



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118050707 A

(43) 申请公布日 2024.05.17

(21) 申请号 202211435761.0

(22) 申请日 2022.11.16

(71) 申请人 上海禾赛科技有限公司

地址 201821 上海市嘉定区新徕路468号园
区二号楼

(72) 发明人 肖鹏川 邵振雷 陈诗雨 雷啸
马吉祥 廖仁 余锐 向少卿

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限
公司 11227

专利代理师 张英英

(51) Int. Cl.

G01S 7/497 (2006.01)

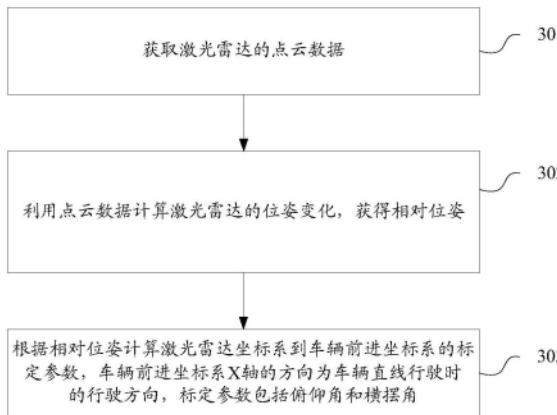
权利要求书2页 说明书12页 附图5页

(54) 发明名称

激光雷达的标定方法及装置、存储介质、终端设备

(57) 摘要

本发明提供一种激光雷达的标定方法及装置、存储介质、终端设备，激光雷达的标定方法包括：获取激光雷达的点云数据；利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化，获得相对位姿；根据所述相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数，所述车辆前进坐标系X轴的方向为所述车辆直线行驶时的行驶方向，所述标定参数包括俯仰角和横摆角。通过本发明技术方案能够在车辆正常行驶过程中实现激光雷达到车辆坐标系的实时标定，标定算法简单，精度高。



1. 一种激光雷达的标定方法,其特征在于,包括:
 - 获取激光雷达的点云数据;
 - 利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿;
 - 根据所述相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数,所述车辆前进坐标系X轴的方向为所述车辆直线行驶时的行驶方向,所述标定参数包括俯仰角和横摆角。
2. 根据权利要求1所述的激光雷达的标定方法,其特征在于,所述利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿之前,还包括:
 - 判断所述车辆的行驶状态是否满足标定条件,当车辆的行驶状态满足所述标定条件时,启动标定程序。
3. 根据权利要求2所述的激光雷达的标定方法,其特征在于,所述标定条件包括所述车辆基本处于直线行驶状态。
4. 根据权利要求3所述的激光雷达的标定方法,其特征在于,当所述车辆行驶的横摆角速度小于第一门限阈值时确定所述车辆基本处于直线行驶状态。
5. 根据权利要求3所述的激光雷达的标定方法,其特征在于,所述标定条件还包括所述车辆行驶的线速度超过第二门限阈值。
6. 根据权利要求5所述的激光雷达的标定方法,其特征在于,所述标定条件包括车辆基本处于直线行驶状态和所述线速度超过第二门限阈值的持续时长达到门限时长。
7. 根据权利要求1所述的激光雷达的标定方法,其特征在于,所述获取激光雷达的点云数据,具体包括:
 - 获取所述激光雷达的点云数据;
 - 所述点云数据满足以下一种或多种条件时,选取所述点云数据,以用于计算所述相对位姿:
 - 相邻两帧点云数据的时间差小于等于第三门限阈值;
 - 相邻两帧点云数据中前一帧点云数据的时间早于所述相邻帧点云数据中当前帧点云数据的时间;
 - 利用所述点云数据计算所述激光雷达在相邻帧之间的移动线速度和角速度,且所述移动线速度差异小于等于第四门限阈值和角速度差异小于等于第五门限阈值;
 - 所述点云数据中特定目标物体的特征数量大于等于第三门限阈值。
8. 根据权利要求1所述的激光雷达的标定方法,其特征在于,所述利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿,具体包括:
 - 利用所述点云数据中的相邻两帧点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得所述相对位姿。
9. 根据权利要求1所述的激光雷达的标定方法,其特征在于,所述相对位姿包括旋转矩阵和平移向量;
 - 所述根据所述相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数,具体包括:
 - 通过计算所述平移向量与所述激光雷达坐标系水平轴的夹角确定所述激光雷达坐标系到所述车辆前进坐标系的标定参数。
10. 根据权利要求1所述的激光雷达的标定方法,其特征在于,还包括:

将多次标定获得的标定参数进行平均,以获得最终的标定结果。

11. 一种激光雷达的标定装置,其特征在于,包括:

获取模块,用于获取激光雷达的点云数据;

位姿计算模块,用于利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿;

标定参数计算模块,用于根据所述相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数,所述车辆前进坐标系X轴的方向为所述车辆直线行驶时的行驶方向,所述标定参数包括俯仰角和横摆角。

12. 一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被计算机运行时执行权利要求1至9中任一项激光雷达的标定方法的步骤。

13. 一种终端设备,包括存储器和处理器,所述存储器上存储有可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器运行所述计算机程序时执行权利要求1至9中任一项激光雷达的标定方法的步骤。

激光雷达的标定方法及装置、存储介质、终端设备

技术领域

[0001] 本发明涉及激光雷达领域,尤其涉及一种激光雷达的标定方法及装置、存储介质、终端设备。

背景技术

[0002] 对于车辆而言,将车载传感器坐标系转换到车辆坐标系是车辆感知决策的关键前提。因此将传感器安装到车辆上之后,需要对其进行标定。激光雷达是目前以及未来车辆上广泛使用的精密传感器。激光雷达的标定是指求解激光雷达坐标系相对于车辆坐标系的相对变换关系,即获得旋转平移变换矩阵,从而在车辆坐标系下得到激光雷达的检测结果,方便后续的感知计算。基于激光雷达的车载三维重建系统和感知系统工作时需要对激光雷达的参数:三个旋转参数(roll,pitch,yaw)和三个平移参数(x,y,z)进行标定。其中,roll表示翻滚角,为围绕X轴旋转的角度;pitch表示俯仰角,为围绕Y轴旋转的角度;yaw表示偏航角,表示围绕Z轴旋转的角度。

[0003] 现有技术中,激光雷达标定方案多为下线标定(离线标定),即在激光雷达系统安装到车辆上,然后在车辆静止的情况下,基于固定的场景、标靶、摆阵器等实现对激光雷达设备的外部参数的标定。但颠簸、震动、固定件的松动,以及环境或者地域温度的变化,激光雷达坐标系与车辆坐标系的相对位置关系会发生变化,因此下线的标定结果并不能时刻保持精准,那么使用下线标定参数进行感知则可能会产生误差,可能导致感知任务的错误,威胁车辆的行驶安全。因此,如图1所示,现有技术中还会进行实时标定,根据采用的车辆坐标系的不同,大致有以下方案:在车辆运动过程中将雷达坐标系标定到车辆机械坐标系;或者将雷达坐标系标定到惯性导航系统(Inertial Navigation System,INS)坐标系的方案。

[0004] 但是,现有实时标定方案存在以下问题。如图1所示,车辆的机械坐标系的原点与车辆质心重合,X轴平行于地面指向车辆前方,Z轴垂直地面指向上方。因此车辆的机械坐标系与车辆的各个部件的位置、结构密切相关。因此存在着车辆的机械坐标系往往因为装配误差或者长时间使用磨损而发生偏移的问题,同时在行进过程中车辆车轴与激光雷达的相对关系难以观测,即车辆难以准确感知自身的车轴方位。而将雷达坐标系标定到INS坐标系时,车辆实时标定时要求车辆持续进行大角度转弯行驶才能完成标定,通常需要车辆在场地上走“8”字,如图2所示,因此必须在特地场地下沿特定轨迹运行;此外,对INS的精度要求较高,否则将导致标定参数的精度低。

发明内容

[0005] 本发明解决的技术问题是如何简便准确地对激光雷达进行标定。

[0006] 为解决上述技术问题,第一方面,本发明实施例提供一种激光雷达的标定方法,激光雷达的标定方法包括:获取激光雷达的点云数据;利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿;根据所述相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数,所述车辆前进坐标系X轴的方向为所述车辆直线行驶时的行驶方向,所述标定参

数包括俯仰角和横摆角。

[0007] 可选的,所述利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿之前,还包括:判断所述车辆的行驶状态是否满足标定条件,当车辆的行驶状态满足所述标定条件时,启动标定程序。

[0008] 可选的,所述标定条件包括所述车辆基本处于直线行驶状态。

[0009] 可选的,当所述车辆行驶的横摆角速度小于第一门限阈值时确定所述车辆基本处于直线行驶状态。

[0010] 可选的,所述标定条件还包括所述车辆行驶的线速度超过第二门限阈值。

[0011] 可选的,所述标定条件包括车辆基本处于直线行驶状态和所述线速度超过第二门限阈值的持续时长达到门限时长。

[0012] 可选的,所述获取激光雷达的点云数据,具体包括:获取所述激光雷达的点云数据;所述点云数据满足以下一种或多种条件时,选取所述点云数据,以用于计算所述相对位姿:相邻两帧点云数据的时间差小于等于第三门限阈值;相邻两帧点云数据中前一帧点云数据的时间早于所述相邻帧点云数据中当前帧点云数据的时间;利用所述点云数据计算所述激光雷达在相邻帧之间的移动线速度和角速度,且所述移动线速度差异小于等于第四门限阈值和角速度差异小于等于第五门限阈值;所述点云数据中特定目标物体的特征数量大于等于第三门限阈值。

[0013] 可选的,所述利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿,具体包括:利用所述点云数据中的相邻两帧点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得所述相对位姿。

[0014] 可选的,所述相对位姿包括旋转矩阵和平移向量;所述根据所述相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数,具体包括:通过计算所述平移向量与所述激光雷达坐标系水平轴的夹角确定所述激光雷达坐标系到所述车辆前进坐标系的标定参数。

[0015] 可选的,所述激光雷达的标定方法还包括:将多次标定获得的标定参数进行平均,以获得最终的标定结果。

[0016] 第二方面,本发明还公开一种激光雷达的标定装置,激光雷达的标定装置包括:获取模块,用于获取激光雷达的点云数据;位姿计算模块,用于利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿;标定参数计算模块,用于根据所述相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数,所述车辆前进坐标系X轴的方向为所述车辆直线行驶时的行驶方向,所述标定参数包括俯仰角和横摆角。

[0017] 第三方面,本发明还公开一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序被计算机运行时执行激光雷达的标定方法的步骤。

[0018] 第四方面,本发明还公开一种终端设备,包括存储器和处理器,所述存储器上存储有可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器运行所述计算机程序时执行激光雷达的标定方法的步骤。

[0019] 与现有技术相比,本发明实施例的技术方案具有以下有益效果:

[0020] 本发明技术方案中,以车辆直线行驶时的行驶方向作为车辆前进坐标系X轴的方向,并通过点云数据获得的激光雷达的相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数。通过上述标定方法实现激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定,该标定方法

中前进坐标系的方位可以容易地通过点云数据观测到,且不需要车辆进行特定轨迹的大角度转动,使得标定过程能够在车辆正常行驶过程中完成,实现了标定的便捷性;此外,本发明中的标定过程不依赖惯性导航系统的精度,保证了标定参数的准确性和稳定性。

[0021] 进一步地,车辆的行驶状态满足标定条件时,启动标定程序。标定条件包括车辆基本处于直线行驶状态,以及车辆行驶的线速度超过第二门限阈值。本发明通过设置标定条件车辆基本处于直线行驶状态,使得车辆的实际行驶方向与车辆前进坐标系X轴的方向是重合的,当通过点云数据计算出车辆直线行驶时的行驶方向后,即可获知车辆的前进坐标系方位,从而保证激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的正确标定;通过设置标定条件车辆行驶的线速度超过第二门限阈值,使得车载激光雷达的位姿具有明显变化,与激光雷达的测量误差产生的相对位姿进行区分,进一步保证激光雷达标定的准确性。

[0022] 进一步地,本发明还利用一种或多种条件对点云数据进行筛选,并使用筛选后的点云数据计算激光雷达的相对位姿,使得筛选后的点云数据具有较高的可靠性以及置信度,从而使得激光雷达的相对位姿更加准确,进而使得激光雷达标定具有更高的准确性。

附图说明

[0023] 附图用来提供对本发明的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与本发明的实施例一起用于解释本发明,并不构成对本发明的限制。在附图中:

[0024] 图1是现有技术中一种机械坐标系的示意图;

[0025] 图2是现有技术中一种实时标定场景的示意图;

[0026] 图3是本发明实施例提供的一种激光雷达的标定方法的流程图;

[0027] 图4是本发明实施例提供的一种车辆前进坐标系的示意图;

[0028] 图5是本发明实施例提供的另一种激光雷达的标定方法的流程图;

[0029] 图6是本发明实施例提供的一种车辆前进坐标系与行驶方向的示意图;

[0030] 图7是本发明实施例提供的又一种激光雷达的标定方法的流程图;

[0031] 图8是本发明实施例提供的一种应用场景的示意图;

[0032] 图9是本发明实施例提供的一种激光雷达的标定装置的结构示意图。

具体实施方式

[0033] 如背景技术中所述,车辆的机械坐标系往往因为装配误差或者长时间使用磨损而发生偏移的问题,同时在行进过程中车辆车轴与激光雷达的相对关系难以观测,即车辆难以准确感知自身的车轴方位。而将雷达坐标系标定到INS坐标系时,车辆实时标定时要求车辆持续进行大角度转弯行驶才能完成标定,通常需要车辆在场地上走“8”字,如图2所示,因此必须在特地场地下沿特定轨迹运行;此外,对INS的精度要求较高,否则将导致标定参数的精度低。

[0034] 本发明技术方案中,定义车辆前进坐标系为车辆坐标系,其中车辆前进坐标系X轴方向为车辆直行时的前进方向,并通过点云数据获得激光雷达在两帧点云间的相对位姿,根据相对位姿来计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数。通过上述标定方法实现激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定,该标定方法中前进坐标系的方位可以容易地通过点云数据观测到,且不需要车辆进行特定轨迹的大角度转动,使得标定过程能够在车

辆正常行驶过程中完成,实现了标定的便捷性;此外,本发明中的标定过程不依赖惯性导航系统的精度,保证了标定参数的准确性和稳定性。

[0035] 进一步地,车辆的行驶状态满足标定条件时,启动标定程序。标定条件包括车辆基本处于直线行驶状态,以及车辆行驶的线速度超过第二门限阈值。本发明通过设置标定条件车辆基本处于直线行驶状态,使得车辆的实际行驶方向与车辆前进坐标系X轴的方向是重合的,当通过点云数据计算出车辆直线行驶时的行驶方向后,即可获知车辆的前进坐标系方位,从而保证激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的正确标定;通过设置标定条件车辆行驶的线速度超过第二门限阈值,使得车载激光雷达的位姿具有明显变化,与激光雷达的测量误差产生的相对位姿进行区分,进一步保证激光雷达标定的准确性。

[0036] 进一步地,本发明还利用一种或多种条件对点云数据进行筛选,并使用筛选后的点云数据计算激光雷达的相对位姿,使得筛选后的点云数据具有较高的可靠性以及置信度,从而使得激光雷达的相对位姿更加准确,进而使得激光雷达标定具有更高的准确性。

[0037] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更为明显易懂,下面结合附图对本发明的具体实施例做详细的说明。

[0038] 图3是本发明实施例提供的一种激光雷达的标定方法的流程图。

[0039] 请参照图3,所述方法包括以下步骤:

[0040] 步骤301:获取激光雷达的点云数据;

[0041] 步骤302:利用点云数据计算激光雷达的位姿变化,获得相对位姿;

[0042] 步骤303:根据相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数,车辆前进坐标系X轴的方向为车辆直线行驶时的行驶方向,标定参数包括俯仰角和横摆角。

[0043] 需要指出的是,本实施例中各个步骤的序号并不代表对各个步骤的执行顺序的限制。

[0044] 可以理解的是,在具体实施中,所述激光雷达的标定方法可以采用软件程序的方式实现,该软件程序运行于芯片或芯片模组内部集成的处理器中。该方法也可以采用软件结合硬件的方式实现,本发明不作限制。

[0045] 本实施例中,激光雷达可以是与车辆固定连接的车载激光雷达。当车辆运动时,激光雷达与车辆一起移动,因此在较短时间内激光雷达的运动方向与车辆的运动方向保持一致。

[0046] 在步骤301和步骤302的具体实施中,可以通过激光雷达采集到的点云数据计算激光雷达在运动前后的位姿变化,以获得激光雷达的相对位姿。车辆在运动过程中,激光雷达随之运动,因此两个不同时刻激光雷达的位姿会发生变化(包括平移和旋转)。激光雷达可以以某一时刻为起点(例如启动时刻或其他时刻),累计帧间位姿变换,得到各帧时刻激光雷达相对起点时刻的位姿(位置和方向),进而可以得到任意两帧点云间的相对位姿。

[0047] 举例而言,激光雷达的相对位姿可以是 t_k 时刻激光雷达的位姿相对于 t_{k-1} 时刻的位姿的相对变化。 t_k 时刻相对于 t_{k-1} 时刻激光雷达的相对位姿可以通过 t_k 时刻点云相对于起点时刻点云的位姿和 t_{k-1} 时刻点云相对于起点时刻点云的位姿计算得到。 t_k 时刻的点云和 t_{k-1} 时刻的点云可以是直接相邻的两帧点云,也可以是间隔几帧的点云。通常激光雷达直接相邻的两帧点云之间的时间间隔在0.1s量级,时间较短,在如此短的时间内可以认为激光雷达与车辆的相对位置关系不会发生变动,从而可以由激光雷达的行驶方向获得。激光雷

达的行驶方向可以从激光雷达的相对位姿中获得车辆行驶方向,相对位姿表示两个时刻下激光雷达的位置姿态变化关系,从中可以直接计算出激光雷达的行驶方向,下文将会进行详细描述。相对位姿可以利用位姿矩阵来表示,位姿矩阵可以包括旋转矩阵和平移向量。具体地,上述点云数据可以是车辆在行驶时间段内激光雷达采集到的点云数据。

[0048] 在步骤303的具体实施中,可以根据相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数。标定参数可以表示激光雷达坐标系与车辆前进坐标系的相对位置关系。其中,请一并参照图4,车辆前进坐标系通常是笛卡尔坐标系,它的原点C1可以设在车辆的中心,车辆前进坐标系X轴(如图4中X1所示)的方向为车辆直线行驶时的行驶方向。车辆前进坐标系Z轴(如图3中Z1所示)为竖直向上的方向,车辆前进坐标系Y轴(如图3中Y1所示)为与X轴位于同一平面且与X轴相垂直的方向。根据前进坐标系的定义可知,当车辆直线行驶时,前进坐标系X轴与车辆速度方向重合,当车辆转弯时,前进坐标系X轴与车辆速度方向存在夹角。从而可以通过车辆的姿态信息来确定前进坐标系的方位。

[0049] 继续参照图4,激光雷达坐标系也可以设为是笛卡尔坐标系,它的原点C2可以是激光雷达中心所在的位置,激光雷达坐标系X轴(如图3中X2所示)与车辆前进坐标系X轴存在一定的夹角,该夹角与实际应用中激光雷达在车辆上的安装位置有关,本发明对此不作限制。

[0050] 上述步骤301至步骤303所述的标定过程是在车辆行驶过程中完成的,因此上述标定过程可以称为实时标定。

[0051] 通常而言,激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数包括6个自由度,也即三个平移自由度(x,y,z)和三个旋转自由度:翻滚(roll),俯仰(pitch),横摆(yaw)。通过步骤303获得的标定参数包括俯仰角和横摆角。实时标定中,由于运动激励自由度有限(车辆运动近似为平面运动),相对位置中部分自由度可观性较差,无法实现准确标定,且对感知数据(如点云数据)从激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的转换影响较小。

[0052] 具体地,平移自由度对感知数据的影响仅在厘米量级,而激光雷达的感知距离在几十米至几百米的范围,所以即使平移自由度的标定精度不高,导致的感知结果的偏差也非常微弱,因此对车辆感知的影响较小,可以采用默认标定值;翻滚角的偏差体现在物体的旋转方向,而对物体距离和方位的探测影响较弱。而俯仰角和横摆角对点云数据进行坐标系转换的影响较大,由于激光雷达的探测距离较远,探测距离与俯仰角/横摆角三角函数的乘积也较大,对于感知任务而言,即使俯仰角或横摆角的标定参数出现细微偏差,也会使得物体的探测距离和方位出现较大的偏差。本方案中为了时刻保证感知任务的准确,而在实时标定过程实时进行俯仰角和横摆角的标定。

[0053] 在一个具体的实施例中,除俯仰角和横摆角之外的其他标定参数,可以通过线下标定的过程获得。如前所述,线下标定是在激光雷达系统安装到车辆上投入使用之前,车辆静止的情况下,基于固定的场景、标靶、摆阵器等实现对激光雷达设备的外部参数的标定。获得的标定参数主要是三个平移自由度以及翻滚角。

[0054] 在另一个具体的实施例中,除俯仰角和横摆角之外的其他标定参数,可以通过默认值进行补充。

[0055] 那么,在获得所有的标定参数之后,即可获得激光雷达坐标系与车辆前进坐标系之间的坐标变换矩阵。进而,可以利用该坐标变换矩阵实现将激光雷达采集的点云数据转

换到车辆所在的车辆前进坐标系中。

[0056] 例如,对于激光雷达坐标系中的空间点 P_L ,可以利用变换矩阵 C_L^C 将其转换为车辆前进坐标系中的空间点 P_c 。具体可以采用下述公式(1)和(2)来表示。

$$[0057] \quad P_c = C_L^C \times P_L \quad (1)$$

$$[0058] \quad \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0059] 本发明中的标定方案,标定方法简单易于实现,标定过程中需要处理的数据量较小,且能够在车辆正常运行中进行实时标定,因此时刻保证了激光雷达到车辆坐标系的标定参数的精准,从而确保车辆利用激光雷达进行环境感知任务的正确精准。

[0060] 本发明实施例通过对激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定,使得标定过程能够在车辆正常行驶过程中完成,实现了标定的便捷性;此外,本发明中的标定过程不依赖惯性导航系统的精度,保证了标定参数的准确性和稳定性。

[0061] 在本发明一个非限制性的实施例中,请参照图5,图5示出了一种激光雷达的标定方法。

[0062] 在步骤501中,获取激光雷达的点云数据。具体可以是获取多帧点云数据,包括当前帧点云数据。

[0063] 在步骤502中,判断车辆的行驶状态是否满足标定条件。如果是,则执行步骤504,否则执行步骤503。

[0064] 在一种具体实施方式中,标定条件包括所述车辆基本处于直线行驶状态。也就是说,在车辆基本处于直行行驶状态时,可以进行激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定。这是因为,在车辆直行时,前进方向和车辆前进坐标系的X轴重合,因此在车辆直行时即可实现激光雷达坐标系到车辆前进方向的标定。而直行是车辆正常行驶过程的非常常见的行驶状态,因此该标定条件极容易满足,因此本实施例中的标定方法可以在车辆的行驶过程中不断地执行,以实时保证激光雷达感知任务的精准。

[0065] 更具体地,可以通过车辆的横摆角速度(yaw rate)来判断车辆是否处于直线行驶状态。车辆的横摆角速度可以通过激光雷达的点云数据获得,也可以通过车辆上安装的其他传感器(例如IMU)来获得。具体请参照图6,车辆行驶的横摆角速度小于第一门限阈值时确定车辆基本处于直线行驶状态。例如车辆行驶的横摆角速度小于1度/秒($^{\circ}/s$),表示车辆基本处于直线行驶状态。此时,车辆的前进方向D2与和车辆前进坐标系的X轴重合。

[0066] 而车辆行驶的横摆角速度大于第一门限阈值时,车辆的前进方向D1与和车辆前进坐标系的X轴(图6中X1所示)存在一定的夹角,此时表示车辆未处于直线行驶状态。

[0067] 在另一种具体实施方式中,标定条件包括车辆行驶的线速度超过第二门限阈值。车辆行驶的线速度可以通过激光雷达的点云数据获得,也可以通过车辆上安装的其他传感器(例如IMU)来获得。例如,车辆行驶的线速度(velocity)大于5米/秒(m/s)。也就是说,车辆行驶的线速度超过第二门限阈值时,可以进行激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定。这是因为,车辆行驶的线速度超过第二门限阈值时,表示车辆运动较快,车载激光雷达

的位姿具有明显变化,能够与激光雷达的测量误差产生的相对位姿进行区分,保证激光雷达标定的准确性。若车辆行驶的线速度小于第二门限阈值,则表明车辆运行速度过慢,激光雷达采集到的点云数据中的特征变化较少。而激光雷达坐标系到前进坐标系的标定需要用到两帧点云之间的相对姿态,点云数据中的特征变化较少的情况下,导致计算出的相对位姿无法区分是雷达测量误差造成的还是雷达运动造成的。因此本实施例中对车辆的运行速度进行了限定,以保证从点云数据中获取到的相对姿态信息是准确的。

[0068] 在又一种具体实施方式中,标定条件包括所述车辆基本处于直线行驶状态,以及车辆行驶的线速度超过第二门限阈值。也就是说,在车辆基本处于直行行驶状态,且车辆行驶的线速度超过第二门限阈值时,可以进行激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定。

[0069] 在又一种具体实施方式中,标定条件包括车辆在一段时间内保持下述状态:基本处于直线行驶状态,且车辆行驶的线速度超过第二门限阈值。也就是说,在车辆基本处于直行行驶状态,且车辆行驶的线速度超过第二门限阈值持续一段时间的情况下,可以进行激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定。通过此标定条件,可以确定车辆的直线、快速行驶状态并非极短时间内的偶然行为,例如车辆处于转弯过程中的一小段直线行驶过程。在车辆满足该标定条件后再启动标定,能够保证标定的正确性。此外,判断出车辆在持续进行直线行驶状态时,能够采用连续多帧的点云数据进行实时标定,进而可以对多帧点云的连续标定结果取平均值作为此次的标定值,或者判断连续多次标定值达到收敛值时将收敛值作为此次标定的标定值,从而进一步提高实时标定的准确性。

[0070] 需要说明的是,车辆行驶线速度和横摆角速度可以通过点云里程计获得,也可以通过车辆的惯性测量单元(Inertial Measurement Unit,IMU)获得,如果通过IMU获得,由于是对车辆的行驶状态进行判断,所要求的IMU精度较低。

[0071] 继续参照图5,在步骤503中,跳过当前帧点云数据。也就是说,如果不满足上述标定条件,则不采用当前帧点云数据进行实时标定,也即不采用该当前帧点云数据计算激光雷达的相对位姿。然后继续获取下一帧点云数据,再行判断车辆行驶状态是否满足标定条件。

[0072] 在步骤504中,利用点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿。

[0073] 在步骤505中,根据相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数。

[0074] 具体实施中,车辆的行驶状态满足标定条件时,启动标定程序,也即执行步骤504和步骤505,以获得标定参数。

[0075] 关于步骤504和步骤505的更多具体实现方式,请参照前述实施例,此处不再赘述。

[0076] 在本发明一个非限制性的实施例中,在获取到点云数据时,还可以对点云数据进行筛选,以使得筛选后的点云数据具有较高的可靠性以及置信度,从而使得根据点云数据计算的激光雷达的相对位姿更加准确,进而使得激光雷达标定具有更高的准确性。

[0077] 具体请参照图7,在步骤701中,获取激光雷达的点云数据。具体可以是获取多帧点云数据,包括当前帧点云数据。

[0078] 在步骤702中,判断点云数据是否满足筛选条件,如果是,则执行步骤703,否则执行步骤704。

[0079] 具体实施中,筛选条件包括以下一种或多种条件:

[0080] 1、相邻两帧点云数据的时间差小于等于第三门限阈值。换言之,当前帧点云数据

的时间值 t_1 与上一帧点云数据的时间值 t_0 , t_1 与 t_0 之差不大于第三门限阈值。

[0081] 2、前一帧点云数据的时间 t_0 早于当前帧点云数据的时间 t_1 。

[0082] 3、利用点云数据计算激光雷达在相邻帧之间的移动线速度和角速度,且移动线速度差异小于等于第四门限阈值和角速度差异小于等于第五门限阈值。也就是说,激光雷达在相邻帧之间的移动线速度和角速度的差异较小。

[0083] 4、点云数据中特定目标物体的特征数量大于等于第三门限阈值。

[0084] 本实施例中,对于满足筛选条件的点云数据,在车辆的行驶状态满足标定条件时,可以用于实时标定,也即用于计算激光雷达的相对位姿。对于不满足筛选条件的点云数据,则跳过该帧点云数据,也即该帧点云数据不用于实时标定。

[0085] 具体实施中,条件1和条件2是保证相邻两帧点云数据的时间连续性,避免发生点云数据时间采样或记录错误、点云丢帧、跳帧等问题。条件3则是确保激光雷达运动的连续性,如果通过点云数据判断激光雷达运动发生跳变,运动未保持连续,那么当前帧的点云数据则不可靠。因此,条件1、条件2和条件3是用于保证激光雷达的相邻两帧点云数据是可靠的,避免由于丢帧、记录错误等原因导致的标定错误。具体地,在条件3中,计算激光雷达在相邻帧之间的移动线速度和角速度时,先根据上上帧点云数据与上一帧点云数据计算激光雷达的第一相对位姿,再根据上一点云数据与当前帧点云数据计算激光雷达的第二相对位姿;根据上述第一相对位姿和第二相对位姿计算激光雷达的移动线速度和角速度。

[0086] 具体实施中,条件4则是确保点云数据中的特征数量,也即确保激光点云中柱状目标物体的特征数量足够多。因为点云数据中柱状目标物体的特征数量较多时,点云数据的置信度比较高,在标定过程中可以更准确地根据点云数据获得两帧点云的相对位姿,从而进行精准的标定。具体地,条件4中所称特定目标物体可以是固定柱状物体,例如可以是信号灯、电线杆等。

[0087] 在步骤703中,判断车辆的行驶状态是否满足标定条件。如果是,则执行步骤705,否则执行步骤704。

[0088] 在步骤704中,跳过当前帧点云数据。也就是说,不采用当前帧点云数据进行实时标定,也即不采用该当前帧点云数据计算激光雷达的相对位姿。

[0089] 在步骤705中,利用满足筛选条件的点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿。

[0090] 在步骤706中,根据相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数。

[0091] 在本发明一个非限制性的实施例中,可以执行多次图3、图5或图7所示的实时标定过程,获得多个标定参数。对多个标定参数进行平均,以获得最终的标定结果。

[0092] 本实施例中,标定结果的精度随标定次数增加而提高并收敛,因此可以通过进行多次标定来提高标定的精度。

[0093] 请参照图8,图8示出了一种多次标定的标定参数随时间变化的示意图。具体实施中,在规定时间,例如100秒内进行多次标定。 T_1 表示开始标定的时刻, T_2 表示第 N 次标定的时刻。若达到指定精度,表示标定参数趋于稳定,则输出收敛标志。其中,指定精度是指斜率趋近于零,也即标定参数在一定时间内的变化率为0。如图8所示,标定参数在 T_2 时刻趋于稳定。经过实验证明,在趋于稳定后,标定参数的角度差异不超过0.05度。

[0094] 车辆接收到收敛标志后可以存储此次标定结果,并在后续感知任务中使用该标定

结果。如果未能在规定时间内达到指定精度，则不输出收敛标志，依旧沿用上次存储的标定结果。

[0095] 测试数据显示，采用本发明的实时标定方案，即使车辆行驶在不同场景下进行实时标定时，标定参数的波动也在0.1度左右，标定参数具有稳定性。

[0096] 在一个具体的应用场景中，表1示出了车辆在不同的场景中标定参数的示意值。

[0097] 表1

场景	俯仰角(度)	横摆角(度)
城市场景	3.20	0.13
高速场景1	3.11	0.22
高速场景2	3.09	0.23

[0099] 在步骤101或步骤301的一个具体实施例中，可以利用点云数据中的相邻两帧点云数据计算激光雷达的位姿变化，获得所述相对位姿。相对位姿包括旋转矩阵和平移向量(也可称为平移矩阵)。

[0100] 具体地，利用第*i*-1帧点云数据和第*i*帧点云数据计算得到相对位姿 $T_{L_i}^{L_{i-1}}$ ，也可以称为位姿矩阵，或者外参矩阵。位姿矩阵 $T_{L_i}^{L_{i-1}}$ 为4×4矩阵，其形式为 $T_{L_i}^{L_{i-1}} = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 。其

中，*R*表示大小为3×3的旋转矩阵，*t*表示平移向量， $t = \begin{bmatrix} t1 \\ t2 \\ t3 \end{bmatrix}$ ，表示表示*i*-1时刻到*i*时刻激光雷达的平移向量。

[0101] 具体地，位姿矩阵 $T_{L_i}^{L_{i-1}}$ 表示 t_i 时刻激光雷达的位姿相对于 t_{i-1} 时刻的位姿的相对变化。 T_i 时刻相对于 t_{i-1} 时刻激光雷达的相对位姿可以通过 t_i 时刻点云 L_i 相对于起点时刻点云的位姿和 t_{i-1} 时刻点云 L_{i-1} 相对于起点时刻点云的位姿计算得到。 t_i 时刻的点云 L_i 和 t_{i-1} 时刻的点云 L_{i-1} 可以是直接相邻的两帧点云，也可以是间隔几帧的点云。

[0102] 由于激光雷达和车辆固定连接，因此激光雷达的平移向量*t*也是车辆的平移向量，平移向量*t*的方向即车辆的前进方向，在车辆直行状态下，车辆的前进方向就是车辆前进坐标系的X轴方向，平移向量*t*表征车辆前进坐标系的X轴方向。

[0103] 进一步地，在计算标定参数时，可以通过计算平移向量与激光雷达坐标系X轴的夹角确定激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数。

[0104] 如前所述，平移向量*t*表征车辆前进坐标系的X轴方向，那么平移向量*t*与激光雷达坐标系X轴方向的夹角即车辆前进坐标系X轴与雷达坐标系X轴的夹角。进而通过将该夹角转换成欧拉角俯仰角和横摆角，即可完成一次激光雷达坐标系到前进坐标系的标定。

[0105] 具体地，可以采用以下方式计算上述夹角：对平移向量*t*进行归一化，获得第一单位向量；沿雷达坐标系X轴方向选取第二单位向量，并计算第一单位向量与所述第二单位向量的数量积，数量积为夹角的余弦值；对数量积进行反余弦运算，获得夹角。

[0106] 进一步地，可以采用下述方式进行夹角与欧拉角的转换：计算第一单位向量与第二单位向量的向量积，获得第一单位向量与第二单位向量的旋转轴；利用旋转轴与夹角构

建四元数;将四元数转换为欧拉角,获得俯仰角和横摆角。

[0107] 需要说明的是,关于夹角的计算以及欧拉角的转换的具体过程可以参照已有技术,此处不再赘述。

[0108] 关于本发明实施例的更多具体实现方式,请参照前述实施例,此处不再赘述。

[0109] 请参照图9,本发明还公开了一种激光雷达的标定装置80。激光雷达的标定装置90包括:

[0110] 获取模块901,用于获取激光雷达的点云数据;

[0111] 位姿计算模块902,用于利用所述点云数据计算所述激光雷达的位姿变化,获得相对位姿;

[0112] 标定参数计算模块903,用于根据所述相对位姿计算激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定参数,所述车辆前进坐标系X轴的方向为所述车辆直线行驶时的行驶方向,所述标定参数包括俯仰角和横摆角。

[0113] 本发明实施例通过对激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的标定,前进坐标系的方位可以容易地通过点云数据观测到,且不需要车辆进行特定轨迹的大角度转动,使得标定过程能够在车辆正常行驶过程中完成,实现了标定的便捷性;此外,本发明中的标定过程不依赖惯性导航系统的精度,保证了标定参数的准确性和稳定性。

[0114] 在一个非限制性的实施例中,激光雷达的标定装置90还包括:判断模块,用于判断所述车辆的行驶状态是否满足标定条件,当车辆的行驶状态满足标定条件时,启动标定程序。

[0115] 本发明实施例通过设置标定条件车辆基本处于直线行驶状态,使得车辆的实际行驶方向与车辆前进坐标系X轴的方向是重合的,当通过点云数据计算出车辆直线行驶时的行驶方向后,即可获知车辆的前进坐标系方位,从而保证激光雷达坐标系到车辆前进坐标系的正确标定;通过设置标定条件车辆行驶的线速度超过第二门限阈值,使得车载激光雷达的位姿具有明显变化,与激光雷达的测量误差产生的相对位姿进行区分,进一步保证激光雷达标定的准确性。

[0116] 本发明中的标定方案,标定方法简单易于实现,标定过程中需要处理的数据量较小,且能够在车辆正常运行中进行实时标定,因此时刻保证了激光雷达到车辆坐标系的标定参数的精准,从而确保车辆利用激光雷达进行环境感知任务的正确精准。

[0117] 在一个非限制性的实施例中,获取模块901包括获取单元,用于获取激光雷达的点云数据;筛选单元,用于在点云数据满足以下一种或多种条件时,选取点云数据,以用于计算相对位姿:相邻两帧点云数据的时间差小于等于第三门限阈值;相邻两帧点云数据中前一帧点云数据的时间早于相邻帧点云数据中当前帧点云数据的时间;利用点云数据计算激光雷达在相邻帧之间的移动线速度和角速度,且移动线速度差异小于等于第四门限阈值和角速度差异小于等于第五门限阈值;点云数据中特定目标物体的特征数量大于等于第三门限阈值。

[0118] 本发明实施例利用一种或多种条件对点云数据进行筛选,并使用筛选后的点云数据计算激光雷达的相对位姿,使得筛选后的点云数据具有较高的可靠性以及置信度,从而使得激光雷达的相对位姿更加准确,进而使得激光雷达标定具有更高的准确性。

[0119] 此外,可以采用连续多帧的点云数据进行实时标定,进而可以对多帧点云的连续

标定结果取平均值作为此次的标定值,从而进一步提高实时标定的准确性。

[0120] 在一个非限制性的实施例中,位姿计算模块902利用点云数据中的相邻两帧点云数据计算激光雷达的位姿变化,获得相对位姿。

[0121] 在一个非限制性的实施例中,相对位姿包括旋转矩阵和平移向量;标定参数计算模块903通过计算所述平移向量与所述激光雷达坐标系水平轴的夹角确定所述激光雷达坐标系到所述车辆前进坐标系的标定参数。

[0122] 在一个非限制性的实施例中,激光雷达的标定装置90还包括:标定结果确定模块,用于将多次标定获得的标定参数进行平均,以获得最终的标定结果。

[0123] 本发明实施例通过判断连续多次标定值达到收敛值时将收敛值作为此次标定的标定值,从而进一步提高实时标定的准确性。

[0124] 关于激光雷达的标定装置90的其他相关描述可以参照前述实施例中的相关描述,此处不再赘述。

[0125] 关于上述实施例中描述的各个装置、产品包含的各个模块/单元,其可以是软件模块/单元,也可以是硬件模块/单元,或者也可以部分是软件模块/单元,部分是硬件模块/单元。例如,对于应用于或集成于芯片的各个装置、产品,其包含的各个模块/单元可以都采用电路等硬件的方式实现,或者,至少部分模块/单元可以采用软件程序的方式实现,该软件程序运行于芯片内部集成的处理器,剩余的(如果有)部分模块/单元可以采用电路等硬件方式实现;对于应用于或集成于芯片模组的各个装置、产品,其包含的各个模块/单元可以都采用电路等硬件的方式实现,不同的模块/单元可以位于芯片模组的同一组件(例如芯片、电路模块等)或者不同组件中,或者,至少部分模块/单元可以采用软件程序的方式实现,该软件程序运行于芯片模组内部集成的处理器,剩余的(如果有)部分模块/单元可以采用电路等硬件方式实现;对于应用于或集成于终端设备的各个装置、产品,其包含的各个模块/单元可以都采用电路等硬件的方式实现,不同的模块/单元可以位于终端设备内同一组件(例如,芯片、电路模块等)或者不同组件中,或者,至少部分模块/单元可以采用软件程序的方式实现,该软件程序运行于终端设备内部集成的处理器,剩余的(如果有)部分模块/单元可以采用电路等硬件方式实现。

[0126] 本发明实施例还公开了一种存储介质,所述存储介质为计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序运行时可以执行图1、图3中或图4所示方法的步骤。所述存储介质可以包括只读存储器(Read-Only Memory,ROM)、随机存取存储器(Random Access Memory, RAM)、磁盘或光盘等。存储介质还可以包括非挥发性存储器(non-volatile)或者非瞬态(non-transitory)存储器等。

[0127] 应理解,本文中术语“和/或”,仅仅是一种描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,A和/或B,可以表示:单独存在A,同时存在A和B,单独存在B这三种情况。另外,本文中字符“/”,表示前后关联对象是一种“或”的关系。

[0128] 本发明实施例中出现的“多个”是指两个或两个以上。

[0129] 本发明实施例中出现的第一、第二等描述,仅作示意与区分描述对象之用,没有次序之分,也不表示本发明实施例中对设备个数的特别限定,不能构成对本发明实施例的任何限制。

[0130] 本发明实施例中出现的“连接”是指直接连接或者间接连接等各种连接方式,以实

现设备间的通信,本发明实施例对此不做任何限定。

[0131] 上述实施例,可以全部或部分地通过软件、硬件、固件或其他任意组合来实现。当使用软件实现时,上述实施例可以全部或部分地以计算机程序产品的形式实现。所述计算机程序产品包括一个或多个计算机指令或计算机程序。在计算机上加载或执行所述计算机指令或计算机程序时,全部或部分地产生按照本发明实施例所述的流程或功能。所述计算机可以为通用计算机、专用计算机、计算机网络、或者其他可编程装置。所述计算机指令可以存储在计算机可读存储介质中,或者从一个计算机可读存储介质向另一个计算机可读存储介质传输,例如,所述计算机指令可以从一个网站站点、计算机、服务器或数据中心通过有线或无线方式向另一个网站站点、计算机、服务器或数据中心进行传输。所述计算机可读存储介质可以是计算机能够存取的任何可用介质或者是包含一个或多个可用介质集合的服务器、数据中心等数据存储设备。

[0132] 在本发明所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的方法、装置和系统,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的;例如,所述单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式;例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通信连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0133] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0134] 另外,在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理包括,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用硬件加软件功能单元的形式实现。

[0135] 上述以软件功能单元的形式实现的集成的单元,可以存储在一个计算机可读存储介质中。上述软件功能单元存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等等)执行本发明各个实施例所述方法的部分步骤。

[0136] 虽然本发明披露如上,但本发明并非限于于此。任何本领域技术人员,在不脱离本发明的精神和范围内,均可作各种更动与修改,因此本发明的保护范围应当以权利要求所限定的范围为准。

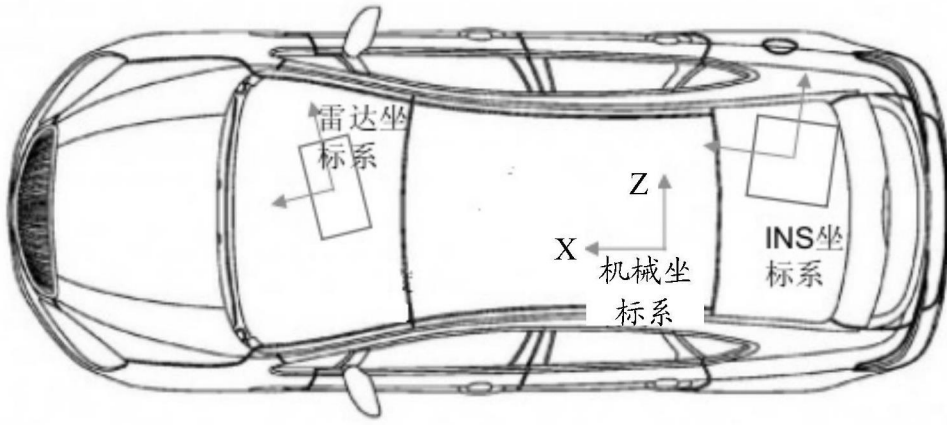


图1

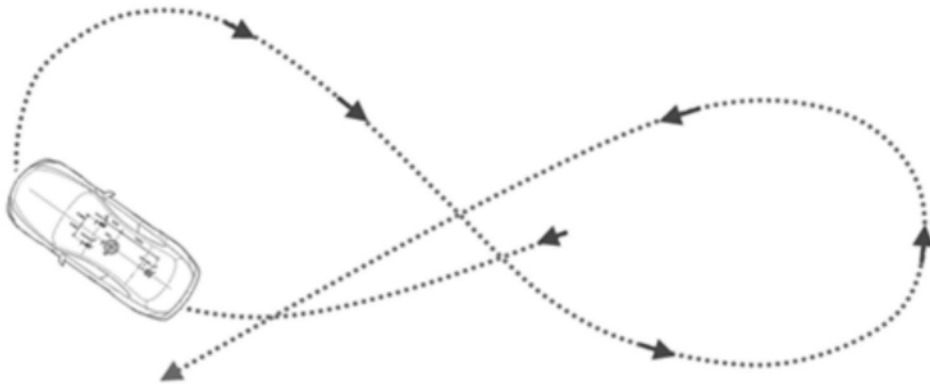


图2

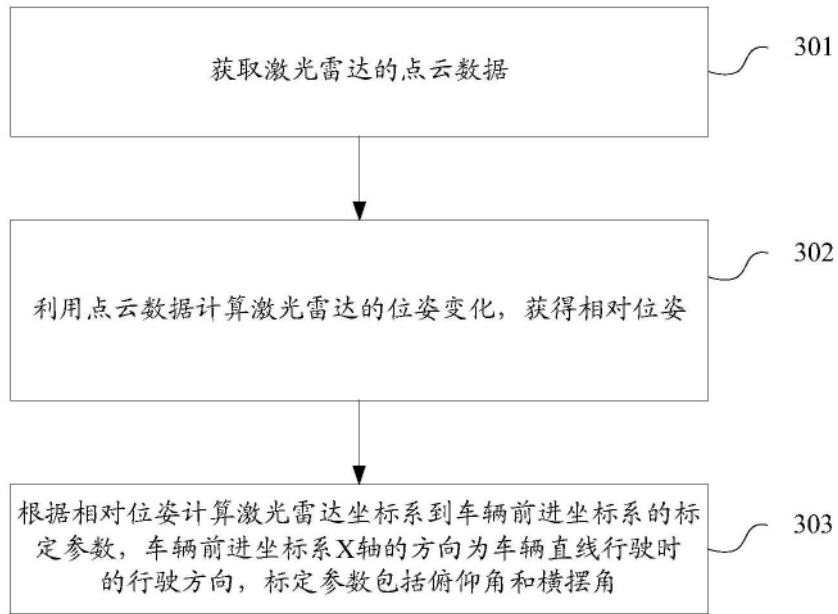


图3

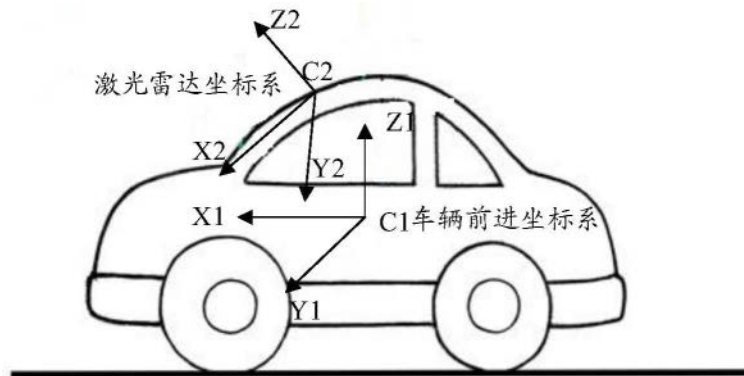


图4

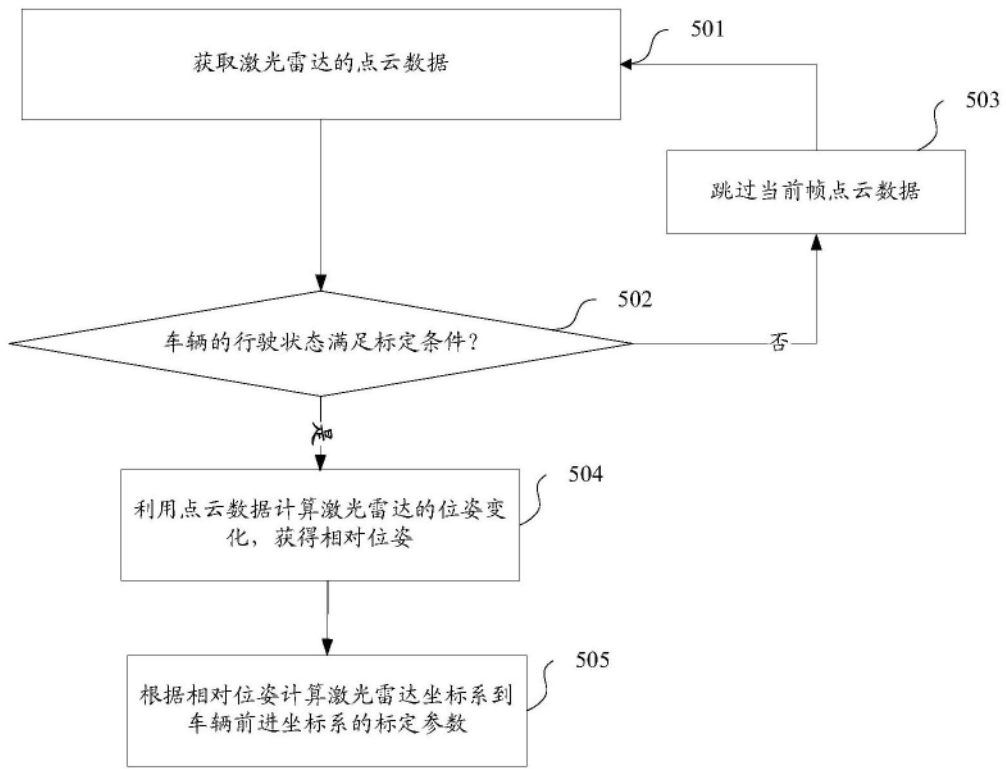


图5

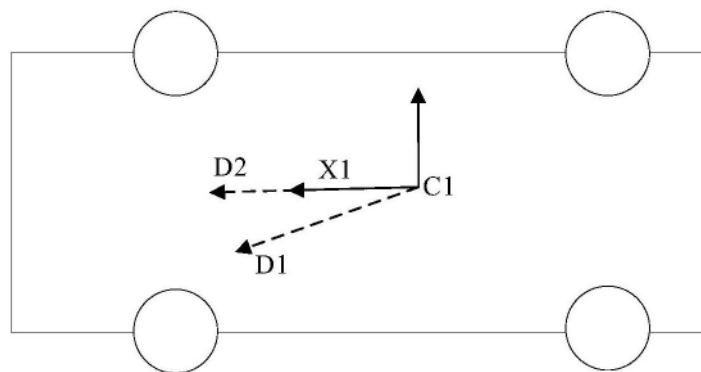


图6

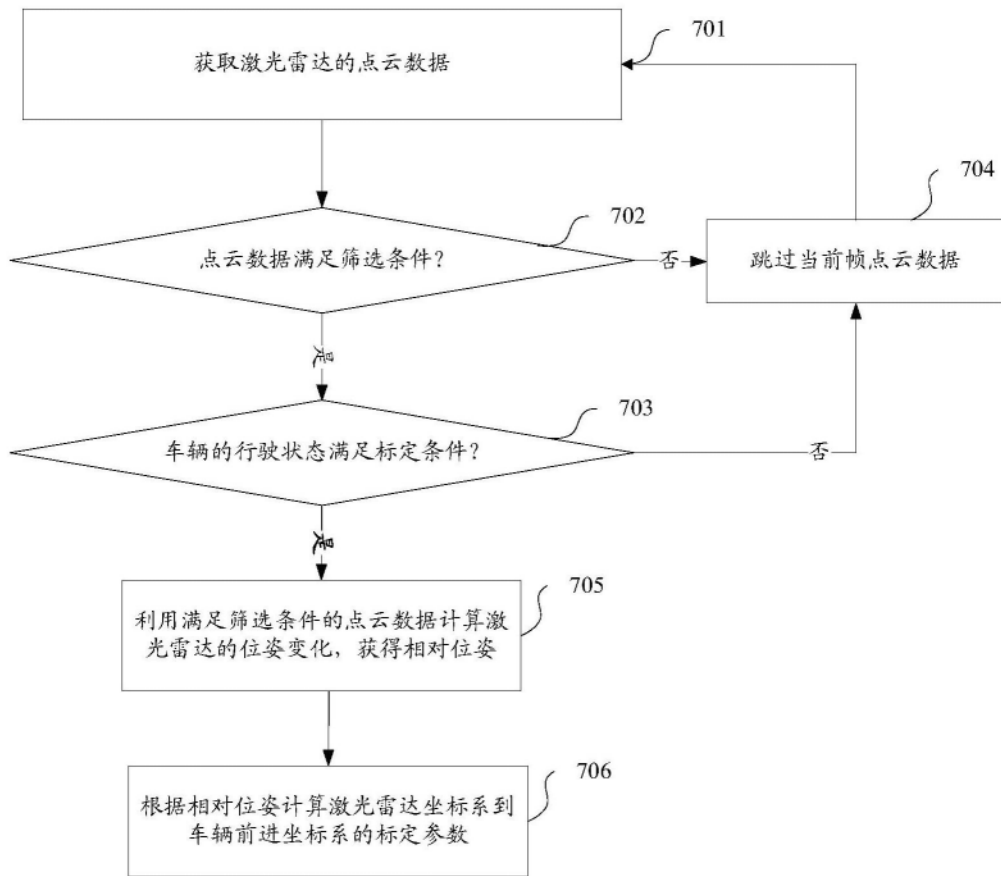


图7

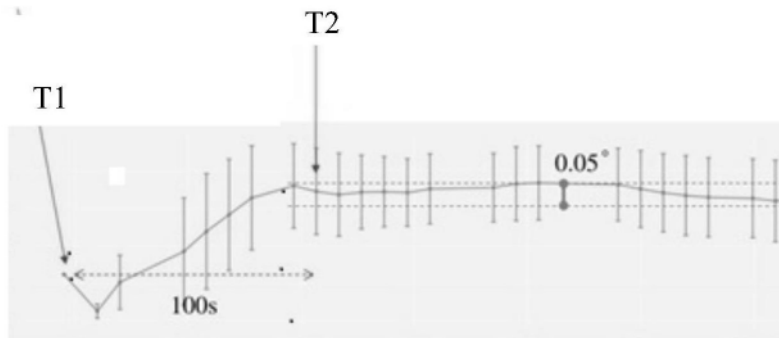


图8

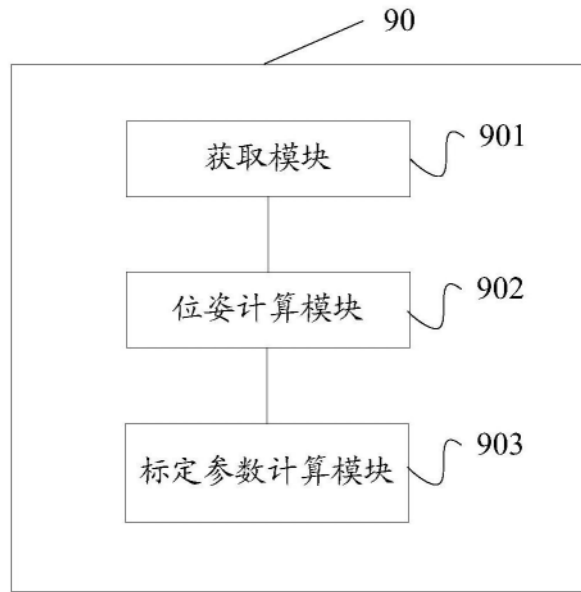


图9