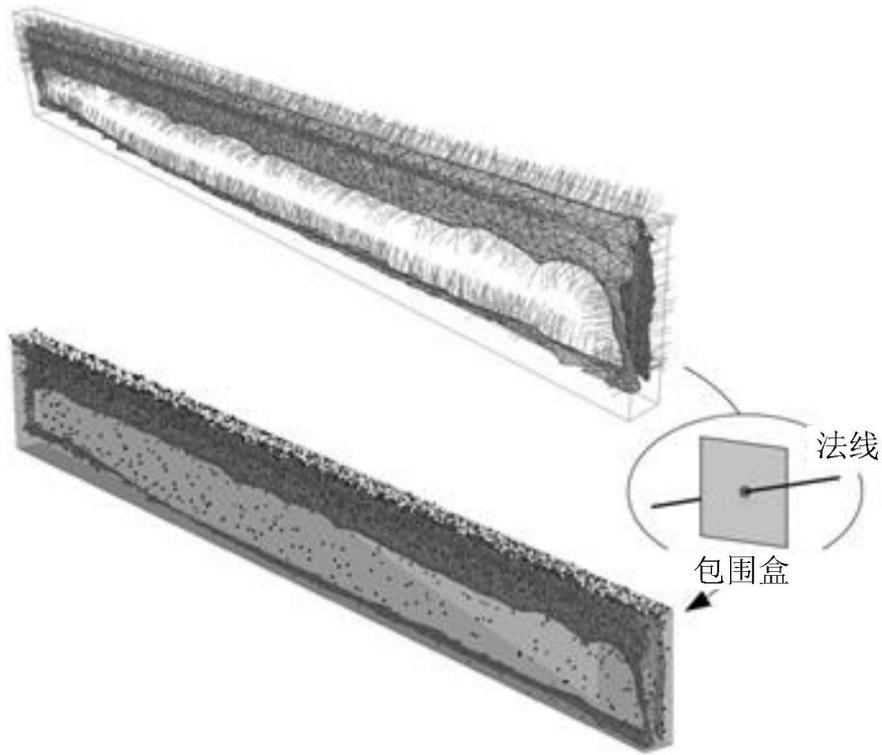


图6

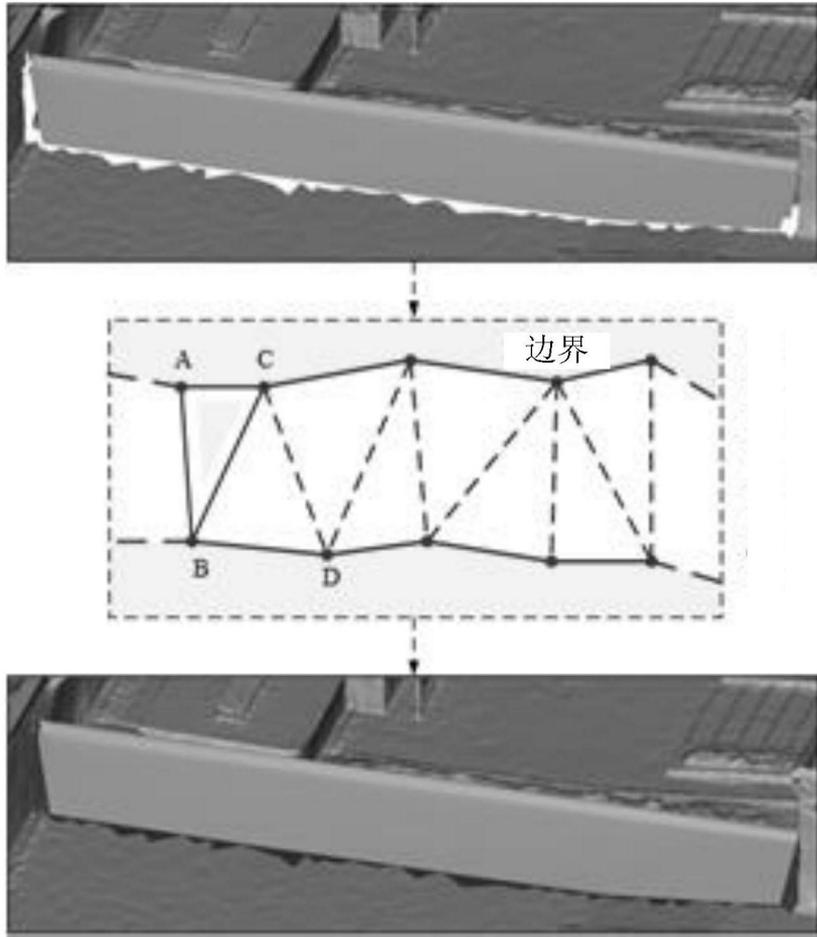


图7

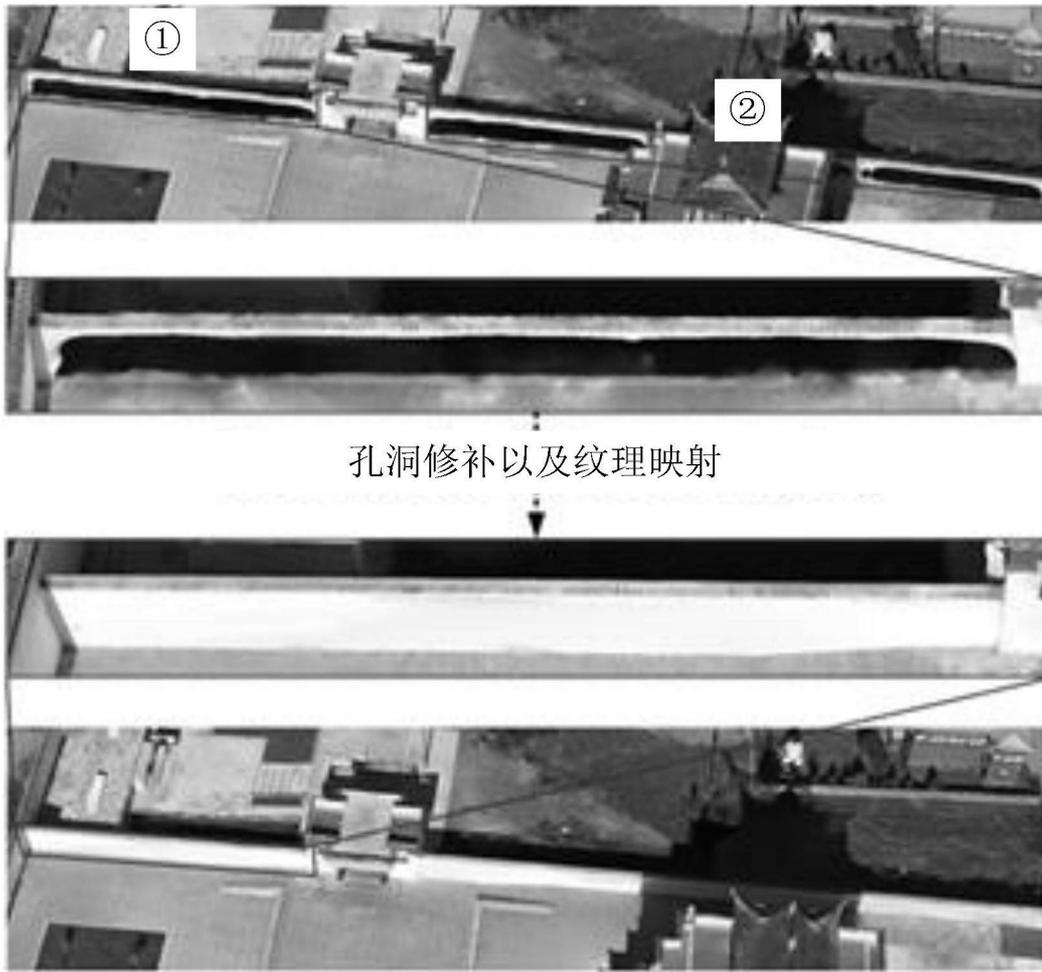


图8

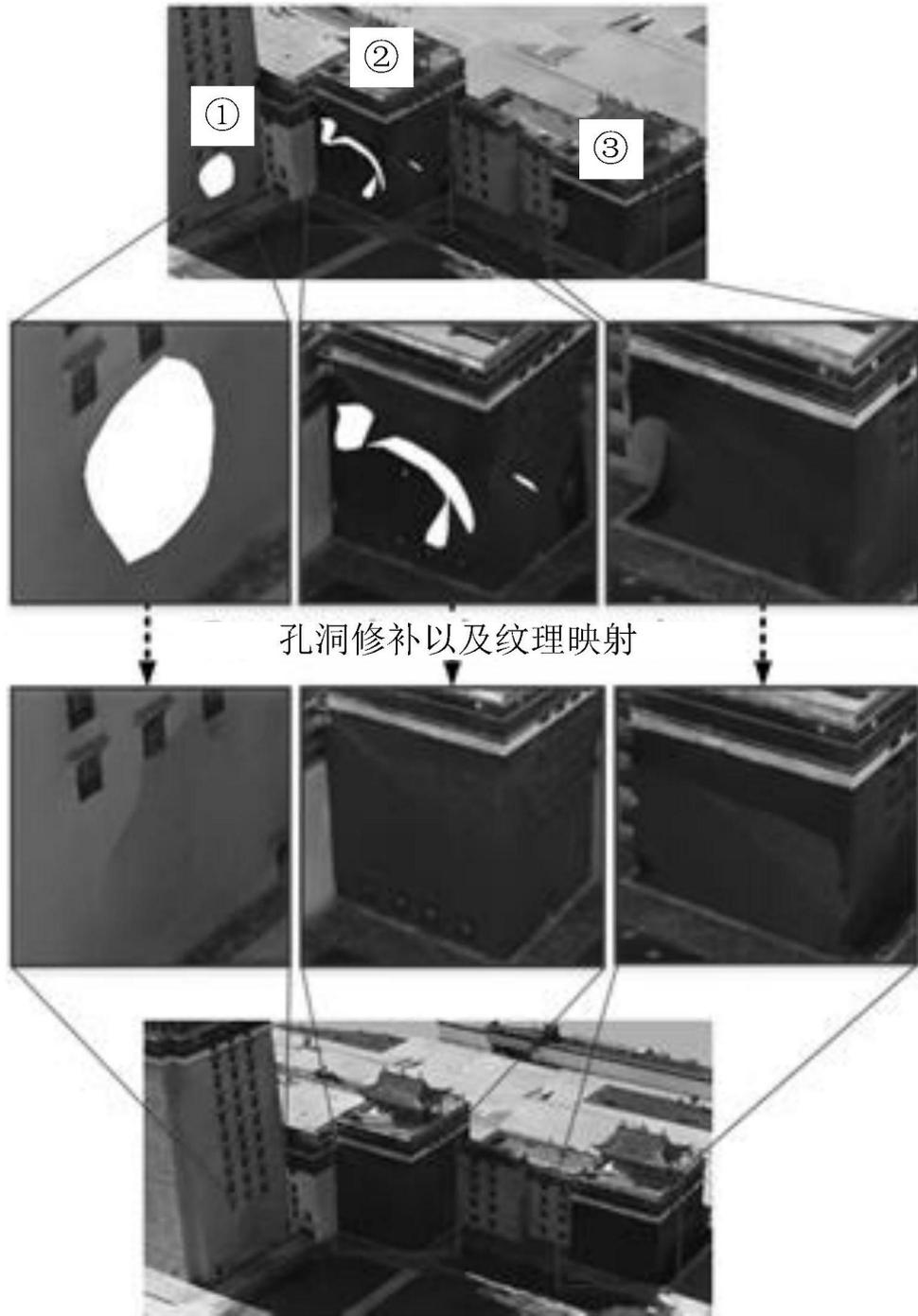


图9

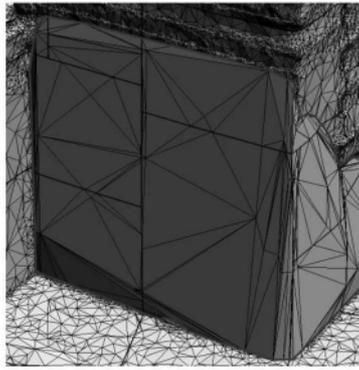


图10

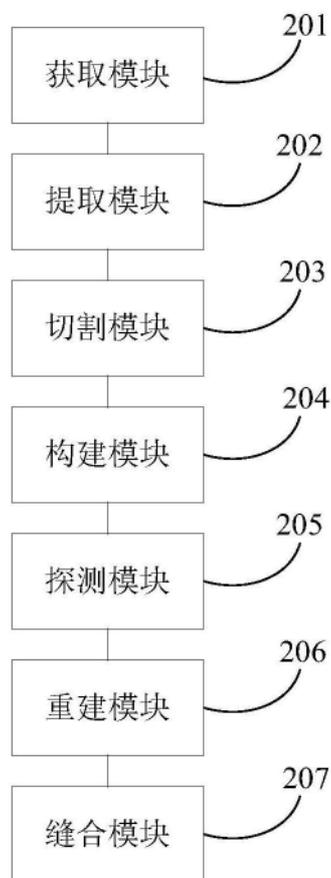


图11