

基于激光雷达的无人车坡度识别方法、系统及存储介质

技术领域

本发明属于无人驾驶技术领域，尤其涉及一种基于激光雷达的无人车坡度识别方法、系统及存储介质。

背景技术

目前，无人车的系统包括环境感知、定位决策、路径规划、跟踪控制以及底盘结构等五个子系统。其中环境感知是无人车辆与周围环境进行信息交互最重要的一个环节。通过传感器数据的采集以及处理，为车辆的定位决策、路径规划以及跟踪控制提供必要的基础信息。

激光雷达传感器从 1967 年由美国电话和电报公司提出以来，这种以激光为载波的传感器在无人驾驶领域开始有了蓬勃的发展。它根据脉冲激光不断的发射扫描物体，进而对物体进行三维的立体模型的描述。

由于激光雷达数据获取速度快、点云数据信息丰富，以及场景目标明确。因此它经常被使用进行障碍物的分类检测等方面。对于越野工况下，无人车经常会遇到陡坡等无法爬越的障碍物，坡度的识别是一个重要的识别场景。

通过上述分析，现有技术存在的问题及缺陷为：现有的基于激光雷达的无人车辆的坡度识别方法，仅仅只能单独对障碍物和坡度单独识别，无法进行障碍物和坡度的统一识别，而且应用于户外不确定环境下，同时在激光雷达识别坡度的方法上研究比较少。

解决以上问题及缺陷的难度为：

户外不确定性环境下的障碍物识别面临着障碍物种类繁多、环境影响大，传统的障碍物和坡度识别的方法，在识别坡度之前需要首先对障碍物进行识别，在识别障碍物之前又需要识别出所需要的坡度，造成识别时的资源浪费和识别

的困难增加。

解决以上问题及缺陷的意义为：

将坡度识别与障碍物识别统一处理使得识别坡度和障碍物的效率得到提高，并且在越野环境下的可通行区域进行进一步的提取与分析节省了计算资源，推动了越野环境下的自动驾驶技术。

发明内容

针对现有技术存在的问题，本发明提供了一种基于激光雷达的无人车坡度识别方法、系统及存储介质。

本发明是这样实现的，一种基于激光雷达的无人车坡度识别方法，所述基于激光雷达的无人车坡度识别方法包括：

通过建立激光雷达传感器的观测模型，对激光雷达激光线束的分析，识别得到户外不确定性环境下的障碍物、坡度的共性。

进一步，所述基于激光雷达的无人车坡度识别方法包括以下步骤：

步骤一，将户外越野环境下的障碍物标准化为一个长方体结构，建立激光雷达的观测模型，并对所述长方体结构进行障碍物分析；

步骤二，基于障碍物分析结果确定地面无人车辆是否能够通过相应障碍物，得到识别结果以及可通行区域。

进一步，步骤一中，所述建立激光雷达的观测模型包括：

建立激光雷达的点云理论观测模型，定义激光雷达坐标系如下：

x 轴为无人车的前进方向，y 轴与车辆坐标系的 y 轴平行，z 轴与车辆坐标系的 z 轴平行；此时激光雷达到某一点的距离返回坐标为 $P(p_x, p_y, p_z)$ ，

$$p_x = D_{xy} \sin \beta - H_o \cos \beta$$

$$p_y = D_{xy} \cos \beta + H_o \sin \beta$$

$$p_z = D \sin \theta + V_o \cos \theta$$

其中， H_o 表示水平偏移量， V_o 表示垂直偏移量，计算得到返回的距离 r 为

$$r = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}。$$

进一步，步骤二中，所述基于障碍物分析结果确定地面无人车辆是否能够通过相应障碍物包括：判断所述地面无人车辆的车轮是否大于所述障碍物的最高高度。

进一步，所述判断所述地面无人车辆的车轮是否大于所述障碍物的最高高度包括：

利用下式计算当越野环境下的无人车辆在地面上进行行驶遇到障碍物时的高度：

$$h_i = H - r_i \sin \beta_i；$$

其中， h_i 表示第*i*根激光雷达线与轮胎接地点的高度差；*H*表示在车辆上的安装参数即激光雷达中心点距离轮胎接地点的高度差；

当遇到障碍物时， h_i 会随着激光束的序号增加而增到，直至遇见最大的激光束时或者高度差恒定不再增大时，取 $h_{\max} = \max\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ ；

如果 h_{\max} 的值为0时，则判定前方并无障碍物为全程的平面点；

h_{\max} 大于0且小于无人车辆的半径时，则所述障碍物视为可跨过障碍物，并将无人车视为地面点再建立地面地图，当 h_{\max} 大于车轮的半径时，将所述障碍物识别为坡度，进行坡度计算与识别，进行可通行区域的提取。

进一步，所述进行坡度计算与识别，进行可通行区域的提取包括：

利用下式计算第*i*+1根激光束的地面轮胎高度差：

$$h_{i+1} = H - r_{i+1} \sin \beta_{i+1}；$$

根据两根激光束之间计算高度差为：

$$\Delta H = r_{i+1} \cos \beta_{i+1} - r_i \cos \beta_i；$$

根据最大爬坡度，当遇到汽车的最大爬坡度所求得的 ΔH ，其计算方式最大的阈值 Δr_{ε} 为：

$$\Delta r_e = \frac{\Delta H}{\tan \varphi_{\max}};$$

对于所述点实际的扫描几何关系为:

$$\Delta r = r_i \cos \beta_i - r_{i+1} \cos \beta_{i+1};$$

判断 $\Delta r < \Delta r_e$ ，通过两者之间的关系判断两者该坡度是否高于车辆最大爬坡度，并根据无人车本身的结构属性获得所述区域的可通过性。

本发明的另一目的在于提供一种实施所述基于激光雷达的无人车坡度识别方法的基于激光雷达的无人车坡度识别控制系统。

本发明的另一目的在于提供一种计算机设备，所述计算机设备包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机程序，所述计算机程序被所述处理器执行时，使得所述处理器执行所述基于激光雷达的无人车坡度识别方法。

本发明的另一目的在于提供一种计算机可读存储介质，存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时，使得所述处理器执行所述基于激光雷达的无人车坡度识别方法。

本发明的另一目的在于提供一种无人车，所述无人车执行所述基于激光雷达的无人车坡度识别方法。

结合上述的所有技术方案，本发明所具备的优点及积极效果为:

本发明基于激光雷达所建立的坡度识别模型，适用于在户外不确定性环境性环境下的建模与坡度识别，更适用于无人车的定位、建图与导航系统。

本发明在户外越野环境下，遇到不可通行的区域包括障碍物以及坡度大于无人车辆设计的最大爬坡度导致无人车无法通过该区域，可在进行越野环境下同时定位和建图研究。

本发明提出了一种野外环境下基于激光雷达点云识别方式，为激光雷达后续的同时定位与建图技术打下基础，该模型方法能够快速的进行坡度的识别和可通行区域的提取，在障碍物识别领域、SLAM 领域、环境感知领域均有较大的应用。

本发明可以应用在障碍物识别，可通行区域的提取，SLAM 地图的建立等，在无人车子系统的规划与控制上同样可以设计一条避免障碍物或者坡度过大的区域进行通过。在户外不确定环境下，对于军用无人车而言，提取障碍物或者可通行坡度是十分必要且必须的。

附图说明

图 1 是本发明实施例提供的基于激光雷达的无人车坡度识别方法流程图。

图 2 是本发明实施例提供的障碍物识别图。

图 3 是本发明实施例提供的坡度识别图。

图 4 是本发明实施例提供的激光雷达三维直角坐标系示意图。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

针对现有技术存在的问题，本发明提供了一种基于激光雷达的无人车坡度识别方法，下面结合附图对本发明作详细的描述。

本发明实施例提供的基于激光雷达的无人车坡度识别方法包括：

通过建立激光雷达传感器的观测模型，对激光雷达激光线束的分析，识别得到户外不确定性环境下的障碍物、坡度的共性。

如图 1 所示，本发明实施例提供的基于激光雷达的无人车坡度识别方法包括以下步骤：

S101，将户外越野环境下的障碍物标准化为一个长方体结构，建立激光雷达的观测模型，并对所述长方体结构进行障碍物分析；

S102，基于障碍物分析结果确定地面无人车辆是否能够通过相应障碍物，得到识别结果以及可通行区域。

本发明实施例提供的建立激光雷达的观测模型包括：

建立激光雷达的点云理论观测模型，定义激光雷达坐标系如下：

x 轴为无人车的前进方向，y 轴与车辆坐标系的 y 轴平行，z 轴与车辆坐标系的 z 轴平行；此时激光雷达到某一点的距离返回坐标为 $P(p_x, p_y, p_z)$ ，

$$p_x = D_{xy} \sin \beta - H_o \cos \beta$$

$$p_y = D_{xy} \cos \beta + H_o \sin \beta$$

$$p_z = D \sin \theta + V_o \cos \theta$$

其中， H_o 表示水平偏移量， V_o 表示垂直偏移量，计算得到返回的距离 r 为

$$r = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}。$$

本发明实施例提供的基于障碍物分析结果确定地面无人车辆是否能够通过相应障碍物包括：判断所述地面无人车辆的车轮是否大于所述障碍物的最高高度。

本发明实施例提供的判断所述地面无人车辆的车轮是否大于所述障碍物的最高高度包括：

利用下式计算当越野环境下的无人车辆在地面上进行行驶遇到障碍物时的高度：

$$h_i = H - r_i \sin \beta_i；$$

其中， h_i 表示第 i 根激光雷达线与轮胎接地点的高度差； H 表示在车辆上的安装参数即激光雷达中心点距离轮胎接地点的高度差；

当遇到障碍物时， h_i 会随着激光束的序号增加而增到，直至遇见最大的激光束时或者高度差恒定不再增大时，取 $h_{\max} = \max \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ ；

如果 h_{\max} 的值为 0 时，则判定前方并无障碍物为全程的平面点；

h_{\max} 大于 0 且小于无人车辆的半径时，则所述障碍物视为可跨过障碍物，并将无人车视为地面点再建立地面地图，当 h_{\max} 大于车轮的半径时，将所述障碍物识别为坡度，进行坡度计算与识别，进行可通行区域的提取。

本发明实施例提供的进行坡度计算与识别，进行可通行区域的提取包括：
利用下式计算第 $i+1$ 根激光束的 地面轮胎高度差：

$$h_{i+1} = H - r_{i+1} \sin \beta_{i+1} ;$$

根据两根激光束之间计算高度差为：

$$\Delta H = r_{i+1} \cos \beta_{i+1} - r_i \cos \beta_i ;$$

根据最大爬坡度，当遇到汽车的最大爬坡度所求得的 ΔH ，其计算方式最大的阈值 Δr_ε 为：

$$\Delta r_e = \frac{\Delta H}{\tan \varphi_{\max}} ;$$

对于所述点实际的扫描几何关系为：

$$\Delta r = r_i \cos \beta_i - r_{i+1} \cos \beta_{i+1} ;$$

判断 $\Delta r < \Delta r_e$ ，通过两者之间的关系判断两者该坡度是否高于车辆最大爬坡度，并根据无人车本身的结构属性获得所述区域的可通过性。

下面结合具体是实施例对本发明的技术方案作进一步说明。

实施例 1：

本发明对坡度的识别分为两个部分一部分是对于障碍物的识别，将户外越野环境下的障碍物标准化为一个高为 H_k 的长方体结构，并对该长方体结构进行障碍物分析。研究该地面无人车辆是否能够通过该障碍物时，主要的指标时观察该无人的车轮是否大于该障碍物的最高即 H_k ，通过对激光雷达的观测模型对该障碍物的识别进行建模。

首先是对激光雷达的观测模型进行建模，在不考虑激光雷达的垂直偏移量、水平平移量、垂直校正角以及旋转校正角等误差的情况下建立激光雷达的点云理论观测模型，定义激光雷达坐标系如图 4 所示。

其中 x 轴为无人车的前进方向， y 轴与车辆坐标系的 y 轴平行， z 轴与车辆坐标系的 z 轴平行。设激光雷达到某一点的距离返回坐标为 $P(px, py, pz)$ ，

$$p_x = D_{xy} \sin \beta - H_o \cos \beta$$

$$p_y = D_{xy} \cos \beta + H_o \sin \beta$$

$$p_z = D \sin \theta + V_o \cos \theta$$

公式中 H_o 为水平偏移量， V_o 为垂直偏移量。则求出返回的距离 r 为

$$r = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}。$$

如果对上述描述的地面障碍物进行描述时，当越野环境下的无人车辆在平地上进行行驶遇到障碍物时，其高度模型如下：

$$h_i = H - r_i \sin \beta_i$$

公式中已知的在车辆上的安装参数 H ，即激光雷达中心点距离轮胎接地点的高度差，测量参数已知的有 i 根激光雷达的激光线所返回的距离值，该值的求解方法如下所示，以及第 i 根激光雷达线与轮胎接地点的高度差为 h_i 。当遇到障碍物时， h_i 会随着激光束的序号增加而增到，直到遇到最大的激光束时或者高度差恒定不再增大时，取 $h_{\max} = \max \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ 如果 h_{\max} 的值为 0 时，则判定前方并无障碍物为全程的平面点， h_{\max} 大于 0 且小于无人车辆的半径时，该障碍物视为可跨过障碍物，对于本无人车而言再建立地面地图时可全视为地面点，当 h_{\max} 大于车轮的半径时，将该障碍物识别为坡度，进行进一步的坡度计算与识别，如图 2 提供的障碍物识别图、图 3 提供的坡度识别图所示。

求出第 $i+1$ 根激光束的地面轮胎高度差，其求解公式如下：

$$h_{i+1} = H - r_{i+1} \sin \beta_{i+1}$$

根据两根激光束之间求出高度差为：

$$\Delta H = r_{i+1} \cos \beta_{i+1} - r_i \cos \beta_i$$

根据最大爬坡度，当遇到汽车的最大爬坡度所求得的 ΔH_e ，其求解方式最大的阈值 Δr_e 为

$$\Delta r_e = \frac{\Delta H}{\tan \varphi_{\max}}$$

对于该点实际的扫描几何关系为

$$\Delta r = r_i \cos \beta_i - r_{i+1} \cos \beta_{i+1}$$

判断 $\Delta r < \Delta r_e$ ，两者之间的关系，通过两者之间的关系可以判断出两者该坡度是否高于车辆最大爬坡度，根据无人车本身的结构属性可以获得该区域的可通过性，以此来建立在越野环境下的可通过性 SLAM 地图。为后续的无人车在野外环境下的行驶提供感知基础。

目前对于无人车而言进行坡度识别的方法有基于动力学的方法、基于 GPS 的方法，在激光雷达识别坡度的方法上分析比较少，然而基于车辆动力学的方法一般在处于坡度之上时进行参数辨识，不符合在野外环境下的预瞄风格，因此本发明基于激光雷达所建立的坡度识别模型，适用于在户外不确定性环境性环境下的建模与坡度识别，更适用于无人车的定位、建图与导航系统。

本发明的发明点在于提出了一种野外环境下基于激光雷达点云识别方式，为激光雷达后续的同时定位与建图技术打下基础，该模型方法能够快速地进行坡度的识别和可通行区域的提取，在障碍物识别领域、SLAM 领域、环境感知领域均有较大的应用。

本发明可以应用在障碍物识别，可通行区域的提取，SLAM 地图的建立等，在无人车子系统的规划与控制上同样可以设计一条避免障碍物或者坡度过大的区域进行通过。在户外不确定环境下，对于军用无人车而言，提取障碍物或者可通行坡度是十分必要且必须的。

在本发明的描述中，除非另有说明，“多个”的含义是两个或两个以上；术语“上”、“下”、“左”、“右”、“内”、“外”、“前端”、“后端”、“头部”、“尾部”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

应当注意，本发明的实施方式可以通过硬件、软件或者软件和硬件的结合来实现。硬件部分可以利用专用逻辑来实现；软件部分可以存储在存储器中，由适当的指令执行系统，例如微处理器或者专用设计硬件来执行。本领域的普通技术人员可以理解上述的设备和方法可以使用计算机可执行指令和/或包含在处理器控制代码中来实现，例如在诸如磁盘、CD 或 DVD-ROM 的载体介质、诸如只读存储器(固件)的可编程的存储器或者诸如光学或电子信号载体的数据载体上提供了这样的代码。本发明的设备及其模块可以由诸如超大规模集成电路或门阵列、诸如逻辑芯片、晶体管等的半导体、或者诸如现场可编程门阵列、可编程逻辑设备等的可编程硬件设备的硬件电路实现，也可以用由各种类型的处理器执行的软件实现，也可以由上述硬件电路和软件的结合例如固件来实现。

以上所述，仅为本发明的具体实施方式，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，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，都应涵盖在本发明的保护范围之内。