



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117953232 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 30

(21) 申请号 202410006289.1

(22) 申请日 2024.01.03

(71) 申请人 中国船舶集团有限公司第七一八研究所

地址 056027 河北省邯郸市展览路17号

(72) 发明人 李太峰 庞锋 陈松 樊竹 邓辉

(74) 专利代理机构 北京艾纬铂知识产权代理有限公司 16101

专利代理师 吴亚兰

(51) Int. Cl.

G06V 10/44 (2022.01)

G06T 17/00 (2006.01)

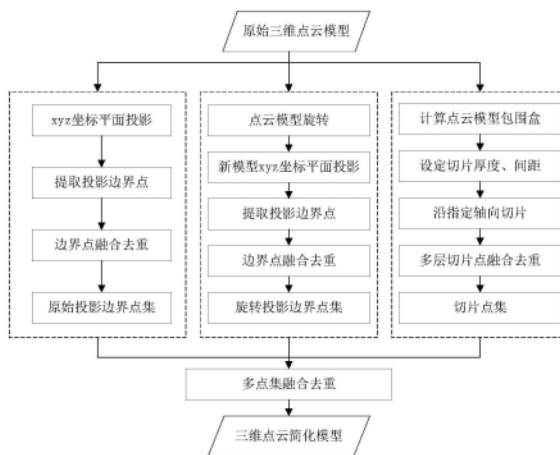
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

基于边界点降维提取的三维点云精简方法

(57) 摘要

一种基于边界点降维提取的三维点云精简方法,主要步骤包括:将原始三维点云模型和旋转后的更新模型分别在xy坐标平面、xz坐标平面、yz坐标平面进行投影,并分别提取投影边界点,获得原始投影边界点集和旋转投影边界点集;计算三维点云模型包围盒尺寸,并沿指定轴向按规定厚度和间距对模型进行等距切片,提取切片边界点获得切片点集;将原始投影边界点集、旋转投影边界点集和切片点集融合去重,得到精简后的三维点云模型。该方法在简化模型规模的同时,能够有效保留原始三维点云模型的边界和特征信息,对待处理模型结构无特殊要求,普适性强,能够大幅提高点云模型处理的精度和效率。



1. 一种基于边界点降维提取的三维点云精简方法,包括以下步骤:

S1,将原始三维点云模型和旋转后的更新模型分别在xy坐标平面、xz坐标平面、yz坐标平面进行投影,并分别提取投影边界点,获得原始投影边界点集和旋转投影边界点集;

S2,计算三维点云模型包围盒尺寸,并沿指定轴向按规定厚度和间距对模型进行等距切片,通过提取切片边界点以及多层切片融合,获得切片点集;

S3,将所述原始投影边界点集、旋转投影边界点集和切片点集融合去重,得到精简后的三维点云模型。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述步骤S1包括:

S11,分别计算原始三维点云模型 $P\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ 在xy、xz、yz平面投影,提取投影边界点,其中,n为点云P中所包含三维点的个数;

S12,将提取到的三个边界点融合,去除重复点,得到原始投影边界点集;

S13,原始三维点云模型按设定角度绕指定坐标轴执行旋转操作;

S14,将旋转操作后的新模型依次执行步骤S11和步骤S12操作,得到旋转投影边界点集。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,所述步骤S2包括:

S21,计算原始三维点云模型包围盒尺寸,设置变量切片厚度a、间距d具体数值;

S22,沿指定轴向,对原始三维点云模型执行等距切片;

S23,提取切片边界点,并将得到的多层切片点融合,得到切片点集。

4. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述步骤S11中,三维点云模型用三维矩阵表示,且模型中仅包含各点的三维坐标数据信息;

采用最大点距法提取二维空间中投影模型边界点。

5. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述步骤S12中,采用唯一函数对融合点集按排列序号进行检索筛选,删除重复点。

6. 根据权利要求2、4、5中任一所述的方法,其特征在于,所述步骤S13的方法包括:

给定弧度制旋转变量 $rx$ 、 $ry$ 、 $rz$ 具体数值,分别依据式(1)、式(2)和式(3)计算三维模型绕x、y、z轴旋转结果:

$$R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(rx) & -\sin(rx) \\ 0 & \sin(rx) & \cos(rx) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos(ry) & 0 & \sin(ry) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(ry) & 0 & \cos(ry) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(rz) & -\sin(rz) & 0 \\ \sin(rz) & \cos(rz) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

再依据式(4)进行旋转操作:

$$P_R = (R_x * R_y * R_z) * P \quad (4)$$

其中,  $R_x$ 、 $R_y$ 、 $R_z$ 分别表示原始模型绕x、y、z轴的旋转矩阵,  $P_R$ 表示将原始模型执行旋转操作后得到的新点云模型。

7. 根据权利要求2所述的方法, 其特征在于, 所述步骤S14中, 根据实际需求对原始三维点云模型执行规定次数的旋转操作, 模型更新后依次计算在三个坐标平面投影, 并执行融合去重操作得到旋转投影边界点集。

8. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于, 所述步骤S21中, 采用各坐标轴的最大值和最小值确定点云模型包围盒长度L、宽度W、高度H, 依据式(5)计算切片层数 $N_c$ ;

$$N_c = \frac{\max[L, W, H]}{a+d} \quad (5)$$

其中,  $\max[L, W, H]$ 表示取包围盒长、宽、高尺寸中的最大值。

9. 根据权利要求8所述的方法, 其特征在于, 所述步骤S23包括:

沿切片轴向, 由切片厚度构建空间包络体, 依据各点轴向坐标值选择包络体空间内的三维点, 构建切片点子集 $q_i, i=1, 2, 3, \dots, N_c$ ,

执行切片点子集融合, 得到切片点集Q。

10. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 所述步骤S3中, 点集融合顺序无限制, 融合后通过检索各点的序号索引值执行去重操作。

## 基于边界点降维提取的三维点云精简方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及计算机视觉和图像处理领域,特别涉及一种基于边界点降维提取的三维点云精简方法。

### 背景技术

[0002] 三维点云是一种用于表示三维空间中对象或场景的数据结构,通过对实际物体或场景表面进行离散扫描获得的一个包含多个三维坐标点的集合。通常可采用激光雷达、立体视觉相机、结构光扫描仪等设备获取,目前随着光学传感器技术的不断发展,三维点云获取精度更高、效率更快、成本更低,应用场景越来越广。当前,在环境感知、路径规划、工业检测、虚拟现实以及医学成像等领域三维点云模型起着越来越重要的作用,由于点云是通过离散采样获得,能够非常精确地捕捉到复杂表面的几何特性。为了获得更加精确、完整的点云数据模型,通常需要提高设备的采样频率并执行重复扫描,完整的点云模型一般包含几万个点,甚至达几百万个点,如此大规模点云为模型计算、存储和处理带来巨大挑战。

[0003] 点云精简也叫点云采样,是一种三维点云模型轻量化处理的有效方法。点云精简操作的关键在于对原模型特征及边界的有效识别和精确提取,在精简过程中一方面需在特征、边界等关键部位保留足够多的点以保证模型的完整性;另一方面在点云总体规模上数量要尽量减少以保证达到轻量化目的。当前,应用最多的简化方法包括随机采样法和均匀采样法,这两种方法结构简单、计算效率高,但是缺乏对模型关键点识别和选择过程,导致精简后模型尺寸与原模型差距较大,丢失部分关键信息,从而降低模型处理精度。

[0004] 此外,进一步的检索发现,CN112270746A公开了一种基于领域协方差特征参数阈值的铝合金3D打印点云精简算法,通过协方差矩阵计算特征参数,在曲率大的特征区保留模型轮廓,但缺少对边界点的保留操作且不适用于特征一致的标准模型,如球体模型。CN115294272A公开了一种基于点云特征分区的自适应点云精简方法,将轮廓线定义为强特征不做简化处理,但未明确轮廓线选择方法,由于点云模型本身就是通过对目标物体的轮廓扫描获得的结果,轮廓线的选择需明确角度和坐标平面。CN115546372A公开了一种基于体素滤波的三维点云精简方法,3D-SIFT算法需提取原始点云图的强特征点,但方法在处理对称结构模型时,对强特征点的识别误差较大。

### 发明内容

[0005] 本公开针对现有技术的以上缺陷或改进需求,提供了一种基于边界点降维提取的三维点云精简方法,通过将原始三维点云模型和旋转后的更新模型分别在xy坐标平面、xz坐标平面、yz坐标平面进行投影,并分别提取投影边界点,获得原始投影边界点集合旋转投影边界点集;接着,计算三维点云模型包围盒尺寸,并沿指定轴向按规定厚度和间距对模型进行等距切片,通过提取切片边界点获得切片点集;最后,将原始投影边界点集、旋转投影边界点集和切片点集融合去重,得到精简后的三维点云模型。实际测试表明,上述方案能够有效解决现有技术精简精度低、完整性差、后处理误差大等关键问题。

[0006] 本公开提供的基于边界点降维提取的三维点云精简方法,主要包括下列步骤:

[0007] S1,将原始三维点云模型和旋转后的更新模型分别在xy坐标平面、xz坐标平面、yz坐标平面进行投影,并分别提取投影边界点,获得原始投影边界点集和旋转投影边界点集;

[0008] S2,计算三维点云模型包围盒尺寸,并沿指定轴向按规定厚度和间距对模型进行等距切片,通过提取切片边界点以及多层切片融合,获得切片点集;

[0009] S3,将所述原始投影边界点集、旋转投影边界点集和切片点集融合去重,得到精简后的三维点云模型。

[0010] 进一步的,所述步骤S1包括:

[0011] S11,分别计算原始三维点云模型P  $\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$  在xy、xz、yz平面投影,提取投影边界点,其中,n为点云P中所包含三维点的个数;

[0012] S12,将提取到的三个边界点融合,去除重复点,得到原始投影边界点集;

[0013] S13,原始三维点云模型按设定角度绕指定坐标轴执行旋转操作;

[0014] S14,将旋转操作后的新模型依次执行步骤S11和步骤S12操作,得到旋转投影边界点集。

[0015] 进一步的,所述步骤S2包括:

[0016] S21,计算原始三维点云模型包围盒尺寸,设置变量切片厚度a、间距d具体数值;

[0017] S22,沿指定轴向,对原始三维点云模型执行等距切片;

[0018] S23,提取切片边界点,并将得到的多层切片点融合,得到切片点集。

[0019] 进一步的,所述步骤S11中,三维点云模型用三维矩阵表示,且模型中仅包含各点的三维坐标数据信息;

[0020] 采用最大点距法提取二维空间中投影模型边界点。

[0021] 进一步的,所述步骤S12中,采用唯一函数对融合点集按排列序号进行检索筛选,删除重复点。

[0022] 进一步的,所述步骤S13的方法包括:

[0023] 给定弧度制旋转变量rx、ry、rz具体数值,分别依据式(1)、式(2)和式(3)计算三维模型绕x、y、z轴旋转结果:

$$[0024] \quad R_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(rx) & -\sin(rx) \\ 0 & \sin(rx) & \cos(rx) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[0025] \quad R_y = \begin{bmatrix} \cos(ry) & 0 & \sin(ry) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(ry) & 0 & \cos(ry) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[0026] \quad R_z = \begin{bmatrix} \cos(rz) & -\sin(rz) & 0 \\ \sin(rz) & \cos(rz) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0027] 再依据式(4)进行旋转操作:

$$[0028] \quad P_R = (R_x * R_y * R_z) * P \quad (4)$$

[0029] 其中,  $R_x$ 、 $R_y$ 、 $R_z$ 分别表示原始模型绕x、y、z轴的旋转矩阵,  $P_R$ 表示将原始模型执行旋转操作后得到的新点云模型。

[0030] 进一步的,所述步骤S14中,根据实际需求对原始三维点云模型执行规定次数的旋转操作,模型更新后依次计算在三个坐标平面投影,并执行融合去重操作得到旋转投影边界点集。

[0031] 进一步的,所述步骤S21中,采用各坐标轴的最大值和最小值确定点云模型包围盒长度L、宽度W、高度H,依据式(5)计算切片层数 $N_c$ ;

$$[0032] \quad N_c = \frac{\max[L, W, H]}{a+d} \quad (5)$$

[0033] 其中,  $\max[L, W, H]$ 表示取包围盒长、宽、高尺寸中的最大值。

[0034] 进一步的,所述步骤S23包括:

[0035] 沿切片轴向,由切片厚度构建空间包络体,依据各点轴向坐标值选择包络体空间内的三维点,构建切片点子集 $q_i$ ,  $i=1, 2, 3, \dots, N_c$ ,

[0036] 执行切片点子集融合,得到切片点集Q。

[0037] 进一步的,所述步骤S3中,点集融合顺序无限制,融合后通过检索各点的序号索引值执行去重操作。

[0038] 与现有技术相比,本公开的有益效果是:(1)采用原始投影和多角度旋转投影构建二维边界点集,可实现对三维点云模型轮廓的有效提取,尤其对三维凸面结构点云模型精简效率和精度较高;(2)所提出的定向等距切片法在点云精简过程中无切片死角,可实现对三维模型凹面结构特征的精确提取,尤其适用于复杂结构三维点云模型处理;(3)计算简单、输入变量少;(4)便于模块化操作,可根据实际需求选择其中的某一项或某几项步骤进行操作处理;(5)对不同结构的三维点云模型均可得到较准确的精简结果;(6)普适性强,适用于三维点云分类、机器视觉和模式识别等领域。

## 附图说明

[0039] 通过结合附图对本公开示例性实施例进行更详细的描述,本公开的上述以及其它目的、特征和优势将变得更加明显,其中,在本公开示例性实施例方式中,相同的参考标号通常代表相同部件。

[0040] 图1为根据本公开的基于边界点降维提取的三维点云精简方法基本流程图;

[0041] 图2为示例性的原始三维点云模型示意图;

[0042] 图3为原始模型在xyz平面投影二维图;

[0043] 图4为旋转模型在xyz平面投影二维图;

[0044] 图5为模型沿指定轴向等距切片操作图;

[0045] 图6为得到的三维点云模型精简结果图。

## 具体实施方式

[0046] 下面将参照附图更详细地描述本公开的优选实施例。虽然附图中显示了本公开的优选实施例,然而应该理解,可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施例所限制。相反,提供这些实施例是为了使本公开更加透彻和完整,并且能够将本公开的范围完整

地传达给本领域的技术人员。

[0047] 本公开提供了一种基于边界点降维提取的三维点云精简方法,通过对三维点云模型执行多视角旋转投影和等距切片操作,在二维空间中进行边界坐标降维提取,实现对大规模三维点云模型高效精简。

[0048] 根据本公开的示例性实施例基本流程图如附图1所示。参照图1,以该领域Bunny标准模型为例来进行具体说明。

[0049] 所选模型如图2所示,为更加清楚展示本方法的有效性,所选模型三维点规模为7935,表示方式为 $7935 \times 3$ 的双精度矩阵,由于原模型坐标尺寸过小,为了更加直观的观测效果,对该模型尺寸进行了100倍放大。

[0050] 对该模型的精简过程主要包括如下步骤:

[0051] (1) 原始点云模型用三维矩阵表示,模型仅包含各点坐标数据信息,图3(a)、图3(b)、图3(c)分别表示原始模型在xy平面、xz平面以及yz平面的二维投影,图中“+”形状的标记点表示采用最大点距法提取二维空间中投影模型的边界点;

[0052] (2) 对原始模型在xy平面、xz平面、yz平面的边界点融合,采用唯一函数按序号检索,删除重复点;

[0053] (3) 设定模型绕x、y、z轴旋转变量 $r_x$ 、 $r_y$ 、 $r_z$ 值,本例中设定原模型绕三个坐标轴逆时针方向分别旋转60度,转换为弧度制后旋转变量值为 $r_x=1.0472$ 、 $r_y=1.0472$ 、 $r_z=1.0472$ ,为简化说明,本例中仅对原模型执行一次旋转操作,实际应用中可以根据需要对原始三维点云模型执行规定次数的旋转操作;

[0054] (4) 分别计算旋转后的新模型在xy平面、xz平面、yz平面的投影,投影结果分别如图4(a)、图4(b)、图4(c)所示,采用最大点距法提取二维空间中投影模型的边界点,并将多平面边界点融合去重;

[0055] (5) 采用各轴向极值确定点云模型包围盒长度L、宽度W、高度H,本例中定义L、W、H分别对应x、y、z轴方向,经计算 $L=15.5515$ 、 $W=15.3709$ 、 $H=12.0448$ ,因此选择沿x轴方向进行切片操作,图5中虚线框即为模型包围盒,图5中右下方虚线箭头表示切片选择轴向;

[0056] (6) 设定切片变量厚度a和切片间隔d的具体数值,本例中设定 $a=0.03$ 、 $d=0.5$ ,依据式(五)计算切片层数 $N_c=30$ ,图5中灰色截平面即为示范性显示沿x轴方向切片效果的5个平面;

[0057] (7) 计算由切片厚度构建空间包络体,依据三维点云模型切片轴向坐标值选择包络体内的点构建切片点子集 $q_1-q_{30}$ ,执行切片点子集融合后,得到切片子集Q;

[0058] 最后,融合原始投影边界点集、旋转投影边界点集和切片点集,去重后得到的简化模型如图6所示,简化后点云规模由原始的7935降低为2628。

[0059] 综上,相比于现有点云精简算法,本发明提出的方法结构简单、通用性好、计算精度高,精简后能够实现对原模型边界和特征的有效保留,因而适用于三维点云模型的分割和分类。此外,该模型精简技术还可用于模式识别、点云匹配等相关领域。

[0060] 上述技术方案只是本发明的示例性实施例,对于本领域内的技术人员而言,在本发明公开了应用方法和原理的基础上,很容易做出各种类型的改进或变形,而不仅限于本发明上述具体实施例所描述的方法,因此前面描述的方式只是优选的,而并不具有限制性的意义。

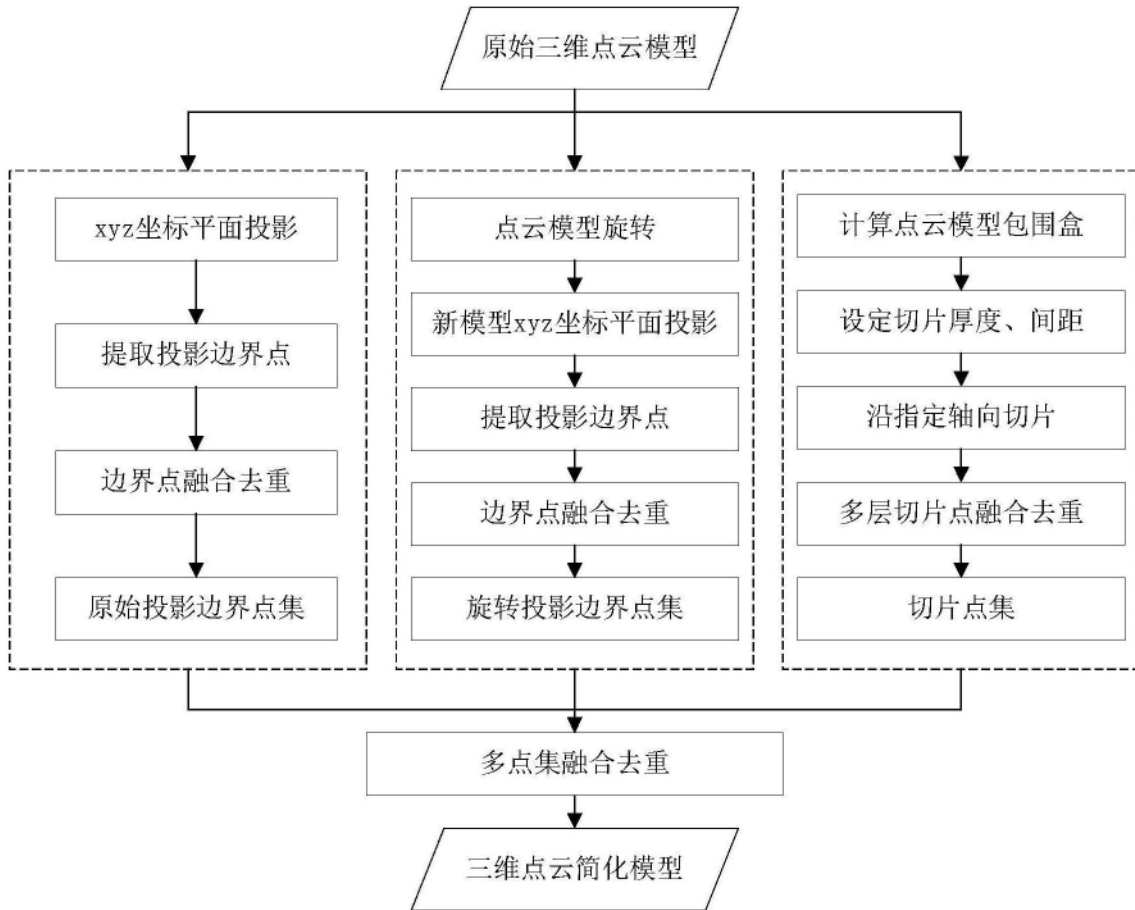


图1

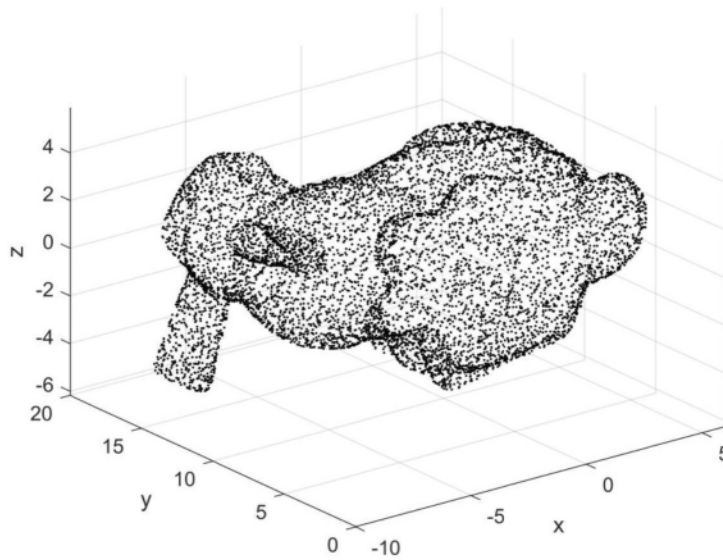


图2

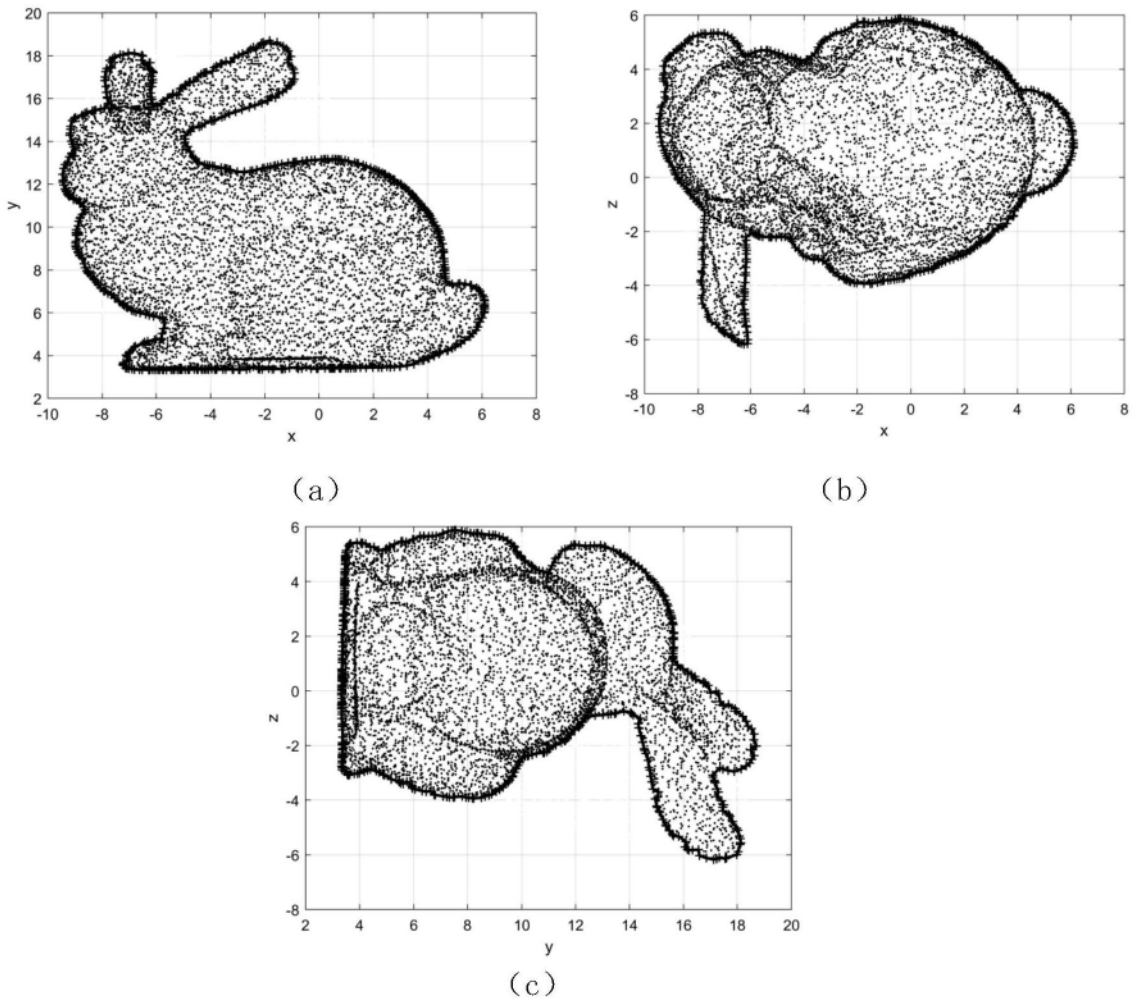
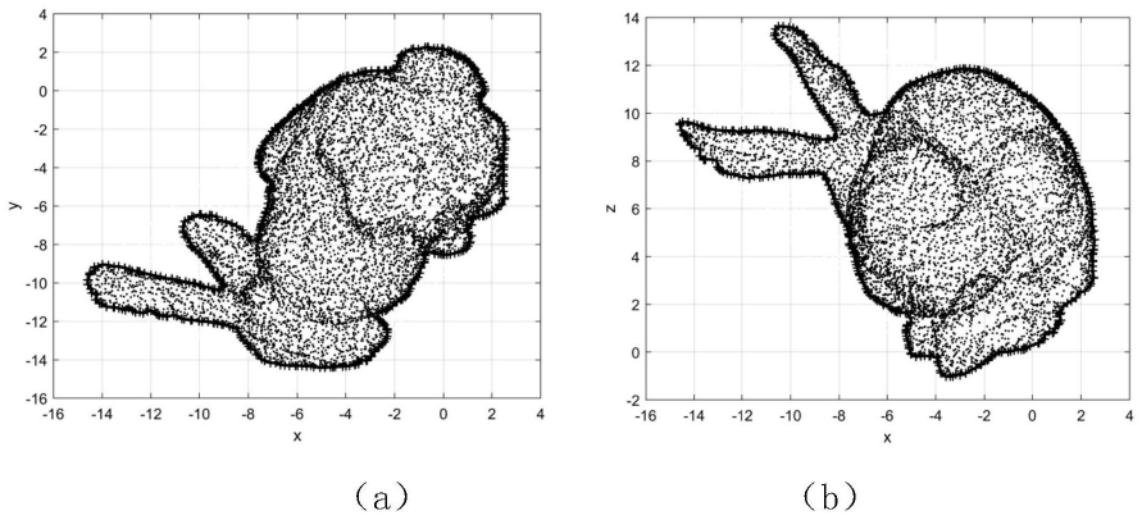
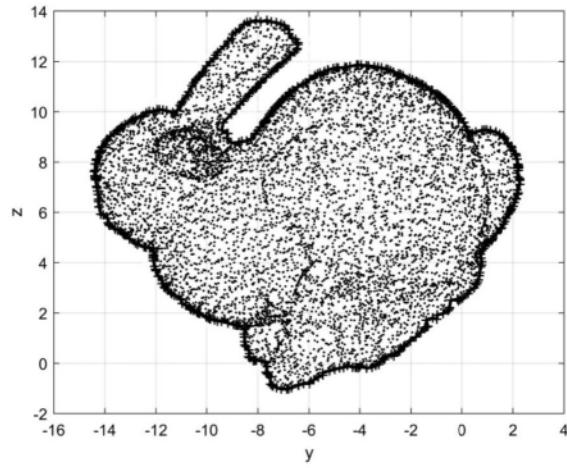


图3





(c)

图4

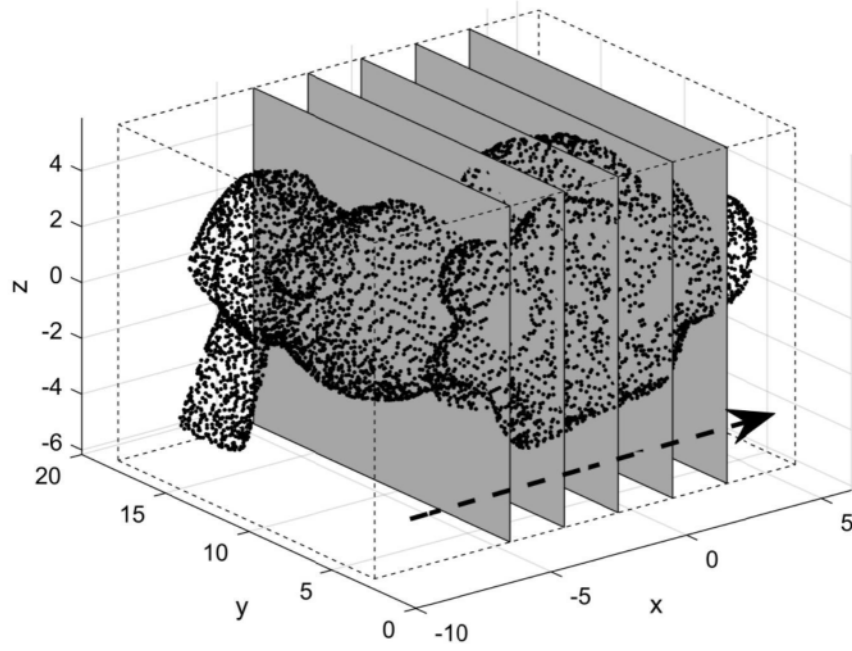


图5

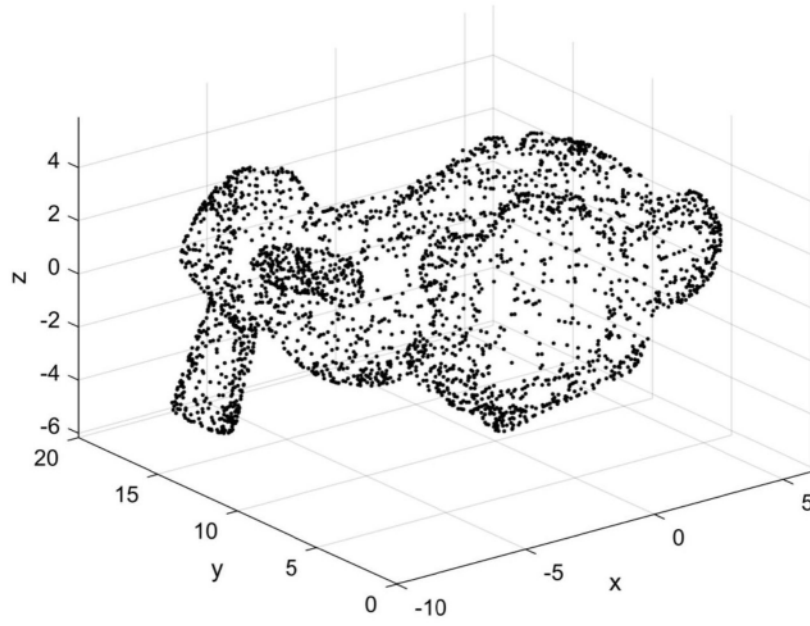


图6