



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112581457 B

(45) 授权公告日 2023. 12. 12

(21) 申请号 202011539502.3

G06T 7/13 (2017.01)

(22) 申请日 2020.12.23

G06T 7/30 (2017.01)

G06T 17/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112581457 A

(43) 申请公布日 2021.03.30

(73) 专利权人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路
122号

(72) 发明人 罗瑞良 郭金雨 赵康 陶孟仑

陈叙 张衍 韩烜赫 黄焕杰
王傲

(74) 专利代理机构 武汉智嘉联合知识产权代理

事务所(普通合伙) 42231

专利代理师 易贤卫

(51) Int. Cl.

G06T 7/00 (2017.01)

(56) 对比文件

CN 111709981 A, 2020.09.25

CN 109345620 A, 2019.02.15

CN 109242828 A, 2019.01.18

US 2020388044 A1, 2020.12.10

CN 107220928 A, 2017.09.29

CN 110335295 A, 2019.10.15

孙伟栋 等. 基于逆向工程技术的含凹陷管道极限强度分析. 西安石油大学学报(自然科学版). 2019, 第34卷(第5期), 全文.

吴挺 等. 基于主动式全景视觉传感器的管道内部缺陷检测方法. 仪器仪表学报. 2015, 第36卷(第10期), 全文.

审查员 邵金

权利要求书2页 说明书11页 附图8页

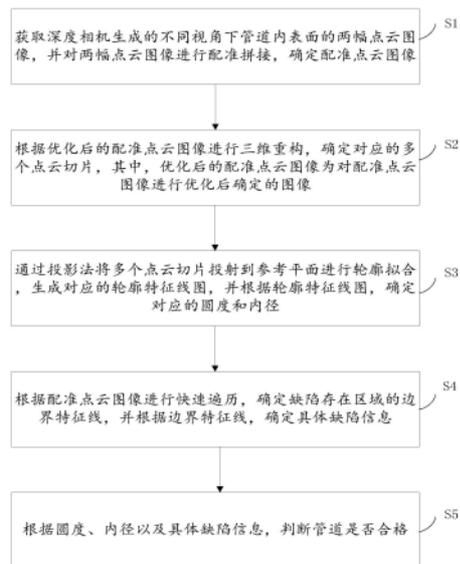
(54) 发明名称

一种基于三维点云的管道内表面检测方法
及装置

(57) 摘要

本发明涉及一种基于三维点云的管道内表面检测方法及装置, 该方法包括: 获取深度相机生成的不同视角下管道内表面的两幅点云图像, 并对两幅点云图像进行配准拼接; 根据配准点云图像进行三维重构, 确定对应的多个点云切片; 通过投影法将多个点云切片投射到参考平面进行轮廓拟合, 生成对应的轮廓特征线图, 并根据轮廓特征线图, 确定对应的圆度和内径; 根据配准点云图像进行快速遍历, 确定对应的边界特征线, 并根据边界特征线, 确定具体缺陷信息; 根据圆度、内径以及具体缺陷信息, 判断管道是否合格。本发明对点云图像进行配准并进行三维重构, 进一步进行切割、识别, 测量管道内表面的质量情况, 保证管道检测的精准度, 且节约了人工成本。

CN 112581457 B



1. 一种基于三维点云的管道内表面检测方法,其特征在于,包括如下步骤:

获取深度相机生成的不同视角下管道内表面的两幅点云图像,并对两幅所述点云图像进行配准拼接,确定配准点云图像;

根据优化后的配准点云图像进行三维重构,确定对应的多个点云切片,其中,所述优化后的配准点云图像为对所述配准点云图像进行优化后确定的图像;

通过投影法将多个所述点云切片投射到参考平面进行轮廓拟合,生成对应的轮廓特征线图,并根据所述轮廓特征线图,确定对应的圆度和内径;

根据所述配准点云图像进行快速遍历,确定缺陷存在区域的边界特征线,并根据所述边界特征线,确定具体缺陷信息;

根据所述圆度、所述内径以及所述具体缺陷信息,判断管道是否合格。

2. 根据权利要求1所述的基于三维点云的管道内表面检测方法,其特征在于,所述对两幅所述点云图像进行配准拼接,确定配准点云图像包括:

根据正态分布变换算法对两幅所述点云图像进行粗配准,确定两幅所述点云图像之间的初步旋转平移矩阵;

根据迭代最近算法对所述粗配准点云图像进行精配准,确定两幅所述点云图像之间的最优旋转平移矩阵,其中,所述粗配准点云图像为两幅所述点云图像经过所述初步旋转平移矩阵进行粗配准后得到的配准图像;

根据所述最优旋转平移矩阵和两幅所述点云图像,确定所述配准点云图像。

3. 根据权利要求2所述的基于三维点云的管道内表面检测方法,其特征在于,在所述根据所述配准点云图像进行三维重构,确定对应的多个点云切片的步骤之前,对所述配准点云图像进行优化处理,确定所述优化后的配准点云图像,具体包括:

根据设定第一滤波阈值的直通滤波器,对所述配准点云图像去除离群点;

对去除离群点后的配准点云图像的k邻域进行最小二乘法平面拟合估计,确定对应的目标法向量;

根据所述目标法向量,对所述去除离群点后的配准点云图像进行双边滤波,修正采样点的位置,确定所述优化后的配准点云图像。

4. 根据权利要求2所述的基于三维点云的管道内表面检测方法,其特征在于,所述根据优化后的配准点云图像进行三维重构,确定对应的多个点云切片包括:

根据所述优化后的配准点云图像进行空间拟合,确定所述管道的中心轴线法向量;

根据所述优化后的配准点云图像进行分割处理,确定多个所述点云切片,其中,所述点云切片的方向由所述管道的中心轴线法向量而确定;

根据多个所述点云切片分别进行曲面拟合,确定对应的片段曲面;

根据多个所述片段曲面进行拼接,生成所述管道对应的完整曲面;

根据所述完整曲面进行三维重构,生成所述管道对应的三维模型。

5. 根据权利要求4所述的基于三维点云的管道内表面检测方法,其特征在于,所述通过投影法将多个所述点云切片投射到参考平面进行轮廓拟合,生成对应的轮廓特征线图包括:

建立栅格化的所述参考平面;

根据所述参考平面的栅格边长,确定投影范围;

根据所述投影范围,通过投影法将多个所述点云切片的每片邻域内的点投射到所述参考平面上对应的栅格中,生成对应的投影图像;

根据所述投影图像进行B样条曲线的拟合,生成对应的拟合投影图像;

通过连通域降噪法去除所述拟合投影图像中的噪声点和偏离点,并对所述拟合投影图像中的微小轮廓进行闭操作粘合,生成对应的所述轮廓特征线图。

6. 根据权利要求5所述的基于三维点云的管道内表面检测方法,其特征在于,所述根据所述轮廓特征线图,确定对应的圆度和内径包括:

判断所述轮廓特征线图是否为圆形轮廓;

若是圆形轮廓,则获取所述轮廓特征线图的面积和周长;

根据所述轮廓特征线图的面积和周长,分别确定对应的所述圆度和对应的所述内径。

7. 根据权利要求6所述的基于三维点云的管道内表面检测方法,其特征在于,所述具体缺陷信息包括缺陷坐标和缺陷轮廓,所述根据所述配准点云图像进行快速遍历,确定缺陷存在区域的边界特征线,并根据所述边界特征线,确定具体缺陷信息包括:

根据所述三维模型,确定所述缺陷存在区域;

通过KD树快速遍历,对所述配准点云图像中每个采样点的领域点进行遍历;

若所述领域点和所述采样点的夹角超过角度阈值,则所述采样点为边界点;

根据所述边界点,生成所述边界特征线;

根据所述缺陷存在区域和所述边界特征线,确定所述缺陷坐标和所述缺陷轮廓。

8. 根据权利要求7所述的基于三维点云的管道内表面检测方法,其特征在于,所述根据所述圆度、所述内径以及所述具体缺陷信息,判断管道是否合格包括:

判断多个所述点云切片对应的所述圆度和所述内径是否满足尺寸条件,若都满足,则所述管道的尺寸合格;

判断所述缺陷坐标和所述缺陷轮廓是否满足缺陷存在条件,若不满足,则所述管道的质量合格。

9. 根据权利要求1-8任一项所述的基于三维点云的管道内表面检测方法,其特征在于,在所述并对两幅所述点云图像进行配准拼接,确定配准点云图像的步骤之前还包括:

根据两幅所述点云图像,分别建立对应的三维体素栅格;

针对所述三维体素栅格,确定对应的体素重心;

根据每个所述体素重心,对对应的所述三维体素栅格内的点云数据进行下采样。

10. 一种基于三维点云的管道内表面检测装置,其特征在于,包括处理器以及存储器,所述存储器上存储有计算机程序,所述计算机程序被所述处理器执行时,实现如权利要求1-9任一项所述的基于三维点云的管道内表面检测方法。

一种基于三维点云的管道内表面检测方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及无损检测技术领域,尤其涉及一种基于三维点云的管道内表面检测方法及装置。

背景技术

[0002] 目前,我国在城镇市政工程、住宅建设、农业灌溉、交通运输建设等各领域大力推进塑料管道的应用,但是由于生产工艺的限制,国内厂家生产出的管道往往伴随着“壁厚不均匀”、“管道弯曲”、“表面不平”、“表面存在裂缝”等问题。在“西气东输”等工程中,倘若出现了质量不合格的管道,会对整个工程造成巨大的危害。因此,一种可靠的管道检测方法是必须的。

[0003] 现有技术中,存在两类方法对管道进行检测。第一类为外观检测法,主要依靠肉眼直接观看,或者使用外径和色温适当的三基色灯具伸入管道内点亮后用肉眼观察,该方法由于是使用肉眼查看,容易出现错看、漏看的情况。第二类则是超声波测量法,使用超声波厚度测量仪,抽取管道中相同间隔的十个点进行测量,该方法在测量精度有一定的保证,但检测方法属于抽样检测,无法实现对管道的全面检测。综上,现有管道检测技术的检测精度和检测范围都难以有效地满足实际应用要求,因此,如何进行准确而全面的管道质量检测是亟待解决的问题。

发明内容

[0004] 有鉴于此,有必要提供一种基于三维点云的管道内表面检测方法及装置,用以解决如何进行准确而全面的管道质量检测的问题。

[0005] 本发明提供一种基于三维点云的管道内表面检测方法,包括:

[0006] 获取深度相机生成的不同视角下管道内表面的两幅点云图像,并对两幅所述点云图像进行配准拼接,确定配准点云图像;

[0007] 根据优化后的配准点云图像进行三维重构,确定对应的多个点云切片;

[0008] 通过投影法将多个所述点云切片投射到参考平面进行轮廓拟合,生成对应的轮廓特征线图,并根据所述轮廓特征线图,确定对应的圆度和内径;

[0009] 根据所述配准点云图像进行快速遍历,确定缺陷存在区域的边界特征线,并根据所述边界特征线,确定具体缺陷信息;

[0010] 根据所述圆度、所述内径以及所述具体缺陷信息,判断管道是否合格。

[0011] 进一步地,所述对两幅所述点云图像进行配准拼接,确定配准点云图像包括:

[0012] 根据正态分布变换算法对两幅所述点云图像进行粗配准,确定两幅所述点云图像之间的初步旋转平移矩阵;

[0013] 根据迭代最近算法对粗配准点云图像进行精配准,确定两幅所述点云图像之间的最优旋转平移矩阵,其中,所述粗配准点云图像为两幅所述点云图像经过所述初步旋转平移矩阵进行粗配准后得到的配准图像;

- [0014] 根据所述最优旋转平移矩阵和两幅所述点云图像,确定所述配准点云图像。
- [0015] 进一步地,在所述根据所述配准点云图像进行三维重构,确定对应的多个点云切片的步骤之前,对所述配准点云图像进行优化处理,确定所述优化后的配准点云图像,具体包括:
- [0016] 根据设定第一滤波阈值的直通滤波器,对所述配准点云图像去除离群点;
- [0017] 对去除离群点后的配准点云图像的k邻域进行最小二乘法平面拟合估计,确定对应的目标法向量;
- [0018] 根据所述目标法向量,对所述去除离群点后的配准点云图像进行双边滤波,修正采样点的位置,确定所述优化后的配准点云图像。
- [0019] 进一步地,所述根据优化后的配准点云图像进行三维重构,确定对应的多个点云切片包括:
- [0020] 根据所述优化后的配准点云图像进行空间拟合,确定所述管道的中心轴线法向量;
- [0021] 根据所述优化后的配准点云图像进行分割处理,确定多个所述点云切片,其中,所述点云切片的方向由所述管道的中心轴线法向量而确定;
- [0022] 根据多个所述点云切片分别进行曲面拟合,确定对应的片段曲面;
- [0023] 根据多个所述片段曲面进行拼接,生成所述管道对应的完整曲面;
- [0024] 根据所述完整曲面进行三维重构,生成所述管道对应的三维模型。
- [0025] 进一步地,所述通过投影法将多个所述点云切片投射到参考平面进行轮廓拟合,生成对应的轮廓特征线图包括:
- [0026] 建立栅格化的所述参考平面;
- [0027] 根据所述参考平面的栅格边长,确定投影范围;
- [0028] 根据所述投影范围,通过投影法将多个所述点云切片的每片邻域内的点投射到所述参考平面上对应的栅格中,生成对应的投影图像;
- [0029] 根据所述投影图像进行B样条曲线的拟合,生成对应的拟合投影图像;
- [0030] 通过连通域降噪法去除所述拟合投影图像中的噪声点和偏离点,并对所述拟合投影图像中的微小轮廓进行闭操作粘合,生成对应的所述轮廓特征线图。
- [0031] 进一步地,所述根据所述轮廓特征线图,确定对应的圆度和内径包括:
- [0032] 判断所述轮廓特征线图是否为圆形轮廓;
- [0033] 若是圆形轮廓,则获取所述轮廓特征线图的面积和周长;
- [0034] 根据所述轮廓特征线图的面积和周长,分别确定对应的所述圆度和对应的所述内径。
- [0035] 进一步地,所述具体缺陷信息包括缺陷坐标和缺陷轮廓,所述根据所述配准点云图像进行快速遍历,确定缺陷存在区域的边界特征线,并根据所述边界特征线,确定具体缺陷信息包括:
- [0036] 根据所述三维模型,确定所述缺陷存在区域;
- [0037] 通过KD树快速遍历,对所述配准点云图像中每个采样点的领域点进行遍历;
- [0038] 若所述领域点和所述采样点的夹角超过角度阈值,则所述采样点为边界点;
- [0039] 根据所述边界点,生成所述边界特征线;

- [0040] 根据所述缺陷存在区域和所述边界特征线,确定所述缺陷坐标和所述缺陷轮廓。
- [0041] 进一步地,所述根据所述圆度、所述内径以及所述具体缺陷信息,判断管道是否合格包括:
- [0042] 判断多个所述点云切片对应的所述圆度和所述内径是否满足尺寸条件,若都满足,则所述管道的尺寸合格;
- [0043] 判断所述缺陷坐标和所述缺陷轮廓是否满足缺陷存在条件,若不满足,则所述管道的质量合格。
- [0044] 进一步地,在所述并对两幅所述点云图像进行配准拼接,确定配准点云图像的步骤之前还包括:
- [0045] 根据两幅所述点云图像,分别建立对应的三维体素栅格;
- [0046] 针对所述三维体素栅格,确定对应的体素重心;
- [0047] 根据每个所述体素重心,对对应的所述三维体素栅格内的点云数据进行下采样。
- [0048] 本发明还提供一种基于三维点云的管道内表面检测装置,包括处理器以及存储器,所述存储器上存储有计算机程序,所述计算机程序被所述处理器执行时,实现如上所述的基于三维点云的管道内表面检测方法。
- [0049] 与现有技术相比,本发明的有益效果包括:首先,通过对两幅点云图像进行配准拼接,有效将不同视角下的点云图像统一在全局坐标系下,便于后续的图像重构;进而,利用其中的点云数据进行有效的三维重构,确定对应的三维模型,在此过程中,确定管道对应的点云切片,以多个点云切片有效反映管道的构成;然后,利用多个点云切片到参考平面的投影,确定管道不同部分的内径和圆度,以此有效判断管道的尺寸,同时,利用对配准点云图像的快速遍历结果,以边界特征线有效反映管道凸起、凹陷的特征,高效确定具体缺陷信息;最后,利用内径、圆度以及具体缺陷信息,结合多方面特征,综合判定管道质量,以此保证对管道的全面检测,并提高了检测的准确度。综上,本发明对点云图像进行配准并进行三维重构,进一步进行切割、识别,测量管道内表面的质量情况,保证管道检测的精准度,且节约了人工成本。

附图说明

- [0050] 图1为本发明提供的基于三维点云的管道内表面检测方法的流程示意图;
- [0051] 图2为本发明提供的配准拼接的流程示意图;
- [0052] 图3为本发明提供的优化处理的流程示意图;
- [0053] 图4为本发明提供的三维重构的流程示意图;
- [0054] 图5为本发明提供的生成轮廓特征线图的流程示意图;
- [0055] 图6为本发明提供的确定圆度和内径的流程示意图;
- [0056] 图7为本发明提供的确定具体缺陷信息的流程示意图;
- [0057] 图8为本发明提供的判断管道合格的流程示意图;
- [0058] 图9为本发明提供的点云下采样的流程示意图;
- [0059] 图10为本发明提供的基于三维点云的管道内表面检测装置的结构示意图。

具体实施方式

[0060] 下面结合附图来具体描述本发明的优选实施例,其中,附图构成本申请一部分,并与本发明的实施例一起用于阐释本发明的原理,并非用于限定本发明的范围。

[0061] 实施例1

[0062] 本发明实施例提供了一种基于三维点云的管道内表面检测方法,结合图1来看,图1为本发明提供的基于三维点云的管道内表面检测方法的流程示意图,上述基于三维点云的管道内表面检测方法包括步骤S1至步骤S5,其中:

[0063] 在步骤S1中,获取深度相机生成的不同视角下管道内表面的两幅点云图像,并对两幅点云图像进行配准拼接,确定配准点云图像;

[0064] 在步骤S2中,根据优化后的配准点云图像进行三维重构,确定对应的多个点云切片;

[0065] 在步骤S3中,通过投影法将多个点云切片投射到参考平面进行轮廓拟合,生成对应的轮廓特征线图,并根据轮廓特征线图,确定对应的圆度和内径;

[0066] 在步骤S4中,根据配准点云图像进行快速遍历,确定缺陷存在区域的边界特征线,并根据边界特征线,确定具体缺陷信息;

[0067] 在步骤S5中,根据圆度、内径以及具体缺陷信息,判断管道是否合格。

[0068] 在本发明实施例中,首先,通过对两幅点云图像进行配准拼接,有效将不同视角下的点云图像统一在全局坐标系下,便于后续的图像重构;进而,利用其中的点云数据进行有效的三维重构,确定对应的三维模型,在此过程中,确定管道对应的点云切片,以多个点云切片有效反映管道的构成;然后,利用多个点云切片到参考平面的投影,确定管道不同部分的内径和圆度,以此有效判断管道的尺寸,同时,利用对配准点云图像的快速遍历结果,以边界特征线有效反映管道凸起、凹陷的特征,高效确定具体缺陷信息;最后,利用内径、圆度以及具体缺陷信息,结合多方面特征,综合判定管道质量,以此保证对管道的全面检测,并提高了检测的准确度。

[0069] 优选地,结合图2来看,图2为本发明提供的配准拼接的流程示意图,步骤S1具体包括步骤S11至步骤S13,其中:

[0070] 在步骤S11中,根据正态分布变换算法对两幅点云图像进行粗配准,确定两幅点云图像之间的初步旋转平移矩阵;

[0071] 在步骤S12中,根据迭代最近算法对粗配准点云图像进行精配准,确定两幅点云图像之间的最优旋转平移矩阵,其中,粗配准点云图像为两幅点云图像经过初步旋转平移矩阵进行粗配准后得到的配准图像;

[0072] 在步骤S13中,根据最优旋转平移矩阵和两幅点云图像,确定配准点云图像。

[0073] 由此,由于深度相机捕捉的点云初始位姿不一定完全重合,若位置距离较远,传统的迭代最近算法(ICP算法)配准收敛速度慢,不能满足点云快速化重构的要求,而正态分布变换算法(NDT算法)配准速度较快而精度较低,因而,本发明采用NDT算法进行粗配准获取转换参数,然后采用ICP算法对点云进行精配准,以此保证精确的点云配准。

[0074] 需要说明的是,相机生成出两幅点云图像,其中,两幅图像中的相同的点云需要进行配准,即求两个点云之间的旋转平移矩阵,可以表示为以下方程:

$$[0075] \quad P_t = R \cdot P_s + T \quad (1)$$

[0076] 上式中, P_t 为采样点云 (两幅点云图像中的其中一幅), P_s 为源点云 (两幅点云图像中的另一幅), R 为旋转矩阵, T 为平移矩阵。而 NDT 算法的原理是: 先将捕捉到的管道三维形貌点云数据集划分成均匀的体素单元格, 然后将体素单元中每个三维点位置的测量样本以正态分布的形式呈现。相较于 ICP 算法, NDT 算法的配准过程中不计算对应三维点的特征, 节约了管道检测系统的大量计算时间。因而, 先通过 NDT 算法计算出式 (1) 中的旋转矩阵 R 和平移矩阵 T , 即初步旋转平移矩阵和初步平移矩阵。

[0077] 其中, 得到初步旋转平移矩阵和初步平移矩阵后, 通过 ICP 算法精配准, 进一步计算得到更加精确的旋转、平移矩阵。求解矩阵变换时, 根据最小二乘法迭代找到最优解:

$$[0078] \quad f(R, T) = \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} |P_t^i - R \cdot P_s^i - T|^2 \quad (2)$$

[0079] 上式中, P_t^i 为采样点云, P_s^i 为源点云, R 为旋转矩阵, T 为平移矩阵, N_p 为采样点和源点的点对数 (两幅点云图像中的点云数据数目), 即迭代次数。经过 NDT 算法配准管道内表面点云后, 假设用得到的初步旋转平移矩阵、初步平移矩阵对 P_s^{n-1} 进行变换, 得到的一个变换后的点云 P_s^n 。然后将变换后的点云与采样点云进行比较, 只要两个点云间检测出一组对应点, 其间距在设定的阈值之内, 即可认为这两个点配准成功; 然后用集成的对应点, 对 R 矩阵与 T 矩阵进行估计, 采用最小二乘法对旋转平移矩阵进行最优化求解, 以缩短计算时间。按照上述步骤进行迭代, 直到 R 、 T 的变化量小于一定值或邻近点对不再变化为止。

[0080] 需要说明的是, 在实际图像处理过程中, 调取 PCL 点云库, 通过 IterativeClosestPoint 类提供的 NDT 和 ICP 算法进行精配准, 采用上述方法求解最优的旋转、平移矩阵。迭代时设定一个误差阈值 E , 如果连续的两次迭代误差小于 E 或者迭代次数超出了最大迭代的点对次数 N_p , 则迭代停止。否则将源点云集 P_s^{n-1} 更新为 P_s^n 和 P_t^n , 重复上述步骤, 直至满足收敛条件, 完成点云集间的配准和拼接。

[0081] 优选地, 结合图3来看, 图3为本发明提供的优化处理的流程示意图, 在步骤S2之前, 对配准点云图像进行优化处理, 确定优化后的配准点云图像, 具体包括步骤S001至步骤S003:

[0082] 在步骤S001中, 根据设定第一滤波阈值的直通滤波器, 对配准点云图像去除离群点;

[0083] 在步骤S002中, 对去除离群点后的配准点云图像的 k 邻域进行最小二乘法平面拟合估计, 确定对应的目标法向量;

[0084] 在步骤S003中, 根据目标法向量, 对去除离群点后的配准点云图像进行双边滤波, 修正采样点的位置, 确定优化后的配准点云图像。

[0085] 由此, 依次通过去除离群点、确定目标法向量、双边滤波, 对配准点云图像进行优化, 保证后续精准地三维建模, 便于对准确捕捉管道的特征。

[0086] 需要说明的是, 由于镜头自身的原因以及周围环境的影响, 相机采集的深度图像常常含有较多噪声、离群点和深度值为0的空洞, 会导致采集的点云数据丢失特征信息, 增加三维重建的误差, 为此有必要设计适当的滤波器对其进行修复。

[0087] 具体地, 步骤S001包括: 首先, 利用直通滤波器设置阈值, 消除掉配准点云图像中的圆柱轴线上的高度离散点; 然后, 采用统计滤波器, 对配准点云图像中的每一个点的邻域

进行统计分析,计算它到对应的所有临近点的平均距离。假设得到的点间距离呈现出一个高斯分布 $d \sim N(\mu, \sigma)$,其形状是由均值 μ 和标准差 σ 决定,如下式所示:

$$[0088] \quad \mu = \frac{1}{nk} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k d_{ij}, \sigma = \sqrt{\frac{1}{nk} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k (d_{ij} - \mu)^2} \quad (3)$$

[0089] 其中,平均距离在标准范围(由全局距离平均值和方差定义)之外的点,可以被定义为离群点并从数据中去除,即:

$$[0090] \quad \sum_{j=1}^k d_{ij} > \mu + 3\sigma \text{ or } \sum_{j=1}^k d_{ij} < \mu - 3\sigma \quad (4)$$

[0091] 优选地,在步骤S001与步骤S002之间,还包括:利用像素滤波器,设定好配准点云图像中的采样点的遍历半径,查找像素值为0的点,并结合其周围点的分布状况对配准点云图像中的点云形状的空洞处进行填充。对点云进行二值化处理,将空值的采样点作上标记,然后采用待修复采样点的邻域点估计待修复像素的深度值,如下式所示:

$$[0092] \quad S(u, v) = \begin{cases} D(u, v), D(u, v) \neq 0 \\ 0, D(u, v) = 0 \text{ I}(c_1 < T_1) \text{ I}(c_2 < T_2) \\ M, D(u, v) = 0 \text{ I}(c_1 \geq T_1) \text{ I}(c_2 \geq T_2) \end{cases} \quad (5)$$

[0093] 式中, $S(u, v)$ 表示经过像素滤波器处理后的深度值; $D(u, v)$ 为配准点云图像中的采样点的原始深度值; c_1 、 c_2 分别为滤波器内层 Ω_1 、外层 Ω_2 的非0像素个数; T_1 、 T_2 分别为 Ω_1 、 Ω_2 内的阈值; M 表示邻域 Ω 中出现频度最高的深度值。

[0094] 其中,定义两个滤波器 Ω_1 、 Ω_2 ,找出 Ω 内深度值非空的像素,再将非空像素的数目与二者对应的阈值做比较。如果对应的邻域内非空像素个数大于设定阈值,则用所有高频的非空像素的深度值代替空值像素的深度值;否则不做变动。

[0095] 具体地,步骤S002包括:采用局部表面拟合法是通过对空间点的 k 邻域进行最小二乘法平面拟合估计求解法向量,使得邻域点的向量与目标点法向量的点乘和绝对值尽可能小。

[0096] 其中,设邻域内中心点为 c ,则邻域点的向量与目标点法向量的点乘如下式所示:

$$[0097] \quad p_c = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k p_i \quad (6)$$

[0098] 进一步作目标点对应的协方差矩阵 $C(P)$

$$[0099] \quad C(P) = (c_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} P_1 - P \\ \mathbf{M} \\ P_n - P \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} P_1 - P \\ \mathbf{M} \\ P_n - P \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0100] 通过上式,得到该矩阵的3个特征值 $\lambda_0 < \lambda_1 < \lambda_2$,最小特征值 λ_0 对应的向量即为目标法向量。需要说明的是,目标法向量的计算是为了于双边滤波去噪步骤的进行。单个深度点的法向量只与该点的邻域点空间分布相关,不随物体刚体运动而改变。

[0101] 具体地,步骤S003包括:采用双边滤波器,通过搜索邻域点的加权平均值,修正当

前采样点的位置,从而去除噪声,得到平滑效果,保持边缘特征。在进行去噪前,需要进行法向量估计。法向量估计结束后再进行双边滤波,如下式所示:

$$[0102] \quad P_i' = P_i + \alpha \cdot n_i \quad (8)$$

[0103] 式中: P_i' 为目标点, P_i 为源点, α 为双边滤波因子, n_i 为 P_i 的法向量。

[0104] 其中,双边滤波因子 α 的表达式如下:

$$[0105] \quad \alpha = \frac{\sum_{P_j \in N(P)} W_c(\|P_j - P_i\|) W_s(\|P_j - P_i, n_i\|) \langle P_j - P_i, n_i \rangle}{\sum_{P_j \in N(P)} W_c(\|P_j - P_i\|) W_s(\|P_j - P_i, n_i\|)} \quad (9)$$

[0106] 式中, $N(P)$ 为数据点 P_i 的邻域点; $W_c = e^{-\frac{x^2}{2\sigma_c^2}}$ 、 $W_s = e^{-\frac{x^2}{2\sigma_s^2}}$ 均为高斯核函数,表示近邻

点对 P_i 的影响权值; σ_c 为 P_i 到每个近邻点的距离对该点的影响因子,一般取值为邻域半径; σ_s 为每个近邻点 P_i 在法矢上的投影距离对该点的影响因子,一般取值为近邻点的标准偏差;当 σ_c 确定后,点云在法向上的平滑距离与 σ_s 的取值成正比; $\|P_j - P_i\|$ 表示点 P_j 到 P_i 的空间距离; $\|P_j - P_i, n_i\|$ 表示 P_j 在 P_i 法向上的投影; $\langle P_j - P_i, n_i \rangle$ 表示向量积。 W_c 、 W_s 均会随着两点之间空间距离以及投影距离的增大而缩小。它们的作用是保证邻域特征的相似性。

[0107] 需要说明的是,对双边滤波去噪效果进行试验,取管道内壁深度信息形成的点云中的一部分不平顺点云进行滤波处理,沿点法向的方向分别查取均值、中误差等参数,然后对其做平滑处理。

[0108] 优选地,结合图4来看,图4为本发明提供的三维重构的流程示意图,步骤S2包括步骤S21至步骤S25,其中:

[0109] 在步骤S21中,根据优化后的配准点云图像进行空间拟合,确定管道的中心轴线法向量;

[0110] 在步骤S22中,根据优化后的配准点云图像进行分割处理,确定多个点云切片,其中,点云切片的方向由管道的中心轴线法向量而确定;

[0111] 在步骤S23中,根据多个点云切片分别进行曲面拟合,确定对应的片段曲面;

[0112] 在步骤S24中,根据多个片段曲面进行拼接,生成管道对应的完整曲面;

[0113] 在步骤S25中,根据完整曲面进行三维重构,生成管道对应的三维模型。

[0114] 由此,首先,通过空间拟合确定中心轴线法向量,以此保证点云切片的方向的准确性;然后,对优化后的配准点云图像进行分割处理,确定具有方向特征点云切片;进而,针对每个点云切片进行曲面拟合,确定对应的片段曲面,以有效反映管道多处的结构特征;再对多个片段曲面进行拼接,反映管道整体的结构特征;最后,根据完整曲面进行三维重构,生成精确度高的三维模型。

[0115] 需要说明的是,步骤S21中,在进行点云切片之前,先要对点云进行空间拟合,获得管道片段点云的中心轴线法向量,以确定切片的方向。采用RANSAC算法对片段点云集进行圆柱拟合。该算法具有3D Circle模型,它能从包含大量点云的数据集中估计出圆柱拟合参数,求解精度较高。其大致思路:通过几个点集用最小二乘法给出一个假设的线段,计算在直线内的内点和离散点,在所有可能的线段中找出内点数目最多的线段。

[0116] 需要说明的是,步骤S22中,在对曲面进行重构前,需要对点云进行切片的预处理,

将圆柱形的管道内表面点云分割成小段圆柱形点云,然后各自拟合曲面。其中,点云切片的本质是:用一系列均匀间隔平面与圆柱形点云集进行相交运算,点云将落在平面之间一定厚度的邻域里,并提取出相交的点;然后用虚拟的线段串连平面相交求取的邻近点,获得的集合即为截面点集。

[0117] 其中,完整曲面的生成算法包括但不限于贪婪投影三角化算法(网格插值重建)、NURBS算法(参数曲面重建)和泊松算法(隐式曲面重建)。其中,NURBS算法与贪婪投影三角化算法的曲面失真度、时间复杂度、空间复杂度小,适用于管道曲面内壁的重构。

[0118] 优选地,采用NURBS算法将拟合的各片段曲面进行拼合得到完整曲面,如下式所示:

$$[0119] \quad S(u, \omega) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_{i,k(u)} B_{j,l(v)} W_{i,j} P_{i,j}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_{i,k(u)} B_{j,l(v)} W_{i,j}} \quad (10)$$

[0120] 式中, $P_{i,j}$ ($i=0, L, n; j=0, L, m$) 是呈拓扑矩阵阵列的单点; $W_{i,j}$ 是与 $P_{i,j}$ 有关的加权因子; $B_{i,k(u)}$ 为 u 方向的 k 阶基函数, $B_{j,l(v)}$ 为 v 方向的 l 阶基函数,它们分别由 u 向和 v 向的节点矢量决定。

[0121] 需要说明的是,NURBS算法的核心思想:针对各点云切片上的单点,通过计算加载为具有加权因子的点集;然后根据B样条曲线的边界条件筛选出合适的边界关键点;进而将所求的边界关键点作为 v 向的关键节点;最后沿 v 向依据B样条曲线的反算公式反复迭代得出结果。在图像处理的实际应用中,GLU库中提供了易用的NURBS重构函数,通过`gluNewNurbsRenderer()` 函数构建一个NURBS渲染器,然后利用`gluNurbsProperty()` 函数修改拟合曲面的形状,最后重构、渲染表面,形成三维模型。

[0122] 优选地,结合图5来看,图5为本发明提供的生成轮廓特征线图的流程示意图,步骤S3包括步骤S31至步骤S35,其中:

[0123] 在步骤S31中,建立栅格化的参考平面;

[0124] 在步骤S32中,根据参考平面的栅格边长,确定投影范围;

[0125] 在步骤S33中,根据投影范围,通过投影法将多个点云切片的每片邻域内的点投射到参考平面上对应的栅格中,生成对应的投影图像;

[0126] 在步骤S34中,根据投影图像进行B样条曲线的拟合,生成对应的拟合投影图像;

[0127] 在步骤S35中,通过连通域降噪法去除拟合投影图像中的噪声点和偏离点,并对拟合投影图像中的微小轮廓进行闭操作粘合,生成对应的轮廓特征线图。

[0128] 由此,首先,根据参考平面的栅格,确定投影图像的范围,保证生成准确的投影图像;然后,依次对投影图像进行B样条曲线的拟合、连通域降噪法、闭操作粘合,保证轮廓特征线图的准确性,充分反映管道的结构组成。

[0129] 在本发明的一个具体实施例中,将点云切片后的每片邻域内的点采用投影法投射到一个参考平面上,然后提取特征点,拟合生成轮廓线,再进行识别工作。为了实现点云投影,先建立栅格化的参考平面,将特征点投影到对应栅格中,然后计算栅格边长以固定图像范围。然后调用`pcl::on_nurbs::FittingCurve`类进行B样条曲线的拟合,通过索引联通法

生成轮廓特征线。生成平面轮廓特征线图后,将该图格式转换为可以供OpenCV库调用的Mat类,便于后续图像识别的工作。

[0130] 需要说明的是,在步骤S35中,采用计算量较小的连通域降噪法将图像中的噪声点和偏离点去除,然后进行闭操作粘合可能断开的微小轮廓。

[0131] 优选地,结合图6来看,图6为本发明提供的确定圆度和内径的流程示意图,步骤S3还包括步骤S36至步骤S38,其中:

[0132] 在步骤S36中,判断轮廓特征线图是否为圆形轮廓;

[0133] 在步骤S37中,若是圆形轮廓,则获取轮廓特征线图的面积和周长;

[0134] 在步骤S38中,根据轮廓特征线图的面积和周长,分别确定对应的圆度和对应的内径。

[0135] 由此,首先,对轮廓特征线图的形状进行判断,当其为圆形时,说明该轮廓特征线图是准确的;然后,根据准确的轮廓特征线图,计算其面积和周长,进而确定对应的圆度和对应的内径,从而高效反映管道不同部分的尺寸特征。

[0136] 在本发明一个具体的实施例中,先使用Hough变换函数对图像进行处理识别,确认图像轮廓为圆形轮廓,筛除形状错误的图像;然后调用OpenCV库的findContours()函数检索轮廓;通过contourArea()函数和arcLength()函数求出图形轮廓(即轮廓特征线图)的面积S、周长L;最后根据面积和周长计算出圆度e:

$$[0137] \quad e = \frac{(4\pi \cdot S)}{(L \cdot L)} \quad (11)$$

[0138] 式中,计算得到的圆度e越接近于1,则说明形状轮廓更圆。其中,设定一定圆度阈值,若测量值高于圆度阈值,说明管道的内表面圆度未达到要求。可以理解的是,轮廓特征线图对应的内径为轮廓特征线图的圆形直径,通过面积S、周长L即可有效确定,在此不再赘述。

[0139] 优选地,可以通过以下步骤确定更高精度的圆度:针对轮廓特征线图,采用最小二乘法测算出形成的圆形轮廓的平均半径和质心;确定轮廓特征线图中每个连通域的轮廓,然后遍历每个连通域的轮廓,计算每一点到每个连通域的轮廓的距离,测算出每个连通域的轮廓中的最大包容圆直径与最小包容圆,两者之差即为圆度。

[0140] 优选地,结合图7来看,图7为本发明提供的确定具体缺陷信息的流程示意图,步骤S4包括步骤S41至步骤S45,其中:

[0141] 在步骤S41中,根据三维模型,确定缺陷存在区域;

[0142] 在步骤S42中,通过KD树快速遍历,对配准点云图像中每个采样点的邻域点进行遍历;

[0143] 在步骤S43中,若邻域点和采样点的夹角超过角度阈值,则采样点为边界点;

[0144] 在步骤S44中,根据边界点,生成边界特征线;

[0145] 在步骤S45中,根据缺陷存在区域和边界特征线,确定缺陷坐标和缺陷轮廓。

[0146] 由此,首先,通过三维模型,确定缺陷存在区域,以此初步确定缺陷的大致位置;进而,通过KD树快速遍历每个采样点的邻域点,找出与其距离在一定阈值内的点,计算该点与指定点构成的方向向量间的夹角;最后,验证其是否超出了设定的角度阈值,如果超出该阈值则将其认定为边界点,然后将符合条件的边界特征线提取出来,得到缺陷的大致轮廓。以

此,通过缺陷存在区域和边界特征线,准确定位缺陷位置,以此高效确定缺陷坐标和缺陷轮廓。

[0147] 其中,确定缺陷坐标和缺陷轮廓之后,可计算轮廓周长。若要了解缺陷的具体尺寸,可以搜索该处的二维点云切片,计算二维图中缺陷处的长度、宽度以及突出部的点到轮廓圆心的距离。

[0148] 需要说明的是,因为出料速度、温度、润滑不均等原因,易导致挤出的管道内壁产生一些情况复杂的缺陷,此时深度相机在缺陷区域采集的图像往往伴随点云孔洞、粗糙轮廓和大片区域不全。因此可以通过识别三维点云孔洞的轮廓、二维点云切片的凸出处来找出管道的裂纹、凸起、凹陷等缺陷,因而,本发明通过步骤S41至步骤S45,确定这些情况复杂的缺陷,保证对管道的全面检验。

[0149] 优选地,结合图8来看,图8为本发明提供的判断管道合格的流程示意图,步骤S5包括步骤S51至步骤S52,其中:

[0150] 在步骤S51中,判断多个点云切片对应的圆度和内径是否满足尺寸条件,若都满足,则管道的尺寸合格;

[0151] 在步骤S52中,判断缺陷坐标和缺陷轮廓是否满足缺陷存在条件,若不满足,则管道的质量合格。

[0152] 由此,结合圆度、内径、缺陷坐标和缺陷轮廓,综合地反映管道的结构特征,全面准确地检测管道,保证管道质检的高效性和准确性。

[0153] 优选地,结合图9来看,图9为本发明提供的点云下采样的流程示意图,步骤S1之前包括步骤S01至步骤S03,其中:

[0154] 在步骤S01中,根据两幅点云图像,分别建立对应的三维体素栅格;

[0155] 在步骤S02中,针对三维体素栅格,确定对应的体素重心;

[0156] 在步骤S03中,根据每个体素重心,对对应的三维体素栅格内的点云数据进行下采样。

[0157] 由此,由于深度相机获取的点云数据量很大,一般基于VoxelGrid滤波器,运用体素栅格法对深度图像进行下采样,以减少点云数据。首先根据输入的点云数据创建一个三维体素栅格,然后计算每个体素(即三维立方体)内所有对应点的重心,降低点云密集程度,减少后续运算的工作量,加快处理速度。

[0158] 优选地,在检测出缺陷位置和形状后,可以再次采用NURBS算法回头对三维模型中缺陷造成的点云空洞进行修补。由此,为生产者对管道的后续加工、修复提供有效的参考。

[0159] 实施例2

[0160] 本发明实施例提供了一种基于三维点云的管道内表面检测装置,结合图10来看,图10为本发明提供的基于三维点云的管道内表面检测装置的结构示意图,其中,基于三维点云的管道内表面检测装置1000包括:

[0161] 获取单元1001,用于获取深度相机生成的不同视角下管道内表面的两幅点云图像,并对两幅点云图像进行配准拼接,确定配准点云图像;

[0162] 处理单元1002,用于根据优化后的配准点云图像进行三维重构,确定对应的多个点云切片;还用于通过投影法将多个点云切片投射到参考平面进行轮廓拟合,生成对应的轮廓特征线图,并根据轮廓特征线图,确定对应的圆度和内径;还用于根据配准点云图像进

行快速遍历,确定缺陷存在区域的边界特征线,并根据边界特征线,确定具体缺陷信息;

[0163] 判断单元1003,用于根据圆度、内径以及具体缺陷信息,判断管道是否合格。

[0164] 实施例3

[0165] 本发明实施例提供了一种基于三维点云的管道内表面检测装置,包括处理器以及存储器,存储器上存储有计算机程序,计算机程序被处理器执行时,实现如上所述的基于三维点云的管道内表面检测方法。

[0166] 实施例4

[0167] 本发明实施例提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,计算机该程序被处理器执行时,实现如上所述的基于三维点云的管道内表面检测方法。

[0168] 本发明公开了一种基于三维点云的管道内表面检测方法及装置,在该方法中,首先,通过对两幅点云图像进行配准拼接,有效将不同视角下的点云图像统一在全局坐标系下,便于后续的图像重构;进而,利用其中的点云数据进行有效的三维重构,确定对应的三维模型,在此过程中,确定管道对应的点云切片,以多个点云切片有效反映管道的构成;然后,利用多个点云切片到参考平面的投影,确定管道不同部分的内径和圆度,以此有效判断管道的尺寸,同时,利用对配准点云图像的快速遍历结果,以边界特征线有效反映管道凸起、凹陷的特征,高效确定具体缺陷信息;最后,利用内径、圆度以及具体缺陷信息,结合多方面特征,综合判定管道质量,以此保证对管道的全面检测,并提高了检测的准确度。

[0169] 本发明技术方案,利用配准对原始的两幅点云图像数据进行优化,消除无用和错误的信息,提升处理效率;依托预处理后的配准点云图像进行三维重构,包括切片、曲面重建;对生成的三维图像进行切割、识别,测量尺寸、查出缺陷,首先应对轮廓进行拟合,然后即可测量管道内表面的圆度、内径,对内表面缺陷进行识别、修复对点云图像进行配准并进行三维重构,进一步进行切割、识别,以此高效测量管道内表面的质量情况,保证管道检测的精准度,且节约了人工成本。

[0170] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。

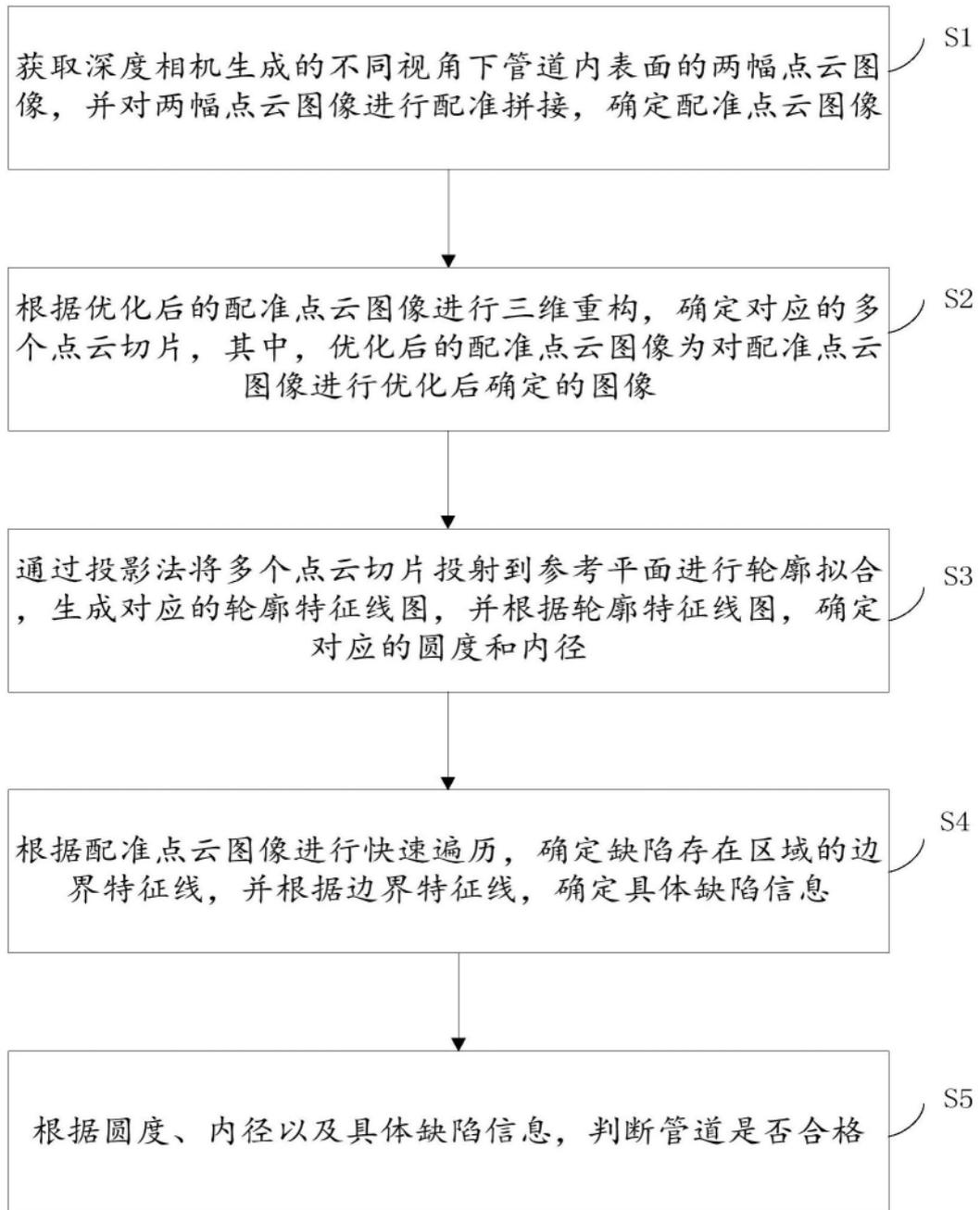


图1

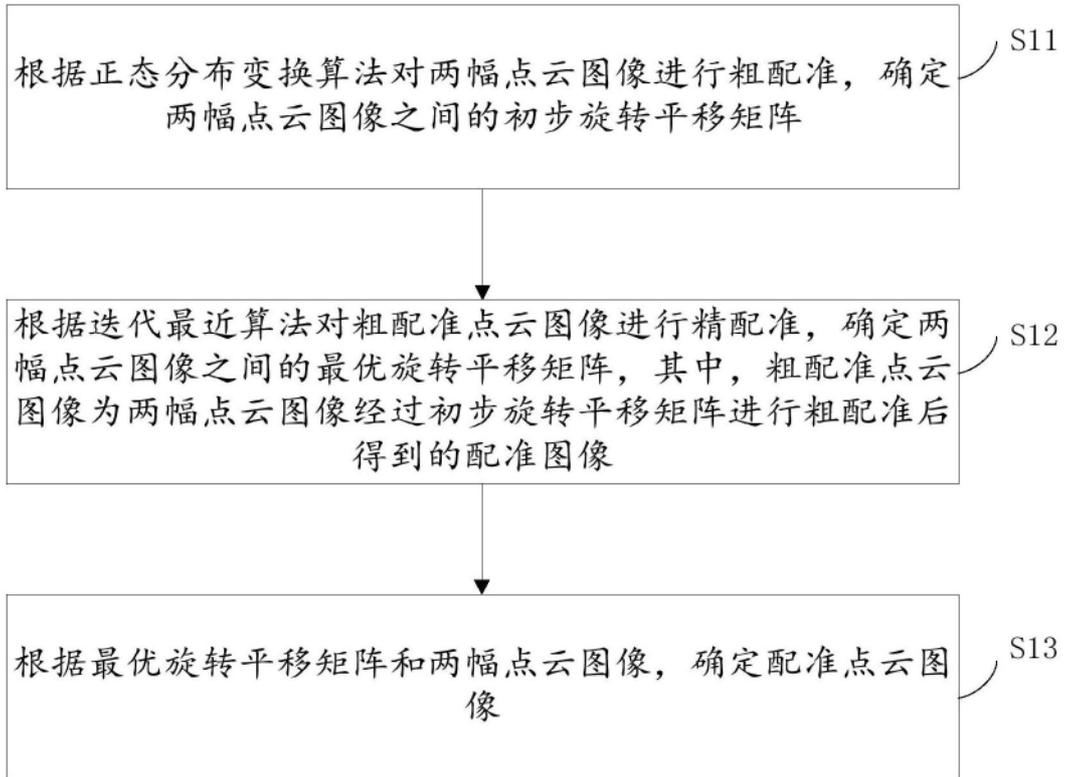


图2

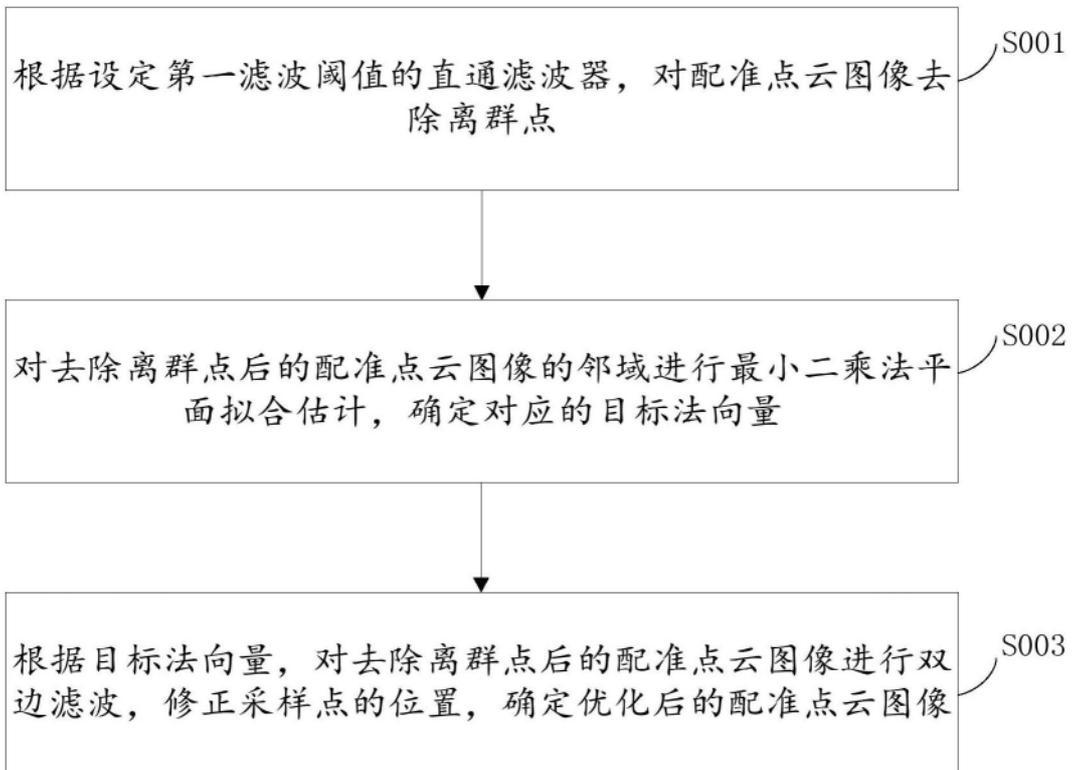


图3

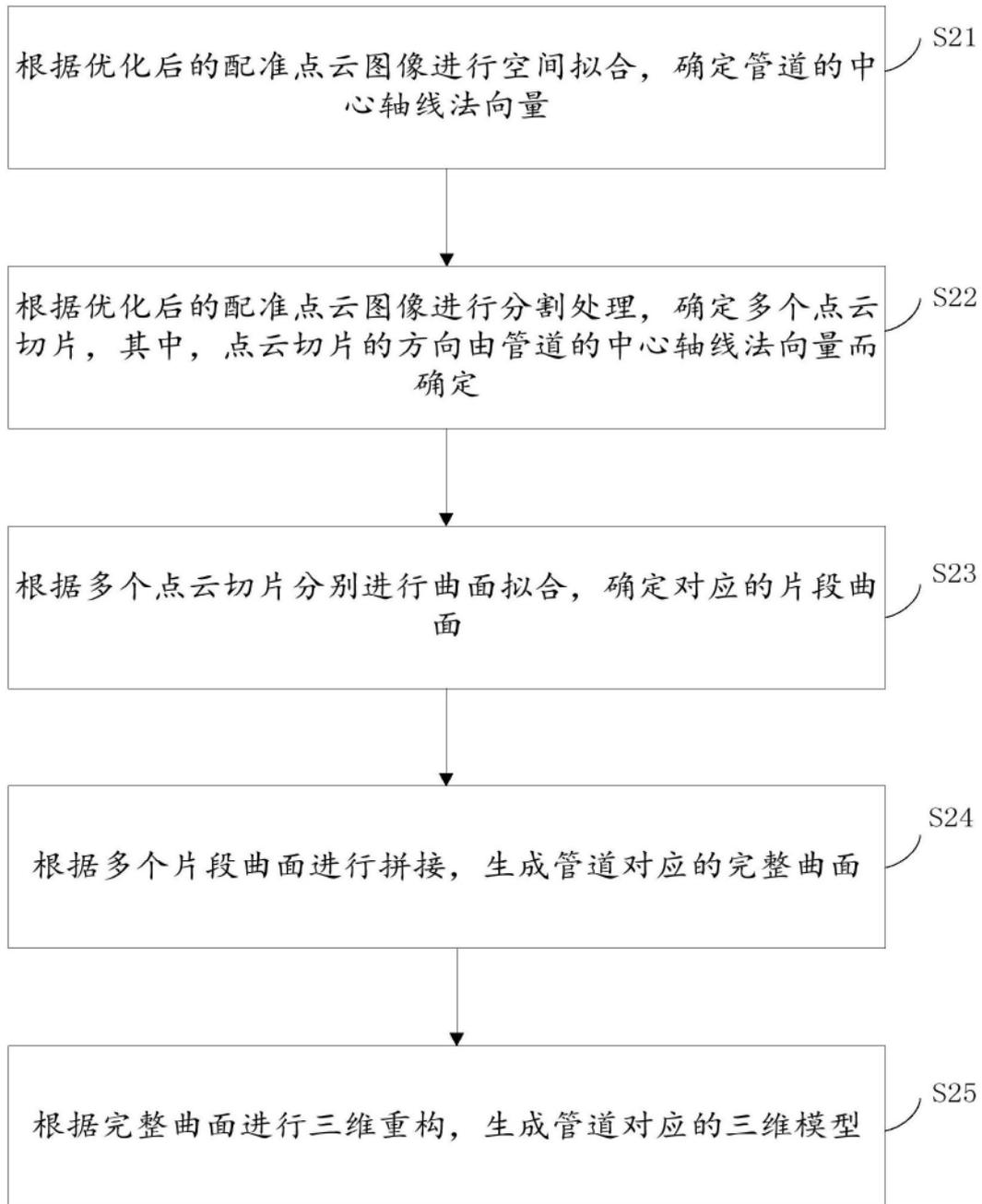


图4

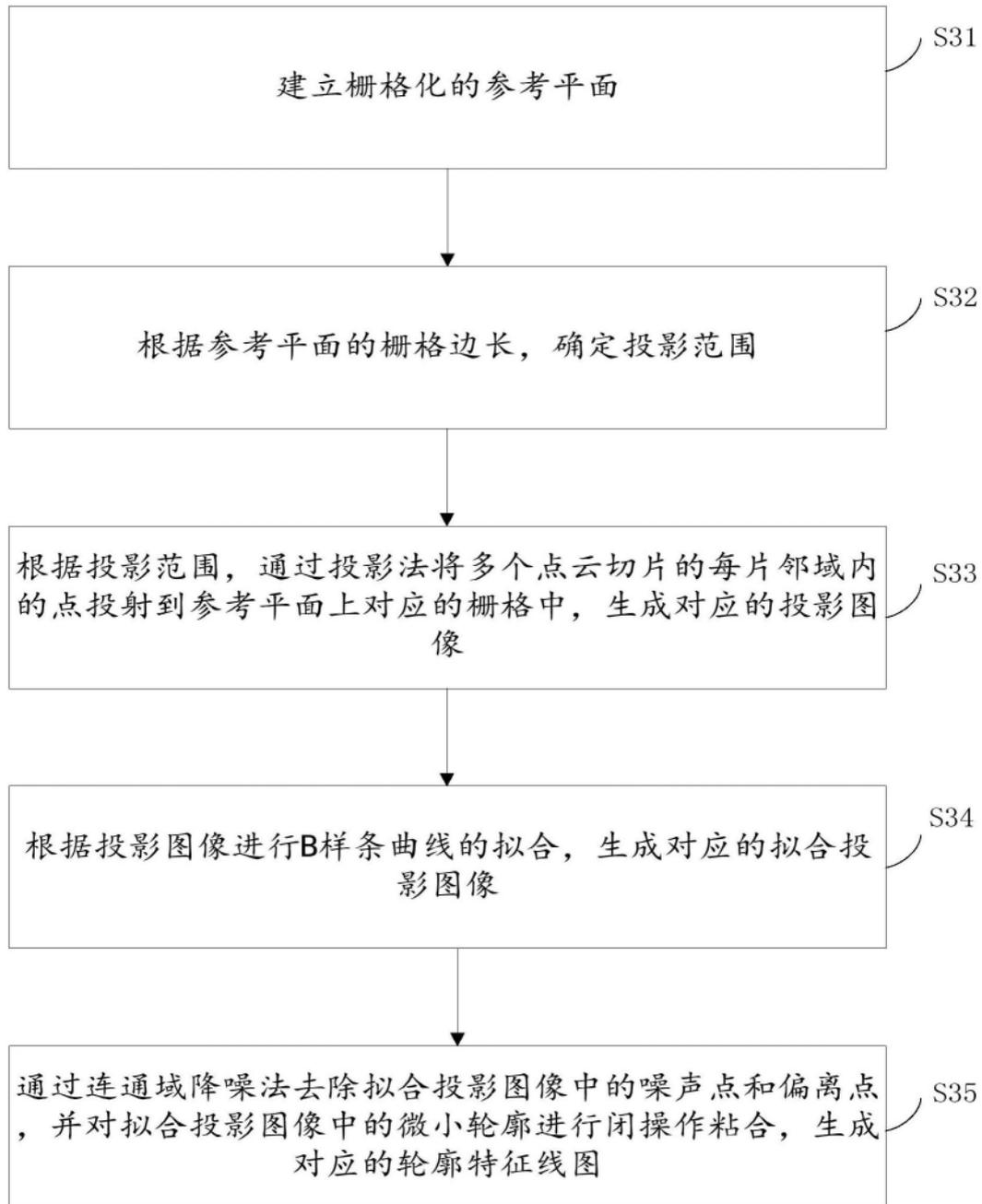


图5

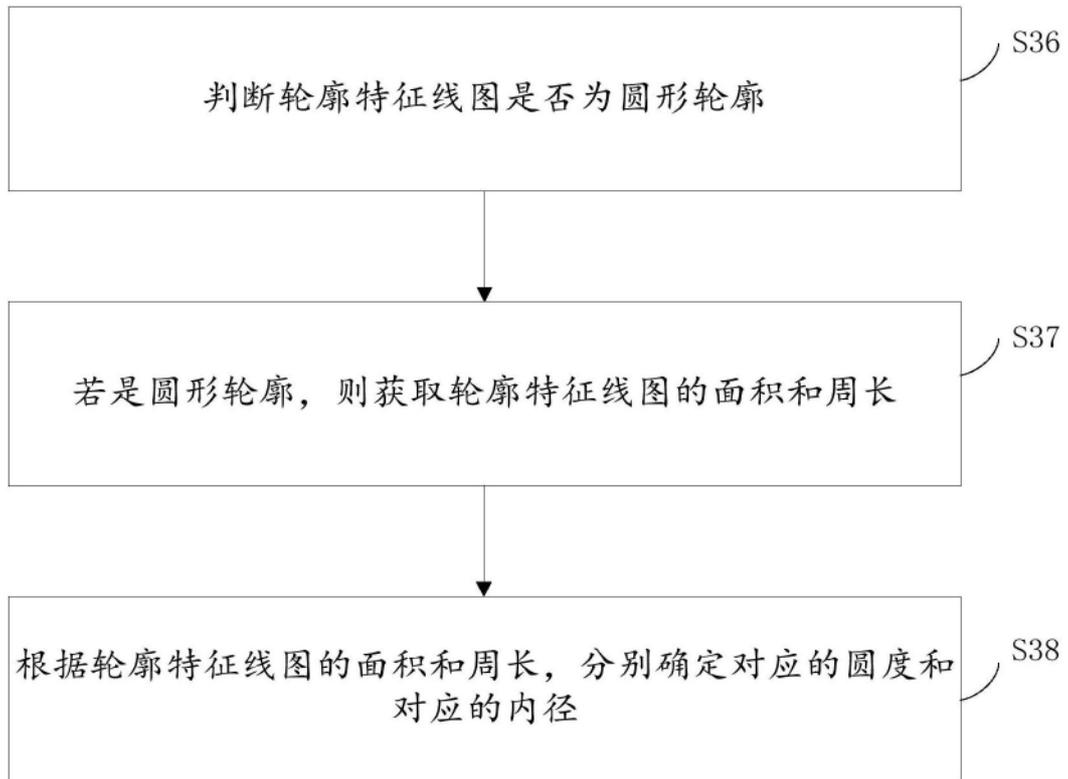


图6

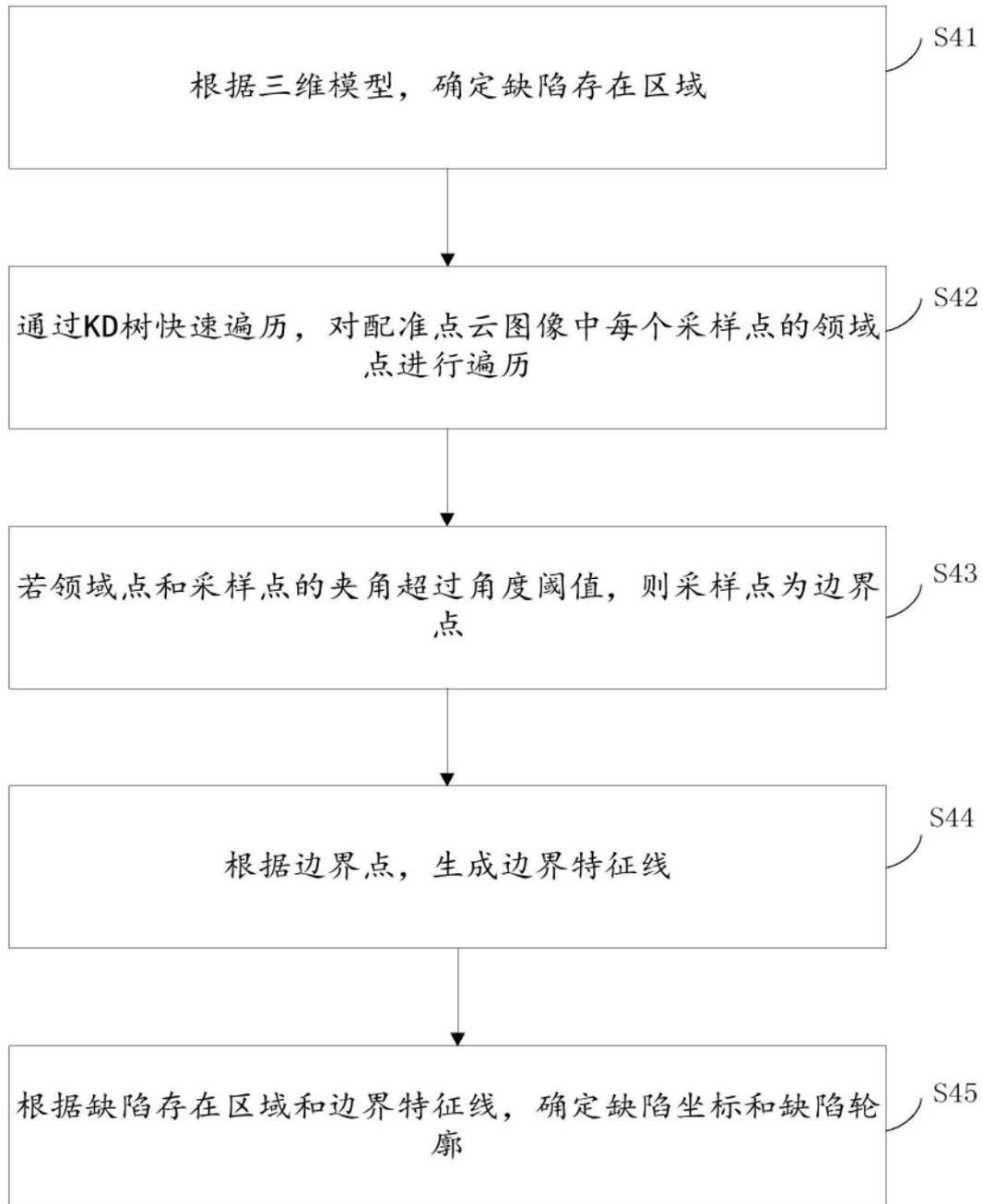


图7

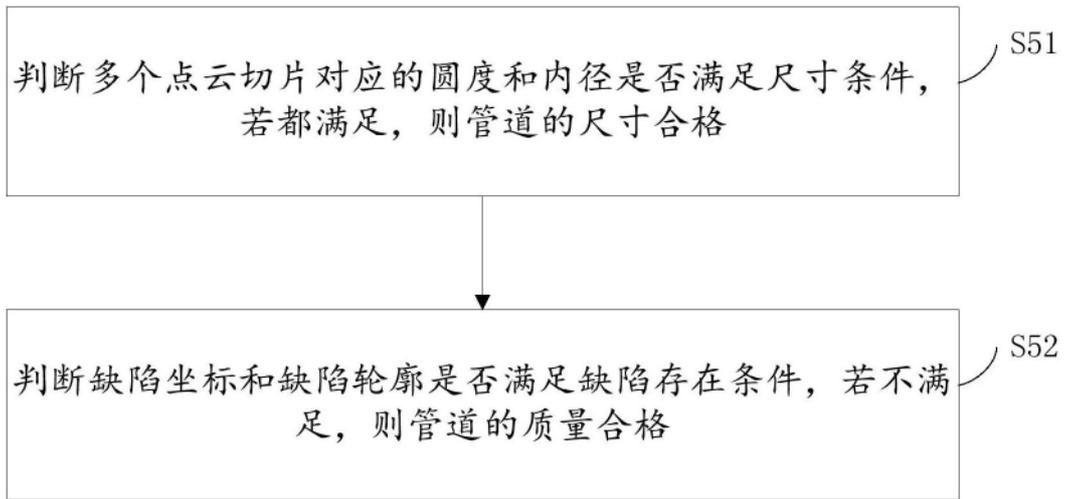


图8

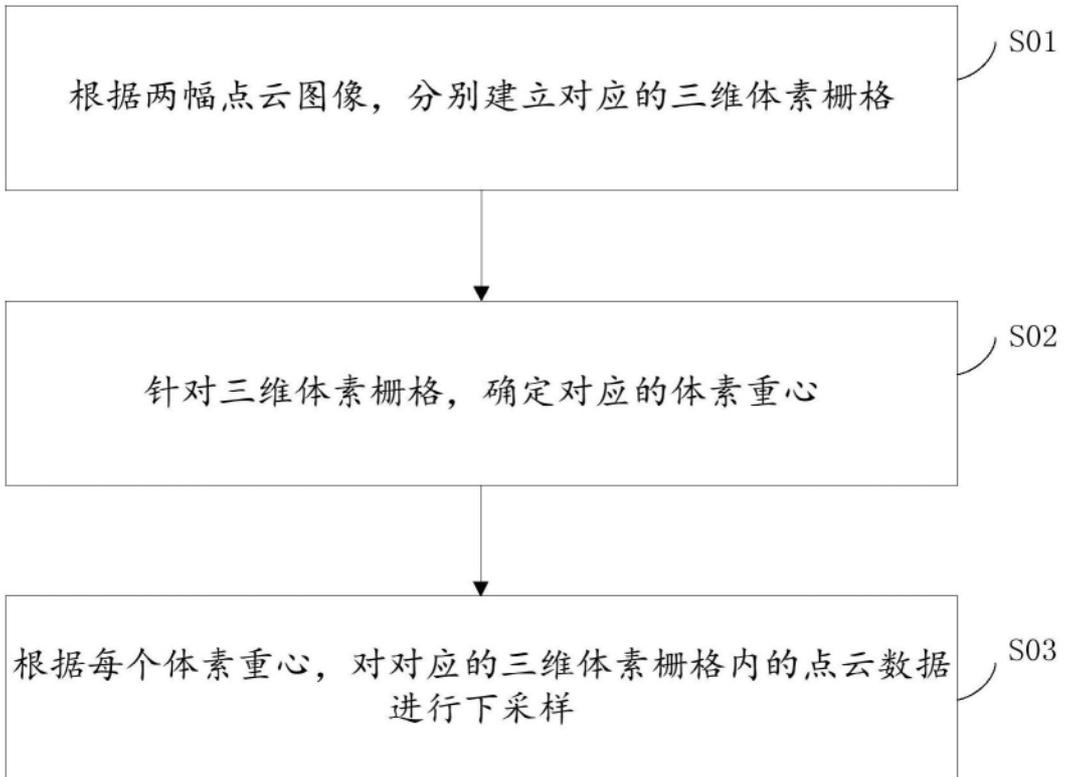


图9

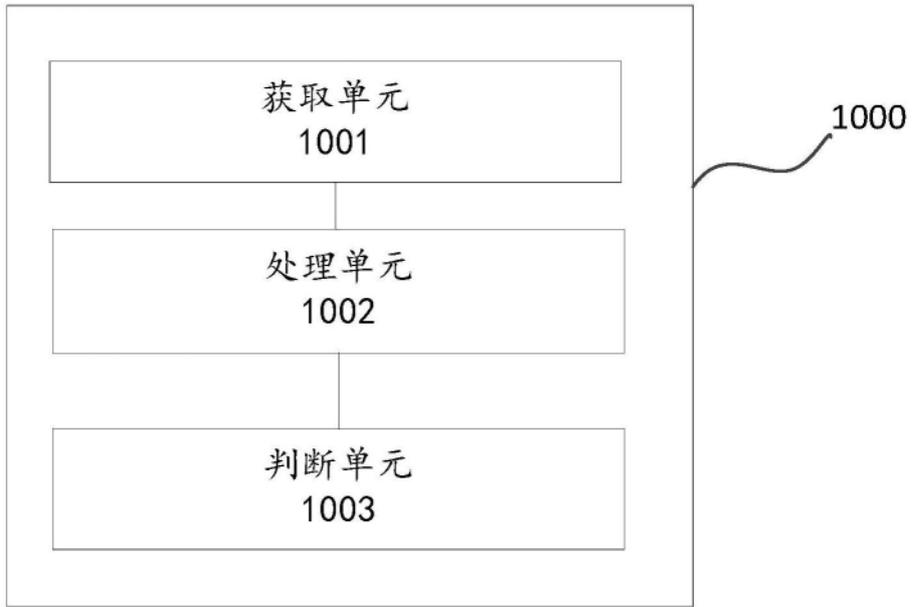


图10