



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109188459 A

(43)申请公布日 2019.01.11

(21)申请号 201811000910.4

(22)申请日 2018.08.29

(71)申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区新街口
街道四牌楼2号

(72)发明人 殷国栋 吴丛磊 刘帅鹏 叶建伟
庄伟超 张宁 王金湘 耿可可

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 徐尔东

(51)Int.Cl.

G01S 17/93(2006.01)

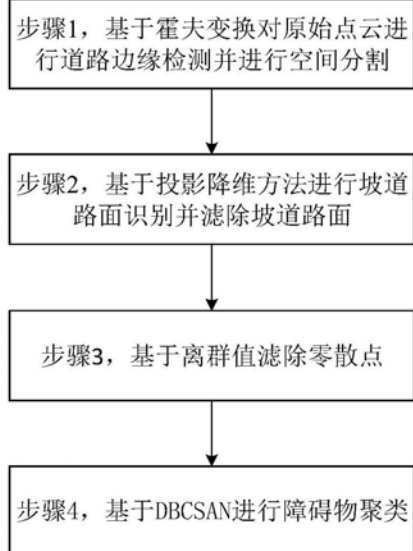
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,实现了坡道路面的小障碍物识别,快速准确,节省运算资源,保证了实时性;有效避免了传统障碍物识别方法在即将下坡路段障碍物的漏检以及上坡路段把路面识别为障碍物的弊端,提高了智能驾驶汽车的行车安全性和对复杂路况的适应性。



1. 一种基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,其特征在于:包括以下步骤:

第一步,对原始点云进行道路边缘检测,基于霍夫变换将道路外侧的区域滤除,得到道路内与障碍物识别的相关点云;

第二步,基于投影降维方法,将坡道路面上与障碍物识别的相关点云投影到与路面垂直的竖直平面XOZ上,对坡道道路进行识别并将坡道路面进行滤除,再利用霍夫直线变换进行检测,从而准确求出所有属于路面扫描点的相关点云,然后在属于路面扫描点的相关点云中对所有路面点再次进行滤除;

第三步,对坡道路面上十米以内的范围进行离群值滤除,根据离群值滤除路面零散的点云,使滤除后的点云均属于障碍物扫描点;

第四步,利用基于密度的DBCSAN聚类算法对离群值滤除后的障碍物扫描点进行进一步滤除噪声点,实现障碍物聚类。

2. 根据权利要求1所述的基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,其特征在于:将道路内外的区域分割,区域内的点云形成图像坐标空间,采用霍夫变换将图像坐标空间中共线的点云变换至参数空间中,这些点云在参数空间中均相交于同一点,通过霍夫变换排除与坡道路面边缘相交的直线,以此对道路外侧的区域进行滤除,得到道路内与障碍物识别的相关点云。

3. 根据权利要求2所述的基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,其特征在于:若没有查找到道路边缘,即选用车辆车身两侧距离各五米内区域作为分割区域。

4. 根据权利要求1所述的基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,其特征在于:基于投影降维方法,将坡道路面上与障碍物识别的相关点云投影到与路面垂直的竖直平面XOZ上,形成相关点云的投影平面,在投影平面上离雷达最近的一段路面形成一条连续的直线,中间一段坡道为分段的直线,剩余的一段路面在投影平面上不做显示;针对前述所有投影后的点云数进行霍夫变换,找出形成长度大于0.5米的直线,从而找到为路面的直线,从而准确求出所有属于路面扫描点的相关点云。

5. 根据权利要求1所述的基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,其特征在于:对坡道路面上十米以内的范围内,在输入数据中对点云到临近点云的距离分布进行计算,得出点云对其临近点云的平均距离,处于这个平均距离的平均值范围内的点云即为障碍物扫描点,不符合的点云进行剔除。

6. 根据权利要求1所述的基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,其特征在于:通过雷达的每条线扫描出的区域为圆锥面,采用DBCSAN聚类算法,通过计算各个点之间的欧式距离及其所在扫描半径内的密度值来判断这些点是属于核心点、边界点或者是噪声点。

一种基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,属于无人驾驶障碍物识别领域。

背景技术

[0002] 车辆行驶道路上的障碍物检测是无人驾驶汽车周边环境感知技术研究领域中的重要组成部分,障碍物检测的效果直接关系到无人驾驶汽车的行车安全。传统基于多线雷达的障碍物检测方法都是根据雷达的安装高度 h 粗暴的滤除所有 z 坐标小于 $-h$ 的点云,这种方法在即将上坡的路段会把坡道识别为大型障碍物,而在即将下坡路段会滤除位于坡道上的小型障碍物。所以一种能适用于坡道路况的障碍物识别方法极为重要。

发明内容

[0003] 本发明提供一种基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,不仅适用于水平路面,而且适用于坡道路面,能够准确的将路面和障碍物区分开,具有较强的实用性和广阔的应用前景。

[0004] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0005] 一种基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,包括以下步骤:

[0006] 第一步,对原始点云进行道路边缘检测,基于霍夫变换将道路外侧的区域滤除,得到道路内与障碍物识别的相关点云;

[0007] 第二步,基于投影降维方法,将坡道路面上与障碍物识别的相关点云投影到与路面垂直的竖直平面 XOZ 上,对坡道路面进行识别并将坡道路面进行滤除,再利用霍夫直线变换进行检测,从而准确求出所有属于路面扫描点的相关点云,然后在属于路面扫描点的相关点云中对所有路面点再次进行滤除;

[0008] 第三步,对坡道路面上十米以内的范围进行离群值滤除,根据离群值滤除路面零散的点云,使滤除后的点云均属于障碍物扫描点;

[0009] 第四步,利用基于密度的DBSCAN聚类算法对离群值滤除后的障碍物扫描点进行进一步滤除噪声点,实现障碍物聚类;

[0010] 作为本发明的进一步优选,将道路内外的区域分割,区域内的点云形成图像坐标空间,采用霍夫变换将图像坐标空间中共线的点云变换至参数空间中,这些点云在参数空间中均相交于同一点,通过霍夫变换排除与坡道路面边缘相交的直线,以此对道路外侧的区域进行滤除,得到道路内与障碍物识别的相关点云;

[0011] 作为本发明的进一步优选,若没有查找到道路边缘,即选用车辆车身两侧距离各五米内区域作为分割区域;

[0012] 作为本发明的进一步优选,基于投影降维方法,将坡道路面上与障碍物识别的相关点云投影到与路面垂直的竖直平面 XOZ 上,形成相关点云的投影平面,在投影平面上离雷达最近的一段路面形成一条连续的直线,中间一段坡道为分段的直线,剩余的一段路面在

投影平面上不做显示;针对前述所有投影后的点云数进行霍夫变换,找出形成的长度大于0.5米的直线,从而找到为路面的直线,从而准确求出所有属于路面扫描点的相关点云;

[0013] 作为本发明的进一步优选,对坡道路面上十米以内的范围内,在输入数据中对点云到临近点云的距离分布进行计算,得出点云对其临近点云的平均距离,处于这个平均距离的平均值范围内的点云即为障碍物扫描点,不符合的点云进行剔除;

[0014] 作为本发明的进一步优选,通过雷达的每条线扫描出的区域为圆锥面,采用DBSCAN聚类算法,通过计算各个点之间的欧式距离及其所在扫描半径内的密度值来判断这些点是属于核心点、边界点或者是噪声点。

[0015] 通过以上技术方案,相对于现有技术,本发明具有以下有益效果:

[0016] 本发明实现了坡道路面的小障碍物识别,快速准确,节省运算资源,保证了实时性;有效避免了传统障碍物识别方法在即将下坡路段障碍物的漏检以及上坡路段把路面识别为障碍物的弊端,提高了智能驾驶汽车的行车安全性和对复杂路况的适应性。

附图说明

[0017] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0018] 图1所示是本发明的优选实施例的坡道小障碍物识别流程图;

[0019] 图2所示是本发明的优选实施例的验证实验场景图;

[0020] 图3中,3a为霍夫变换检测在图像坐标空间中直线原理图,3b为直线原理图映射到参数空间中的正弦曲线;

[0021] 图4中,4a为道路边缘检测效果图,4b滤除无关点云后的相关点云图;

[0022] 图5所示是本发明的优选实施例的xoz投影方法示意图;

[0023] 图6所示是本发明的优选实施例的相关点云xoz投影效果图;

[0024] 图7所示是本发明的优选实施例的路面识别效果图;

[0025] 图8所示是本发明的优选实施例的滤除路面后的效果图;

[0026] 图9所示是本发明的优选实施例的剔除离群值后的效果图;

[0027] 图10所示是本发明的优选实施例的BSDCAN算法原理图;

[0028] 图11所示是本发明的优选实施例的聚类后的点云效果以及每个类的质心的位置。

[0029] 图中:1-10均表示作为小障碍在地面上分布的多个锥桶。

具体实施方式

[0030] 现在结合附图对本发明作进一步详细的说明。这些附图均为简化的示意图,仅以示意方式说明本发明的基本结构,因此其仅显示与本发明有关的构成。

[0031] 如图1所示,本发明的一种基于多线激光雷达的坡道小障碍物识别方法,包括以下步骤:

[0032] 第一步,对原始点云进行道路边缘检测,基于霍夫变换将道路外侧的区域滤除,得到道路内与障碍物识别的相关点云;

[0033] 第二步,基于投影降维方法,将坡道路面上与障碍物识别的相关点云投影到与路面垂直的竖直平面XOZ上,对坡道道路进行识别并将坡道路面进行滤除,再利用霍夫直线变换进行检测,从而准确求出所有属于路面扫描点的相关点云,然后在属于路面扫描点的相

关点云中对所有路面点再次进行滤除；

[0034] 第三步,对坡道路面上十米以内的范围进行离群值滤除,根据离群值滤除路面零散的点云,使滤除后的点云均属于障碍物扫描点；

[0035] 第四步,利用基于密度的DBCSAN聚类算法对离群值滤除后的障碍物扫描点进行进一步滤除噪声点,实现障碍物聚类；

[0036] 作为本发明的进一步优选,将道路内外的区域分割,区域内的点云形成图像坐标空间,采用霍夫变换将图像坐标空间中共线的点云变换至参数空间中,这些点云在参数空间中均相交于同一点,通过霍夫变换排除与坡道路面边缘相交的直线,以此对道路外侧的区域进行滤除,得到道路内与障碍物识别的相关点云；

[0037] 作为本发明的进一步优选,若没有查找到道路边缘,即选用车辆车身两侧距离各五米内区域作为分割区域；

[0038] 作为本发明的进一步优选,基于投影降维方法,将坡道路面上与障碍物识别的相关点云投影到与路面垂直的竖直平面XOZ上,形成相关点云的投影平面,在投影平面上离雷达最近的一段路面形成一条连续的直线,中间一段坡道为分段的直线,剩余的一段路面在投影平面上不做显示；针对前述所有投影后的点云数进行霍夫变换,找出形成的长度大于0.5米的直线,从而找到为路面的直线,从而准确求出所有属于路面扫描点的相关点云；

[0039] 作为本发明的进一步优选,对坡道路面上十米以内的范围内,在输入数据中对点云到临近点云的距离分布进行计算,得出点云对其临近点云的平均距离,处于这个平均距离的平均值范围内的点云即为障碍物扫描点,不符合的点云进行剔除；

[0040] 作为本发明的进一步优选,通过雷达的每条线扫描出的区域为圆锥面,采用DBCSAN聚类算法,通过计算各个点之间的欧式距离及其所在扫描半径内的密度值来判断这些点是属于核心点、边界点或者是噪声点。

[0041] 具体的操作过程如下：

[0042] 第一步,图2所示,在地面上分布多个锥桶,将其作为小障碍,将与小障碍检测无关区域中的点云先进行滤除,以减少后面点云处理的运算资源消耗；本文中所指的无关区域为道路外侧的区域,本系统只检测道路上的障碍物；

[0043] 先利用霍夫变换检测直线,查找道路边缘,霍夫变换检测直线原理图,如图3中,3a和3b所示:霍夫变换将图像坐标空间中的点变换到参数空间中,图像坐标空间中共线的点变换到参数空间中后,在参数空间都相交于同一点,此时所得到的 ρ 、 θ , ρ 、 θ 即为所求的直线的极坐标参数,图像坐标空间的共线的两点 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) , (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 映射到参数空间是两条正弦曲线,相交于点 (ρ_0, θ_0) ,如图3中3b所示；反之,在参数空间相交于同一点的所有正弦曲线,在图像坐标空间都有共线的点与之对应；根据这个特性,给定图像坐标空间的一些边缘点,就可以通过霍夫变换确定连接这些点的直线方程；在此处运用霍夫变换时,这里我们限定 $\theta \in (-45^\circ, 45^\circ)$,以尽量排除与道路边缘相交的直线。

[0044] 如果查找到道路边缘,如图4中4a所示,图中的两条直线即为检测到的道路边缘；然后将路外侧的点云数据滤除,如图4中4b所示；其中,滤除点云的方法是,以道路边缘为分界线,靠近中线,如图中的直线“ $x=0$ ”为道路内侧的点云,反之为道路外侧的点云,将点云的 x, y, z 坐标值设为INF(预设的无穷大值,本文中为10000.0,即10000.0米在系统中视为无穷大),坐标为INF的点在后面的运算中都会被忽略,即被滤除掉,道路内侧点云不作处理；

如果没有查找到道路边缘,则将车辆车身左右两侧距离各5米内区域作为相关区域(以两个车身宽度为安全距离);另外,通过检测道路边缘,可知,道路与雷达正前方有 4.7° 的偏角,雷达中心点向右偏离车道中心线0.2米。

[0045] 第二步,一般的障碍物检测是不会专门去滤除路面点云,因为一般的障碍物检测的对象大多为大型障碍物,它们所包含的点云信号比它们附近的地面的点云信号多得多,所以路面点云对大型障碍物检测影响非常小;而在多线激光雷达识别小型障碍物的过程中,路面滤波却非常重要,因为小障碍物本身包含的点云数量非常少,与路面区分不明显,由图3中3b可见,小障碍物几乎和地面融为一体,路面点云是整个点云信号中最大的噪声,为了更好地进行下一步工作,首先要将路面点云滤除掉,以提高信噪比;但准确滤除地面比较困难,从图3中3b可以看出,在俯视图中,路面上的点云形状为圆弧或椭圆,不利于用统一的特征进行筛选,为此需要从新的角度提取出地面点云,而本文提出了一种在点云信号中准确地界定出路面的新方法,该方法利用了投影降维和霍夫变换的方法,本文中的投影降维与绝大部分论文中的投影降维不同,绝大部分论文的投影降维都是将3D点云投影到2D水平面,形成2D地图,而本文则从新的角度出发,将所有点云投影到垂直于路面的竖直平面上,具体如图4所示;

[0046] 图5中,以多线激光雷达的中心点为坐标原点,建立笛卡尔坐标系,其中, $o'(x_0, y_0, z_0)$ 是雷达中心点在车道中心线上的对应点, $o'o''$ 是车道中心线 $o'o'$ 处的切线, θ 为 $o'o''$ 于y轴的夹角; $o'o''$ 所在的垂直于路面的平面即是所有点云的投影平面;本文用矩阵A存储区域分割后所有点云的三维坐标信息,则有

$$[0047] \quad A = \begin{bmatrix} x_1 & \dots & x_n \\ y_1 & \dots & y_n \\ z_1 & \dots & z_n \end{bmatrix}$$

[0048] 令投影的点云坐标用矩阵 \tilde{A} 表示,则有

$$[0049] \quad \tilde{A} = \begin{bmatrix} \sin\theta \\ \cos\theta \\ 1 \end{bmatrix}^T * A + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

[0050] 对于图4中4b中的点云, $\theta = 4.7^\circ$, $x_0 = -0.2$, $y_0 = 0$,投影结果,如图6所示;

[0051] 结合实验投影过后的图形可知,图7所示,路面近似为一条直线,离雷达最近的一段路面,由于雷达点云数据比较密集,形成一条连续的直线,中间一段坡道,因为扫到路面的线束较少,所以是分段的直线,而最后的一段路面本身就没有点云分布,所以从投影中也显示不出路面。投影过后,本文针对该2D点云数据进行霍夫变换,找出里面长度大于0.5米的直线,因为小障碍物外接球的直径不超过0.5米,所以此处找到直线只可能是路面;霍夫变换后,滤除所有符合长度的直线包含的点云以及直线z方向下方的点云;滤除路面后的效果如图8所示,路面滤波后,地面点云已完全滤除干净,可以清楚地观察到锥桶的位置。第三步中,离群值怎样滤除零散点;

[0052] 滤除完路面和无关区域的点云后,如图8可见,点云图中仍然存有一些非常零散的点云噪声,此时,本申请将根据离群值滤除掉零散的点云,以保证剩下的点云均为障碍物所包含的点云;本申请使用的具体算法为统计离群值剔除算法,这个算法执行点云的分析并且能够剔除不满足指定统计特征的点云;本申请中的统计特征就是处于点云间距离的平均值附近的一个范围内,并剔除那些偏离平均值太多的点。对每个点云的邻域进行一个统计

分析,并修剪掉那些不符合一定标准的点云;

[0053] 具体的,在输入数据中对点云到临近点云的距离分布的计算,对每个点,本文计算它到它的所有临近点云的平均距离。假设得到的结果是一个高斯分布,其形状由均值和标准差决定,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,可被定义为离群点并可从数据集中去除掉;使用这个算法后,点云图中孤立的点也被滤除掉了,为防止滤除掉远处的锥桶,只对10米内的进行离群值滤除,如图9所示:

[0054] 第四步中,多线激光雷达的每条线扫描的区域是一个圆锥面,故即使雷达扫描到规则的物体,即便是一个平面,在该平面上的点云分布也是不均匀的。面对汽车周围复杂的环境时,扫描出的点云分布是极不均匀,形状也极不规则,经典的Kmeans算法及层次聚类算法将面临巨大的失效风险,本文采用基于密度的BDSCAN算法以适应这种情况,BDSCAN算法可以有效聚类出障碍物,并可以进一步滤除噪声点,做到快速准确,节省运算资源,从而保证实时性。BDSCAN算法的原理图,如图10所示:

[0055] 通过计算各个点之间的欧式距离及其所在扫描半径内的密度值来判断这些点属于核心点,边界点或是噪声点。图10中设定了扫描半径为1.5,密度阈值为3,所以:

[0056] (1) P0点为边界点,因为在以其为中心的扫描半径内只有两个点P0和P1;

[0057] (2) P1点为核心点,因为在以其为中心的扫描半径内有四个点P0,P1,P2,P4;

[0058] (3) P8为噪声点,因为其既非核心点,也非边界点;

[0059] (4) 其他点依次类推。

[0060] 图9中的点云跟踪BDSCAN进行聚类后,得到的效果如图11所示,对照图11的效果以及图2的实物位置,可知所有锥桶均被检测出来。

[0061] BDSCAN算法后根据第三步步骤将进一步剔除噪声点云(即将点云的XYZ坐标赋值为INF)。

[0062] 本技术领域技术人员可以理解,除非另外定义,这里使用的所有术语(包括技术术语和科学术语)具有与本申请所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是,诸如通用字典中定义的那些术语应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义,并且除非像这里一样定义,不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0063] 本申请中所述的“和/或”的含义指的是各自单独存在或两者同时存在的情况均包括在内。

[0064] 本申请中所述的“连接”的含义可以是部件之间的直接连接也可以是部件间通过其它部件的间接连接。

[0065] 以上述依据本发明的理想实施例为启示,通过上述的说明内容,相关工作人员完全可以在不偏离本项发明技术思想的范围内,进行多样的变更以及修改。本项发明的技术性范围并不局限于说明书上的内容,必须要根据权利要求范围来确定其技术性范围。

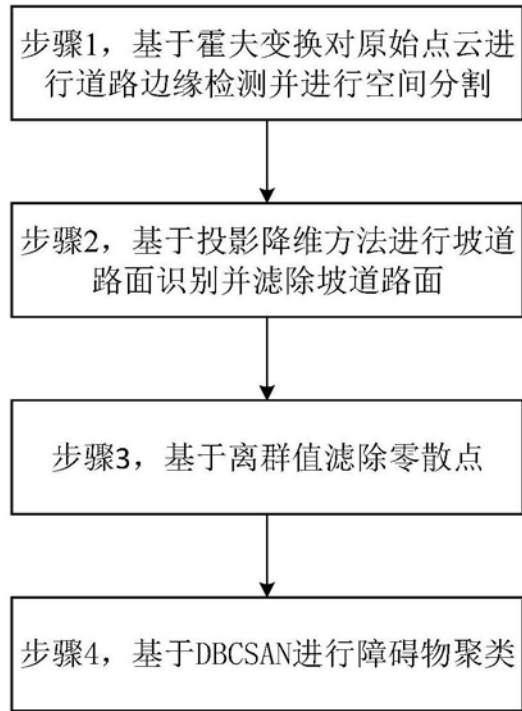


图1

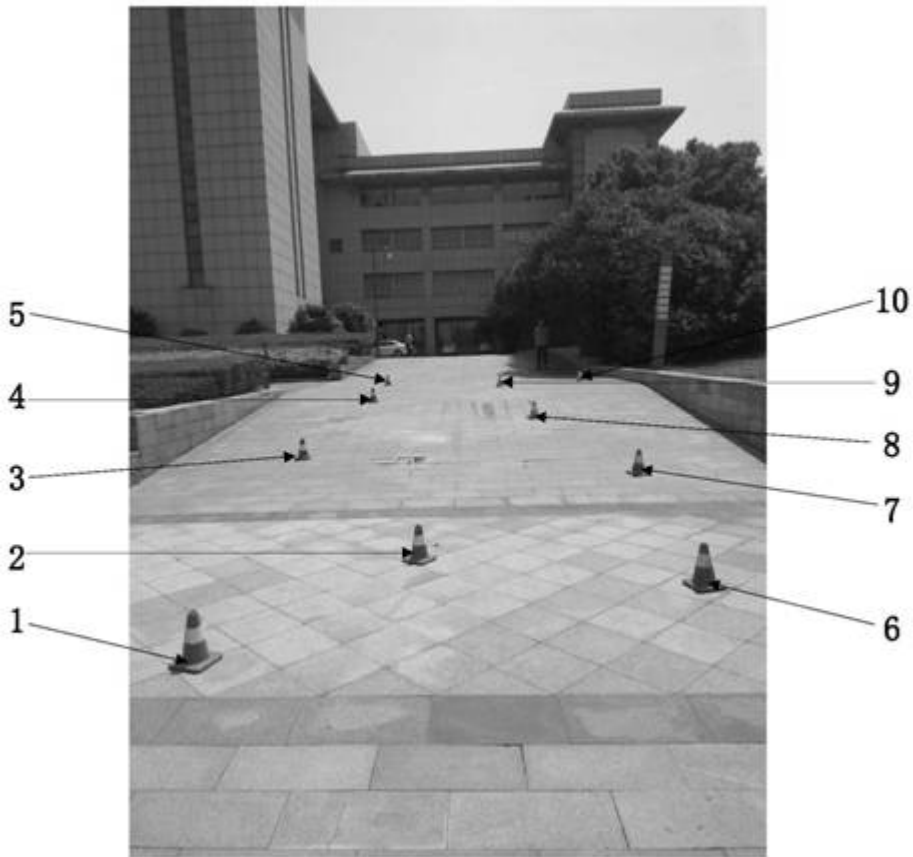
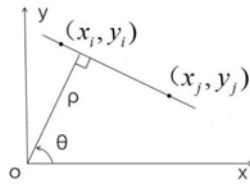
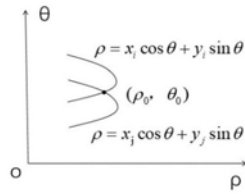


图2

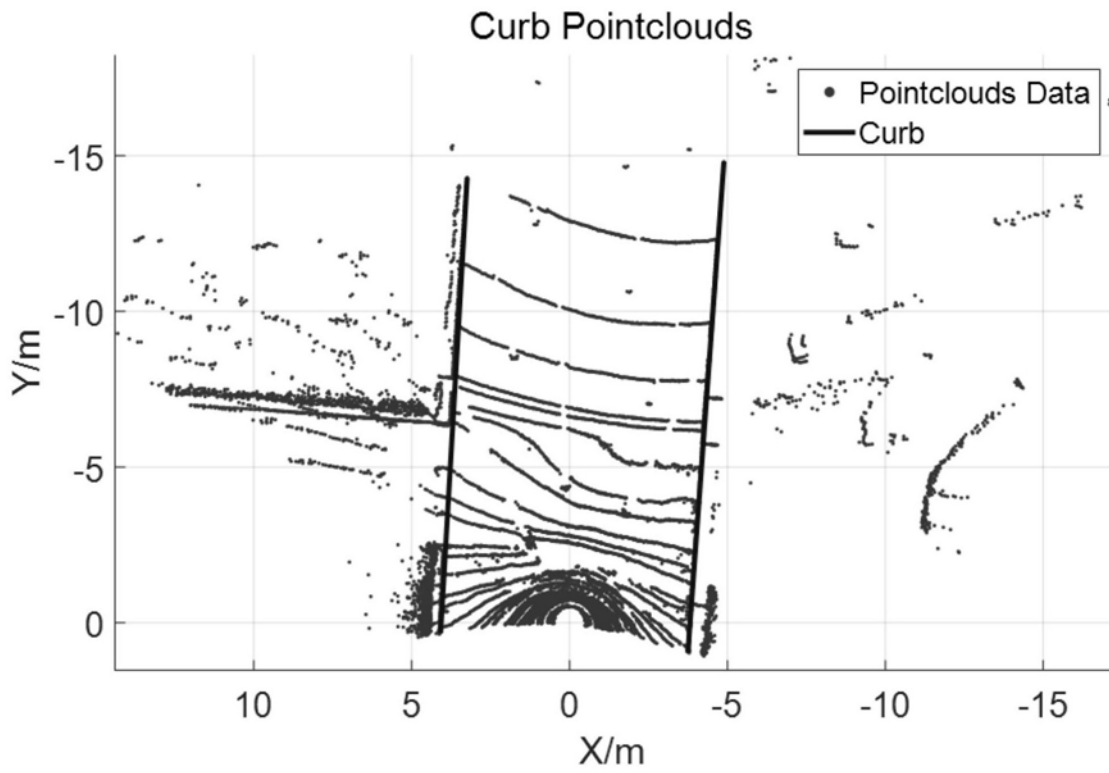


3a



3b

图3



4a

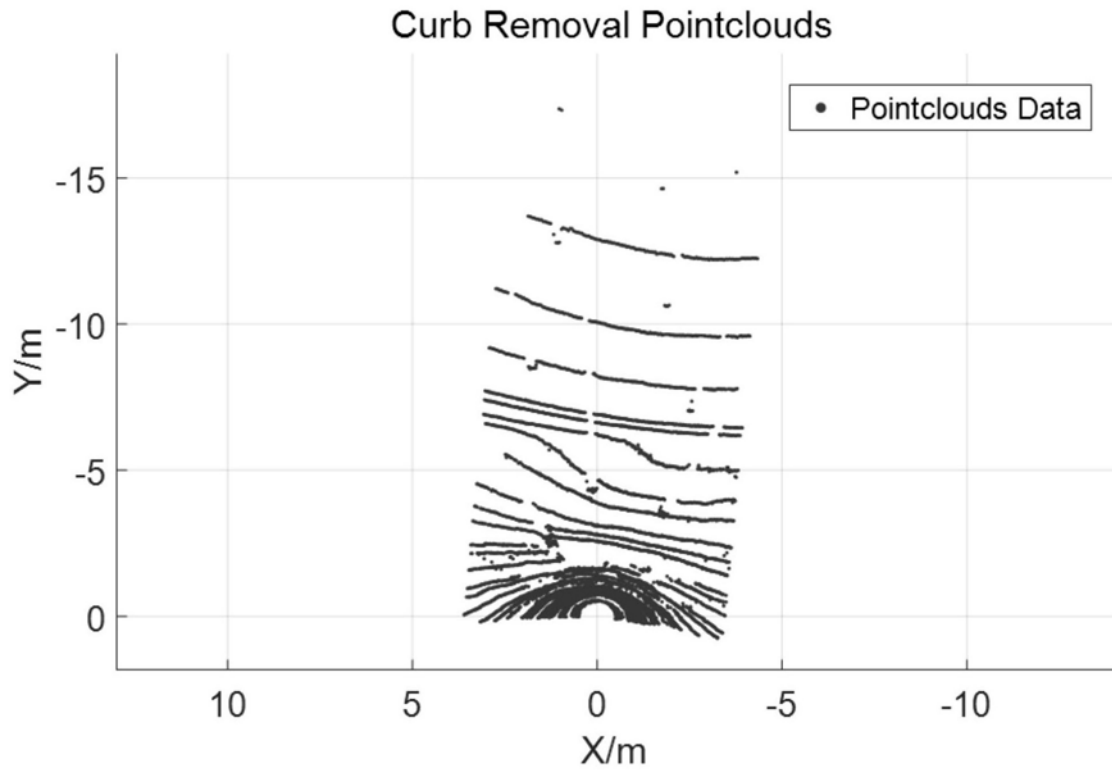
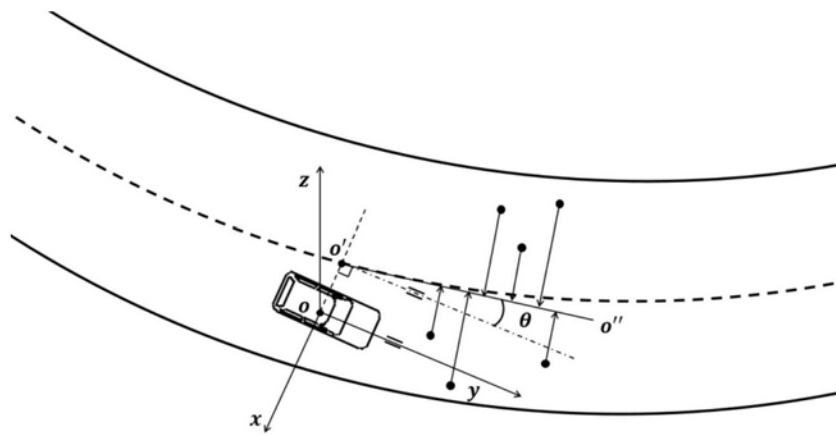


图4



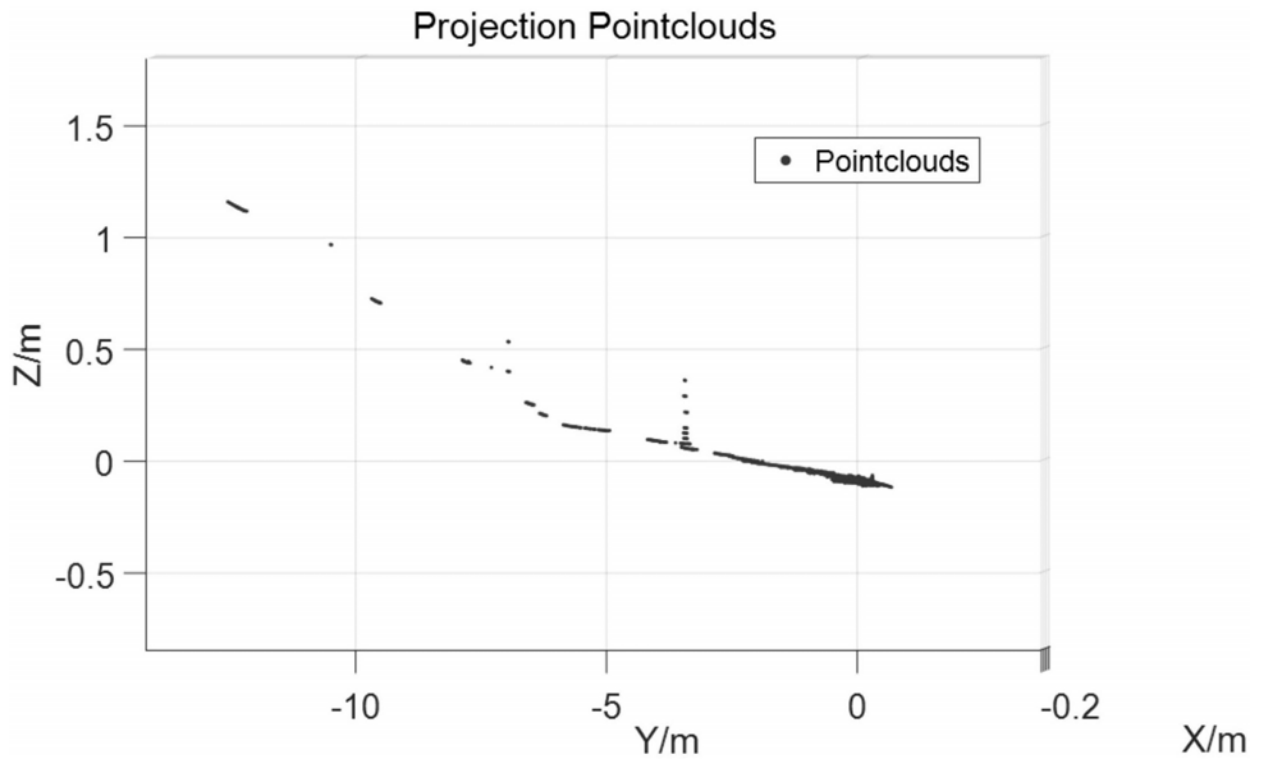


图6

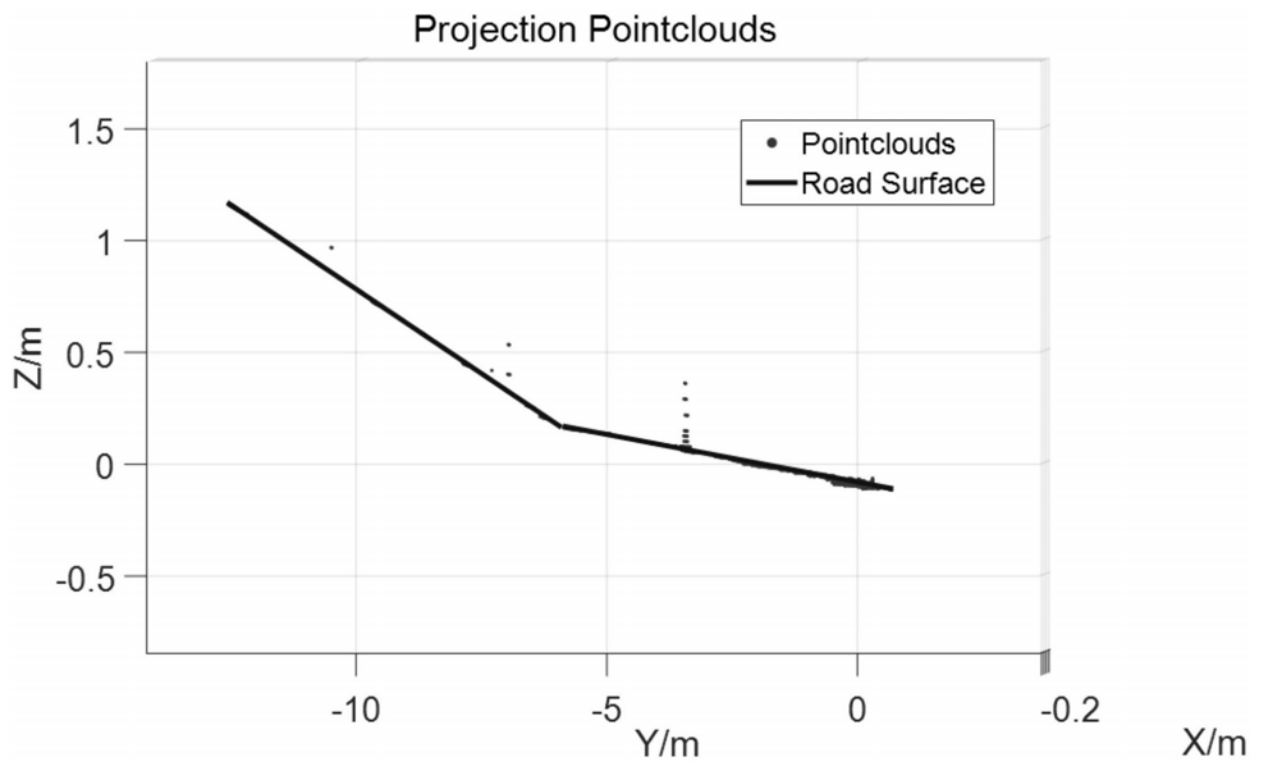


图7

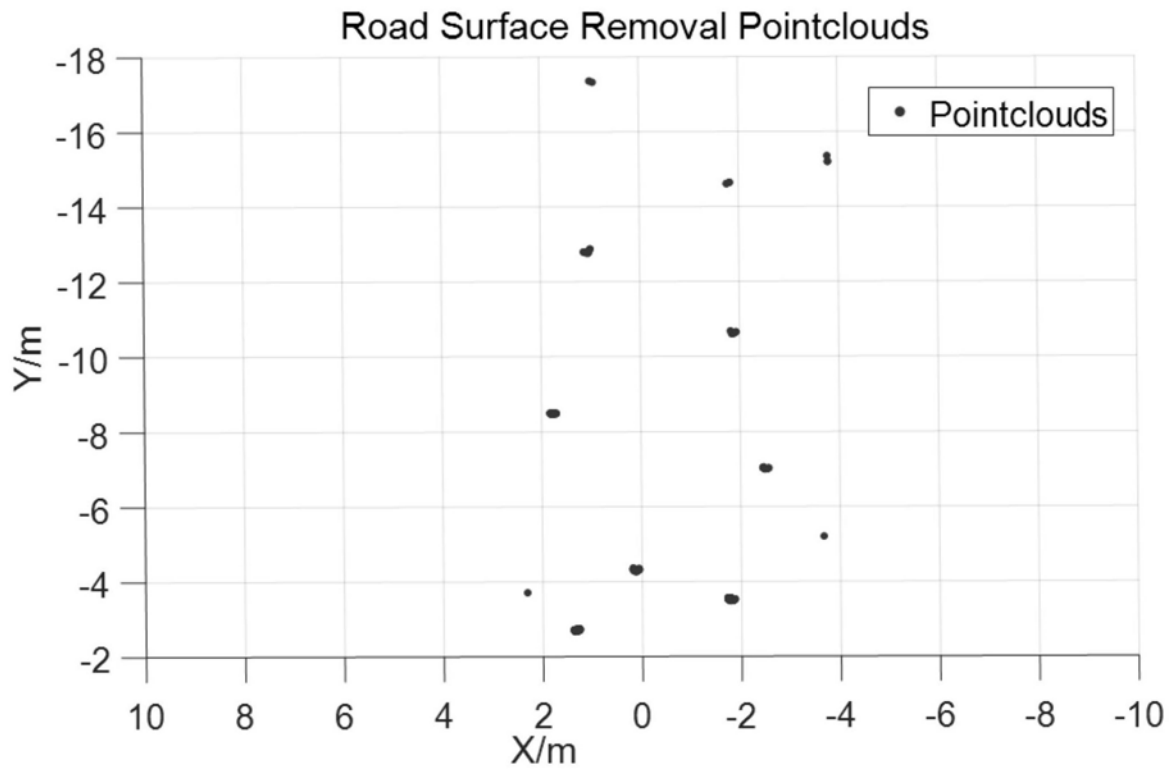


图8

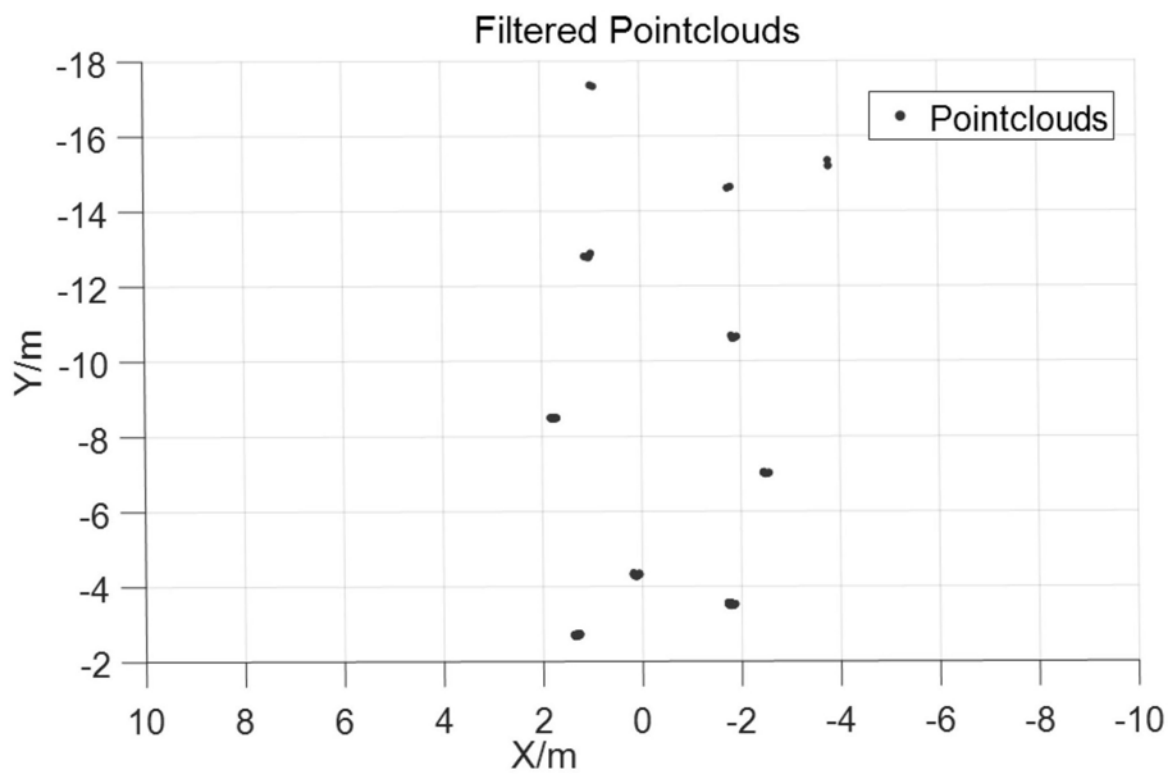


图9

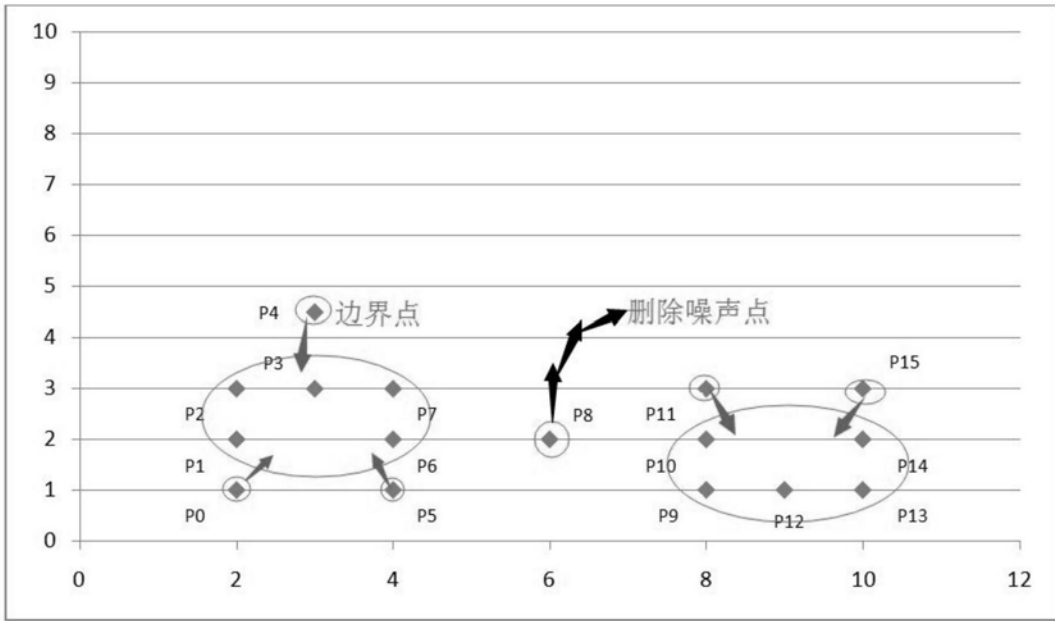


图10

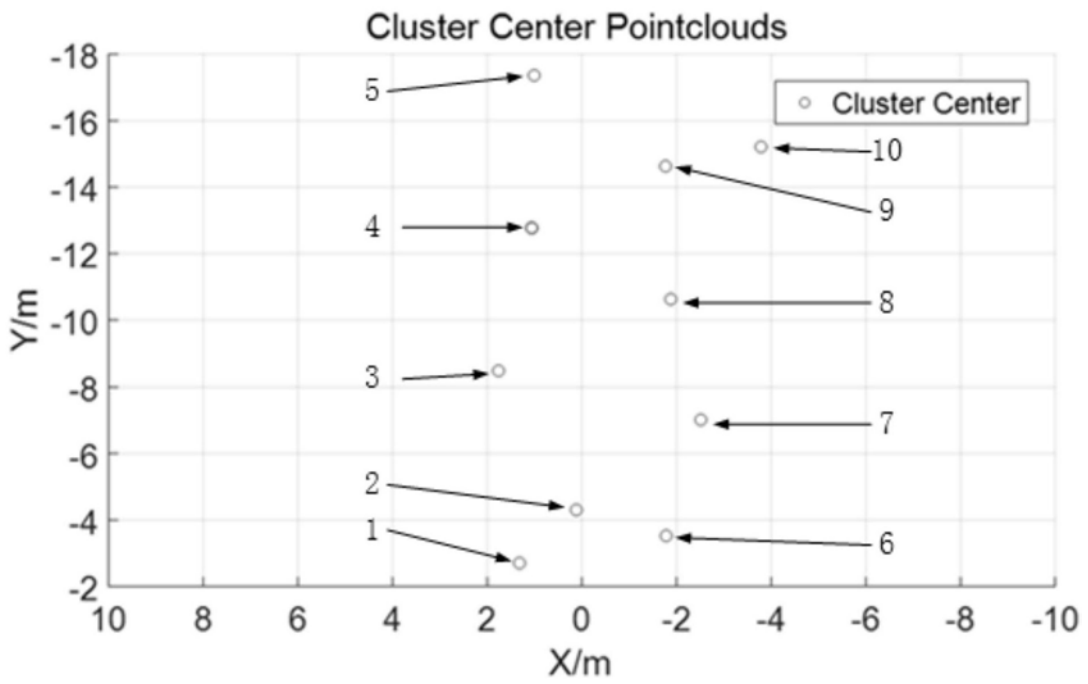


图11