(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 116264831 A
(43)申请公布日 2023.06.16

(21)申请号 202180064129.7
(22)申请日 2021.12.07
(30)优先权数据
17/138,710 2020.12.30 US
17/138,751 2020.12.30 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.03.20
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2021/062125 2021.12.07
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/146623 EN 2022.07.07
(71)申请人 祖克斯有限公司
地址 美国加利福尼亚州
(72)发明人 陈圆圆 S-达斯 M•J•麦克莱兰 T•D•奥尼尔 王曾 D•N•库拉拉特纳
(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司 72002
专利代理师 刘文灿
(51)Int.Cl.
B60W 40/06(2012.01)

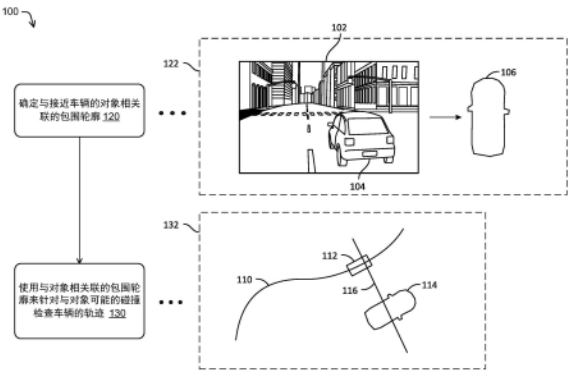
权利要求书2页 说明书21页 附图14页

(54)发明名称

使用对象轮廓避免碰撞

(57)摘要

讨论了用于使用对象轮廓避免碰撞的技术。可以接收到与车辆相关联的轨迹。可以从与车辆相关联的传感器接收到传感器数据。可以确定包围轮廓并将其与传感器数据中表示的对象相关联。基于轨迹,能够确定车辆的模拟位置。另外,能够确定包围轮廓的预测位置。基于车辆的模拟位置和包围轮廓的预测位置,可以确定车辆与对象之间的距离。能够基于车辆和对象之间的距离执行动作。



CN 116264831 A

1.一种方法,包括:

接收与车辆相关联的轨迹;

从与所述车辆相关联的传感器接收传感器数据;

确定与在所述传感器数据中表示的对象相关联的包围轮廓;

基于所述轨迹确定所述车辆的模拟位置;

确定与所述对象相关联的所述包围轮廓的预测位置;

基于所述车辆的模拟位置和所述包围轮廓的预测位置,确定所述车辆和所述对象之间的距离;以及

基于所述车辆和所述对象之间的所述距离执行动作。

2.根据权利要求1所述的方法,其中,所述包围轮廓是多边形,所述多边形表示通过连接所述传感器数据的至少两个点而确定的与所述对象相关联的凸包。

3.根据权利要求1或2所述的方法,其中,所述动作包括使所述轨迹有效或使所述轨迹无效。

4.根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,确定所述车辆和所述对象之间的所述距离至少部分地基于光线投射。

5.根据权利要求1-4中任一项所述的方法,还包括确定所述包围轮廓的预测朝向。

6.根据权利要求5所述的方法,其中,所述预测朝向至少部分地基于与所述对象相关联的预测轨迹。

7.根据权利要求1-6中任一项所述的方法,其中,所述传感器是激光雷达传感器并且所述传感器数据包括激光雷达数据。

8.根据权利要求1-7中任一项所述的方法,还包括将所述包围轮廓表示为多个连接的点的表示。

9.根据权利要求1-8中任一项所述的方法,其中,所述距离是第一距离,所述方法还包括基于轴对齐包围盒来确定第二距离。

10.根据权利要求1-9中任一项所述的方法,还包括:

将所述距离与阈值进行比较,其中,所述阈值基于以下各项中的至少一项:所述车辆的速度或与所述对象相关联的对象类型。

11.根据权利要求1-10中任一项所述的方法,还包括:

至少部分地基于所述车辆的朝向,确定与所述包围轮廓相关联的轴对齐包围盒。

12.根据权利要求1-11中任一项所述的方法,其中,与所述对象相关联的所述包围轮廓包括至少五个边界边缘。

13.一种或多种存储指令的非暂时性计算机可读介质,所述指令在由一个或多个处理器执行时,使一个或多个计算设备执行根据权利要求1-12中任一项所述的方法。

14.一种系统,包括:

一个或多个处理器;以及

存储指令的一个或多个非暂时性计算机可读介质,所述指令在被执行时,使所述一个或多个处理器执行操作,所述操作包括:

接收与车辆相关联的轨迹;

从与所述车辆相关联的传感器接收传感器数据;

确定与在所述传感器数据中表示的对象相关联的包围轮廓；

基于所述轨迹确定所述车辆的模拟位置；

确定与所述对象相关联的所述包围轮廓的预测位置；

基于所述车辆的模拟位置和所述包围轮廓的预测位置，确定所述车辆和所述对象之间的距离；以及

基于所述车辆和所述对象之间的所述距离执行动作。

15.根据权利要求14所述的系统，其中，所述操作还包括：

确定与所述包围轮廓相关联的轴对齐包围盒；以及

基于所述轴对齐包围盒，确定所述车辆和所述对象之间的第二距离。

使用对象轮廓避免碰撞

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本专利申请要求于2020年12月30日提交的美国发明专利申请17/138,710号和于2020年12月30日提交的美国发明专利申请17/138,751号的优先权。申请序列号17/138,710和17/138,751通过引用全部并入本文。

背景技术

[0003] 车辆经常在导航通过环境时遇到对象。这些对象可以包括其他车辆、行人、动物和类似物。当试图安全地导航经过特定对象时,车辆可以确定对象的位置、大小和形状。在一些情况下,车辆可以基于包围盒(bounding box)来确定对象的大小和形状。然而,包围盒可能无法提供对象的准确表示。这种故障可以危及经过对象的车辆的安全导航。

附图说明

[0004] 参考附图来描述具体实施方式。在附图中,附图标记的最左边的数字标识该附图标记首次在其中出现的附图。在不同附图中使用相同的附图标记指示相似或同样的组件或特征。

[0005] 图1是根据本公开的示例的确定与对象相关联的包围轮廓并使用该包围轮廓来针对与对象的可能碰撞检查车辆的轨迹的示例实施方式的图示。

[0006] 图2是根据本公开的示例的用于基于与对象相关联的传感器数据来确定与对象相关联的包围轮廓的示例过程的图示。

[0007] 图3是根据本公开的示例的用于使用包围盒和包围轮廓来针对与对象的可能碰撞进行检查的示例过程的图示。

[0008] 图4A和4B示出了根据本公开的示例的与对象相关联的示例激光雷达点云和定义激光雷达点云的包围形状。

[0009] 图5是根据本公开的示例的用于生成与激光雷达点云相关联的凸包(convex hull)并基于该凸包创建包围轮廓的示例过程的图示。

[0010] 图6是根据本公开的示例的用于用两个较短的区段替换凸包的边界边缘的示例过程的图示。

[0011] 图7是根据本公开的示例的用于用两个较短的区段替换凸包的边界边缘的另一示例过程的图示。

[0012] 图8A和8B示出了根据本公开的示例的具有在边界边缘上的激光雷达点的示例凸包和定位为远离大多数激光雷达点的示例杂散点。

[0013] 图9是根据本公开的示例的用于基于对象的包围轮廓确定车辆与对象之间的距离的示例过程的图示。

[0014] 图10A和10B示出了根据本公开的示例的当确定车辆与包围轮廓之间的距离时的示例车辆轨迹和对象的包围轮廓。

[0015] 图11A-11C示出了根据本公开的示例的示例包围盒、包围轮廓和轴对齐包围盒。

[0016] 图12是用于实施本文描述的技术的示例系统的图示。

具体实施方式

[0017] 本公开涉及用于确定与对象相关联的包围轮廓并且使用那些包围轮廓用于诸如避免碰撞的动作的技术。在一些示例中，激光雷达传感器可以接收与对象相关联的激光雷达数据。激光雷达数据可以被投影到二维平面中，并且凸包能够基于投影的激光雷达数据被识别。与凸包相关联的边界边缘能够被移除以确定表示对象的紧密拟合周边(tight-fitting perimeter)的包围轮廓。包围轮廓能够用于例如车辆的规划组件中以确定车辆是否可能与通过包围轮廓表示的对象发生碰撞。

[0018] 在一些示例中，当替换凸包的最长边界边缘时，最长边界边缘可以具有第一端点和第二端点。凸包内的内点可以被识别。在一些示例中，最长边界边缘可以用以下替换：1)基于第一端点和内点的第一区段，以及2)基于内点和第二端点的第二区段。可以基于第一区段和第二区段来确定更新的凸包。连续地替换最长边界边缘的过程能够生成包围轮廓，其接近地表示关联对象的周边。

[0019] 在一些示例中，传感器数据可以包括激光雷达数据，其可以包括多个激光雷达点。关于将激光雷达数据投影到二维表示，所有激光雷达点中的一些可以被重新定位到预定义网格上的最近位置。如果任何两个或更多个激光雷达点共享同一网格位置，那么可以删除一些或所有重复的激光雷达点，使得针对每个网格位置保留一个激光雷达点。在一些示例中，预定义网格位置可以具有一厘米的间距，虽然本文设想了其他尺寸。

[0020] 在一些示例中，系统可以基于与对象相关联的包围轮廓来确定车辆是否可能与对象碰撞。如果检测到可能的碰撞，那么系统可以确定车辆动作以避免与对象碰撞并启动该动作以试图避免碰撞。在其他示例中，可以基于与对象相关联的包围轮廓来确定动作。例如，动作可以包括控制车辆、确定静态对象、确定动态对象或更新地图数据中的至少一个。

[0021] 在一些示例中，与在激光雷达点云数据中识别到的对象相关联的包围盒可以被识别到。包围盒的大小被扩展以包括更大量的激光雷达点云数据。扩展的包围盒内的激光雷达点可以被捕获，以提供更多与对象相关联的激光雷达数据。与扩展的包围盒中的所有激光雷达点相关联的包围形状可以被创建以更好地表示对象的轮廓。

[0022] 在一些示例中，系统可以接收与车辆相关联的轨迹并且从与车辆相关联的传感器接收传感器数据。可以确定包围轮廓，其中包围轮廓与传感器数据中表示的对象相关联。基于与车辆相关联的轨迹，系统可以确定车辆的模拟位置。另外，可以确定包围轮廓的预测位置。基于车辆的模拟位置和包围轮廓的预测位置，可以确定车辆与对象之间的距离。能够基于车辆和对象之间的距离执行动作。

[0023] 在一些示例中，本文讨论的包围轮廓可以是接近地识别对象的周边的多边形。基于车辆和对象之间的距离要执行的动作可以包括使轨迹有效或使轨迹无效。在一些示例中，可以使用光线投射来确定车辆和对象之间的距离。例如，光线追迹(ray trace)可以从车辆的侧面(或从与轨迹相关联的点)朝向包围轮廓延伸(例如，垂直地)。可以基于光线穿过的包围轮廓边缘的数量来检测碰撞。例如，如果光线穿过偶数个包围轮廓边缘，那么不存在碰撞。但是，如果光线穿过奇数个包围轮廓边缘，那么车辆与对象之间将发生碰撞。

[0024] 在一些示例中，轴对齐包围盒可以用于快速地针对潜在的碰撞进行检查，例如车

辆和对象之间的碰撞。例如，轴对齐包围盒可以与包围轮廓相关联。车辆和对象之间的第二距离可以基于轴对齐包围盒来确定。在一些示例中，轴对齐包围盒与车辆的纵向轴线对齐。

[0025] 本文讨论的技术能够以多种方式改进车辆的计算设备的功能。所描述的技术提供了对象的形状的改进表示。如本文所述，包围轮廓提供了接近地遵循对象的周边的多边形。包围轮廓不限于类似包围盒的四个边。因此，包围轮廓能够适应所有对象的形状，以提供对象的准确表示。紧密拟合的包围轮廓支持更准确地确定潜在碰撞、车辆与对象之间的距离、以及其他与对象相关的动作。

[0026] 本文所讨论的技术还可以通过更快地并且使用更少的计算资源确定包围轮廓而提供车辆的计算设备的改进的功能。与诸如Delaunay三角剖分的现有技术相比，所描述的系统和方法可以简化包围轮廓的创建而不需要创建覆盖点集中的每个点的多个三角形。需要在点集中创建多个三角形的Delaunay三角剖分过程可能非常耗时，并且需要大量计算资源。本文描述的系统和方法可以通过消除计算点集中的三角形的需要来简化过程。

[0027] 本文描述的技术能够以多种方式实现。参考下列附图在下文提供示例实施方式。虽然在自主车辆的上下文中讨论，但是本文描述的方法、装置和系统能够应用于各种系统并且不限于自主车辆。在另一示例中，这些技术能够用于任何类型的车辆、机器人系统或任何使用传感器数据的系统。另外，本文描述的技术能够与真实数据(例如，使用传感器捕获的)、模拟数据(例如，通过模拟器生成的)、或两者的任何组合一起使用。

[0028] 图1描绘了根据本公开的示例的与环境122和环境132相关的示例过程100的图示流程图，示例过程100用于确定与对象相关联的包围轮廓并且使用包围轮廓来针对与对象可能的碰撞检查车辆的轨迹。在一些示例中，确定与对象相关联的包围轮廓可以由车辆中的车辆计算设备执行，如本文所讨论的。另外，一些示例可以使用车辆计算设备基于包围轮廓来针对与对象可能的碰撞检查车辆的轨迹。

[0029] 如图1所示，过程100包括操作120，其确定与接近车辆的对象相关联的包围轮廓。过程100还包括操作130，其使用与对象相关联的包围轮廓来针对与对象可能的碰撞检查车辆的轨迹。

[0030] 如环境122中所示，示例图像102描绘了对象104可能正在其中操作的场景。在示例图像102中，对象104被示出为车辆。在其他示例中，对象104可以是任何类型的静态对象或动态对象。例如，静态对象可以包括树木、建筑物、标志、交通信号和类似物。示例动态对象可以包括车辆、行人、动物和类似物。在一些示例中，对象104可以在特定时间移动(例如，移动的车辆)并且可以在其他时间停止(例如，停放的车辆或停在红绿灯处的车辆)。

[0031] 图1还示出了与图像102中的对象104相关联的示例包围轮廓106。可以例如使用本文讨论的系统和方法来创建包围轮廓106。包围轮廓106可以与对象104的外周边相关联。如本文所讨论的，包围轮廓106可以用于避免与对象104的碰撞并保持与对象的安全距离。在一些示例中，包围轮廓106能够与包围盒(例如，与对象104相关联的矩形盒)组合使用，这两者都可以提供与对象104相关联的信息。

[0032] 在一些示例中，与包围盒相比包围轮廓106可以提供对象的精确形状的更好表示。在具体示例中，包围盒可以是具有四个边的矩形。这种基本的矩形形状可能无法准确地表示对象，因为包围盒可以被扩展到包括对象的所有部分。例如，在具有大后视镜的车辆的上下文中，被扩展以适应后视镜的包围盒可以比实际车辆大得多。类似地，如果包围盒的大小

被调整为适应带有大后视镜的车身，那么包围盒可能不包括后视镜。相反，包围轮廓106可以是被创建为接近地遵循对象的外边缘的多边形，无论对象的形状或不规则性。与矩形包围盒相比这种紧密拟合的多边形可以提供对象的形状的更准确的表示。在一个或多个示例中，表示包围轮廓106的多边形可以具有五个或更多个外边缘，其在本文中也被称为“边界边缘”。

[0033] 在一些示例中，包围轮廓106可以在针对与对象104的可能碰撞检查车辆的轨迹时被使用。如环境132中所示，轨迹110可以定义车辆112通过环境132的规划行驶路径。在图1中，相对于轨迹110和车辆112显示出与对象相关联的包围轮廓114。包围轮廓114可以与任何对象类型相关联，例如另一车辆、行人、动物、建筑物、街道标志、树和类似物。如本文所讨论的，所描述的系统和方法可以使用由光线116指示的光线投射来确定车辆112和包围轮廓114之间的距离。基于车辆112和包围轮廓114之间的距离，车辆112可以采取一个或多个动作以避免和与包围轮廓114相关联的对象碰撞。例如，车辆112可以根据与对象的距离以及与对象的类型相关联的潜在风险来采取诸如转向、制动、鸣喇叭、警告车辆乘员等动作。

[0034] 如本文所讨论的，一些示例可以确定与对象相关联的包围轮廓，针对与对象的可能碰撞检查车辆的轨迹，以及使用车辆中的车辆计算设备执行其他活动。本文描述了关于车辆的附加细节。

[0035] 图2是根据本公开的示例的用于基于与对象相关联的传感器数据来确定与对象相关联的包围轮廓的示例过程200的图示。本文描述的关于过程200的操作可以由一个或多个车辆计算设备执行，如本文所讨论的。

[0036] 作为示例，过程200被示出为逻辑流程图，其每个操作表示一系列能够在硬件、软件或其组合中实施的操作。在软件的上下文中，操作可以表示存储在一个或多个计算机可读存储介质上的计算机可执行指令，其当由一个或多个处理器执行时，执行所记载的操作。通常，计算机可执行指令可以包括执行具体功能或实现具体抽象数据类型的例程、程序、对象、组件、数据结构等。描述操作的顺序并不旨在被解释为限制，并且任何数量的所描述的操作可以按任何顺序和/或并行地组合(或忽略)以实现过程200。在一些示例中，多个分支表示可以单独地使用或与本文讨论的其他操作组合使用的替代实现方式。

[0037] 在操作202，过程可以包括接收包括对象的图像数据。在一些示例中，图像数据可以由与车辆相关联的图像传感器(例如，相机)捕获。在操作204，过程可以包括基于图像数据确定与对象相关联的包围盒。在一些示例中，能够基于图像数据来确定三维包围盒。于2017年11月16日提交的标题为“Pose Determination from Contact Points”的美国专利申请15/814,870号和于2019年5月9日提交的标题为“Image-Based Depth Data and Bounding Boxes”的美国专利申请16/408,414号中讨论了用于确定三维包围盒的示例技术，出于所有目的，两者的全部内容通过引用并入本文。然而，包围盒能够基于其他诸如激光雷达数据、飞行数据时间等的传感器数据被确定。在一些示例中，过程200可以省略操作202和204。

[0038] 在一些示例中，包围盒可以基于可以通过激光雷达传感器捕获的激光雷达数据来确定，如本文所讨论的。在该示例中，操作202和204能够用基于与对象相关联的激光雷达数据来确定包围盒的操作替换。

[0039] 在操作206，过程可以接收与对象相关联的激光雷达数据。可以从与车辆、结构或

任何其他项目相关联的激光雷达传感器接收到激光雷达数据。在一些示例中，激光雷达数据包括点云，点云包括通过激光雷达传感器识别到的多个激光雷达点。在操作208，过程可以确定与对象相关联的点云。与对象相关联的点云可以表示与对象具体地相关联的整个点云的子区域(例如，感兴趣的区域)。在一些示例中，可以基于识别对象的实例分割来确定激光雷达点的子集。

[0040] 在操作210，与对象相关联的点云可以被投影到二维平面上，例如基本水平的平面。在操作212，过程可以基于被投影到二维平面上的点云来确定与对象相关联的包围轮廓。在一些示例中，包围轮廓可被提供给车辆规划组件(例如，图12中示出的规划组件1232)以用于将包围轮廓与规划的车辆轨迹进行比较，如本文所讨论的。

[0041] 在一个或多个示例中，包围轮廓可以被扩展到三维表示。例如，二维包围轮廓可以被定义在x-y平面中。通过沿着垂直于x-y平面的x轴延伸包围轮廓，二维包围轮廓可以被扩展为三维表示。在一些示例中，可以使用卷积神经网络(CNN)将二维包围轮廓扩展为三维表示。

[0042] 在操作214，过程可以确定对象是否是动态对象，例如移动的车辆、行人、动物和类似物。如果对象不是动态对象，那么过程可以继续到操作218以选择另一对象。在其中对象是静态的(例如，不是动态的)该情况下，包围轮廓可以不按规律的间隔改变，因此在操作212确定的包围轮廓可以不需要更新。

[0043] 如果对象是动态的，那么过程可以从操作214继续到操作216，其中过程可以接收与对象相关联的更新的激光雷达数据。在一些示例中，如果对象是动态的，那么其包围轮廓可以随着对象运动而改变。在这种情况下，更新激光雷达数据以确定更新的包围轮廓可以是有利的。例如，随着铰接式公共汽车在环境中的角落导航，铰接式公共汽车的形状可以随时间改变。在一些示例中，能够基于与对象相关联的预测轨迹来预测凸包的形状。在操作216接收到更新的激光雷达数据(或关于对象的预测)之后，过程可以返回到操作206以确定与对象相关联的更新的激光雷达数据。

[0044] 图3是根据本公开的示例的用于使用包围盒和包围轮廓以针对与对象的可能碰撞进行检查的示例过程300的图示。本文描述的关于过程300的操作可以通过一个或多个车辆计算设备执行，如本文所讨论的。

[0045] 作为示例，过程300被示出为逻辑流程图，其每个操作表示一系列能够在硬件、软件或其组合中实施的操作。在软件的上下文中，操作可以表示存储在一个或多个计算机可读存储介质上的计算机可执行指令，其当由一个或多个处理器执行时，执行所记载的操作。通常，计算机可执行指令可以包括执行特定功能或实现具体抽象数据类型的例程、程序、对象、组件、数据结构等。描述操作的顺序并不旨在被解释为限制，并且任何数量的所描述的操作可以按任何顺序和/或并行地组合(或省略)以实现过程300。在一些示例中，多个分支表示可以单独地使用或与本文讨论的其他操作组合使用的替代实施方式。

[0046] 在操作302，过程可以包括确定与对象相关联的包围盒。在一些示例中，包围盒可以基于对象的图像、与对象相关联的激光雷达数据等来确定。在一些示例中，在操作302中确定的包围盒可以是基于在操作304中确定的包围轮廓的轴对齐包围盒。轴对齐包围盒的附加示例在图11A-11C中以及贯穿本公开全文讨论。

[0047] 在操作304，过程可以确定与对象相关联的包围轮廓。例如，本文讨论的系统和方

法可以用于确定与对象相关联的包围轮廓。确定包围轮廓的附加示例在图6、7、8A和8B以及贯穿本公开全文中讨论。

[0048] 在操作306,过程可以基于包围盒确定是否存在与对象碰撞的可能性。在一些示例中,操作306可以确定对象与执行过程300的车辆之间发生碰撞的可能性。如果操作306基于包围盒确定不存在碰撞的可能性(或者可能性低于阈值),那么过程结束于操作314,其指示“不可能发生碰撞(no collision likely)”状态。在一些示例中,“不可能发生碰撞”状态可以被传送到该车辆中的一个或多个系统、其他车辆、其他系统、对象和类似物。

[0049] 如果操作306基于包围盒确定存在碰撞的可能性(例如,可能性高于阈值),那么过程继续到操作308。在操作308,过程可以基于包围轮廓确定是否存在与对象碰撞的可能性。在一些示例中,操作308可以确定对象与执行过程300的车辆之间的碰撞的可能性。如果操作308基于包围轮廓确定不存在碰撞的可能性(或者可能性低于阈值),那么过程结束于操作314,其指示“不可能发生碰撞”状态。

[0050] 如果操作308基于包围轮廓确定存在碰撞的可能性(例如,可能性高于阈值),那么过程继续到操作310。

[0051] 在一些示例中,在操作302和306中讨论的包围盒可以具有盒/立方体形状或其他相对简单的几何形状。如果检测到潜在碰撞(在操作306),那么可以使用对象的更准确的表示(例如,包围轮廓)来验证或反驳在操作306检测到的潜在碰撞。这种方法通过首先针对与包围盒的碰撞进行检查(其是简单的计算),可以减少计算资源的使用。可以不执行与包围轮廓相关联的更复杂的计算,除非检测到与包围盒的碰撞,或者如果预测包围盒在轨迹(和/或车辆沿轨迹的模拟位置)的阈值距离内。

[0052] 在操作310,过程可以确定车辆动作以避免与对象碰撞。例如,车辆动作可以包括转向、制动、鸣喇叭、警告车辆乘员等。如本文所讨论的,在操作310确定的车辆动作可以根据距对象的距离和与对象类型相关联的潜在风险而变化。在操作312,启动在操作310确定的车辆动作以避免与对象碰撞。

[0053] 图4A和4B示出了根据本公开的示例的与对象相关联的示例激光雷达点云402和定义激光雷达点云的包围形状410。在一些示例中,图4A中示出的激光雷达点云402可以由与车辆相关联的激光雷达传感器捕获。如本文所讨论的,激光雷达点云402可以用于创建与对象相关联的包围轮廓。图4A示出了可以与激光雷达点云402中的一些或所有点相关联的包围盒404。在一些示例中,包围盒404可以表示车辆的大体形状但是可以不包括车辆的延伸超出大体形状的部分(例如,从车身向外延伸的镜子和其他项目)。

[0054] 图4B示出了可以基于图4A示出的激光雷达点云402生成的包围形状410。如图4B所示,包围形状410的部分延伸到图4A中示出的包围盒404之外。因此,与包围盒404相比,与激光雷达点云相关联的包围形状410可以是车辆的实际形状的更好的表示。当确定车辆是否将与对象碰撞时,对象的准确形状对于识别碰撞的可能性可能很重要。本文描述的系统和方法讨论了定义对象的周边的包围轮廓的创建。在一些示例中,每个包围轮廓可以是接近地识别对象的周边的多边形。

[0055] 在一些示例中,可以扩大包围盒404的大小以改进捕获所有与对象相关联的激光雷达点的可能性。如图4A所示,部分激光雷达点云402延伸到包围盒404之外。通过扩大包围盒404的大小,可以在包围形状410中捕获位于包围盒404之外的一些或所有激光雷达点。因

此，与对象相关联的包围形状410可以通过包括位于包围盒404外的激光雷达点来提供更好的对象表示，而不是将对象信息限制于包围盒404内包含的激光雷达点。

[0056] 在一些示例中，包围盒能够被扩大阈值量，这可以基于对象的大小、对象类型等。在一些示例中，包围盒404的尺寸可以扩大0.4米。在一些实施方式中，该扩大允许包围形状410包括对象的突出超出包围盒404的部分，例如车辆后视镜、行人手臂等。在其他示例中，包围盒404可以基于遇到的对象的类型、安全要求、期望的安全裕度等在尺寸上扩大任何量。在一个或多个示例中，包围盒404在所有四个边上扩大以捕获位于包围盒404的任何边之外的激光雷达点。

[0057] 图5是根据本公开的示例的用于生成与激光雷达点云相关联的凸包并基于该凸包创建包围轮廓的示例过程500的图示。本文描述的关于过程500的操作可以通过一个或多个车辆计算设备执行，如本文所讨论的。

[0058] 作为示例，过程500被示出为逻辑流程图，其每个操作表示一系列能够在硬件、软件或其组合中实现的操作。在软件的上下文中，操作可以表示存储在一个或多个计算机可读存储介质上的计算机可执行指令，其当由一个或多个处理器执行时，执行所记载的操作。通常，计算机可执行指令可以包括执行特定功能或实现具体抽象数据类型的例程、程序、对象、组件、数据结构等。描述操作的顺序并不旨在被解释为限制，并且任何数量的所描述的操作可以按任何顺序和/或并行地组合(或省略)以实现过程500。在一些示例中，多个分支表示可以单独地使用或与本文讨论的其他操作组合使用的替代实现方式。

[0059] 在操作502，过程可以包括接收与车辆附近的环境相关联的激光雷达数据。在一些示例中，激光雷达数据可以包括一个或多个对于车辆导航或防撞系统可能重要的对象。

[0060] 在操作504，过程可以确定与在激光雷达数据中识别到的对象相关联的点云。例如，对象可以在车辆的规划路径中或靠近车辆的规划路径。在一些示例中，与对象相关联的点云可以是在操作502接收到的激光雷达数据的一部分。

[0061] 在操作506，过程可以将与对象相关联的点云投影到二维平面上。在操作508，过程可以生成与点云相关联的凸包。在一些示例中，凸包可以包括多个与点云相关联的边界边缘。在一个或多个示例中，可以使用用于计算有限点集的凸包的已知算法来生成凸包。在一些示例中，凸包可以具有五个或更多个边界边缘。

[0062] 在一些示例中，与点云或其他点分组相关联的点可以被重新定位到预定义网格上的最近位置。例如，预定义网格可以具有一致的间距，例如网格点之间一厘米。点云中的这样的每个点都能够被重新定位到最近的网格点。在一些示例中，两个或更多个点可以位于同一个网格点。在这种情况下，同一个网格点处的所有重复点都可以被移除，由此在网格点处留下一个点。

[0063] 在一些示例中，将点云中的点与预定义网格对齐可以简化创建与点云相关联的包围轮廓，因为网格中表示的点可以更少。这种简化可以减少从点云生成包围轮廓所需的时间和计算资源。

[0064] 在操作510，过程可以确定与凸包相关联的最长边界边缘。最长边界边缘可以具有第一端点和第二端点。

[0065] 在操作512，过程可以用两个较短的边界边缘替换最长边界边缘。在一些示例中，第一较短边界边缘可以包括第一端点并且第二较短边界边缘可以包括第二端点。在一些实

施方式中，替换最长边界边缘可以包括确定凸包内部的内点(例如，内部激光雷达点)。第一较短边界边缘可以基于第一端点和内点。第二较短边界边缘可以基于内点和第二端点。在一些示例中，操作512能够至少部分地基于由两个较短的边界边缘形成的角度。结合图6和7以及贯穿本公开全文提供操作512的附加示例。

[0066] 在操作514，过程可以确定第二长的边界边缘是否太短而不能移除。在一些示例中，如果第二长的边界边缘的长度小于在操作512替换的第一边界边缘的长度的一半，那么第二长的边界边缘可能太短而不能移除。在替代示例中，可以使用其他参数来确定第二长的边界边缘何时太短而无法移除。例如，其他参数可以包括满足或超过第一阈值的凸包的边界边缘的数量，小于第二阈值的最长剩余边界边缘的长度，或者与更新的凸包相关联的小于第三阈值的内点的数量。

[0067] 如果第二长的边界边缘不是太短而不能移除，那么过程返回到操作512以替换第二长的边界边缘。

[0068] 如果第二长的边界边缘太短而不能移除，那么过程继续到操作516，其中过程可以创建与对象相关联的包围轮廓。在一些示例中，包围轮廓基于与点云相关联的凸包的边界边缘。在一些示例中，与对象相关联的包围轮廓能够被用于确定车辆与对象之间的碰撞的可能性。

[0069] 在一些示例中，每个点是一个或多个三角形的向量。在创建覆盖点集中的所有点的多个三角形之后，可以移除各种边缘以定义与点集相关联的外边界。然而，这种技术可能很耗时，因为它需要生成和处理覆盖点集中的每个点的三角形以试图定义外边界。本文讨论的系统和方法可以提供更快的技术，其使用更少的计算资源来生成包围轮廓。

[0070] 图6是根据本公开的示例的用于用两个较短的区段替换凸包的边界边缘的示例过程600的图示。如图6所示，多边形620可以包括任何数量的边界边缘和任何数量的被包括在边界边缘内的点(例如，激光雷达点)。在图6的示例中，多边形620包括多个点。这些点中的一些被标记为602-1、602-2、602-3和602-4。在一些示例中，点602可以位于多边形内(例如，点602-1、602-3和602-4)或在多边形的边界上(例如，点602-2)。多边形620的示例边界边缘604在图6中示出。

[0071] 在一些实施例中，所有与多边形相关联的点都可以在多边形的边界上或多边形内。如本文所讨论的，多边形的一个或多个边界边缘可以被替换以创建更紧密的包围轮廓。在一个或多个示例中，所得的多边形(在替换边界边缘之后)可以保持简单的多边形形状。例如，所得的多边形可以没有任何环、孔或自相交边缘。本文描述的示例示出以保持简单多边形形状的方式去除边界边缘。

[0072] 如图6所示，多边形630类似于上文讨论的多边形320。基于多边形630，本文描述的系统和方法选择用两条较短的边界边缘替换的最长边界边缘。在一个示例中，最长边界边缘可以是具有第一端点602-5和第二端点602-6的边界边缘606。端点602-5和602-6是与多边形630的边界相关联的点。

[0073] 在一些示例中，多对较短的边界边缘可以被识别为替换最长边界边缘606的可能候选者。如多边形630中所示，第一对较短的边界边缘被示出为边界边缘608和610。例如，第一较短边界边缘608从点602-5(最长边界边缘606的端点之一)延伸到点602-3(在多边形620中示出)。在此示例中，点602-3是多边形内的内点。如多边形630所示，第二较短边界边

缘610从点602-6(最长边界边缘606的另一端点)延伸到点602-3(在多边形620中示出)。因此,第一对较短的边界边缘608、610通过与点602-3连接来替换最长边界边缘606。

[0074] 在图6的示例中,第二对较短的边界边缘被示出为边界边缘612和614。例如,第一较短边界边缘612从点602-5(最长边界边缘606的端点之一)延伸到点602-4(在多边形620中示出)。在此示例中,点602-4是多边形内的内点。如多边形630中所示,第二较短边界边缘614从点602-6(最长边界边缘606的另一端点)延伸到点602-4(在多边形620中示出)。在这种情况下,第二对较短的边界边缘612、614通过与点602-4连接来替换最长边界边缘606。

[0075] 因此,替换最长边界边缘606的两个候选者是第一对608、610和第二对612、614。在一些示例中,为了选择特定候选者,所描述的系统和方法可以识别与每对相关联的两个较短边界边缘之间的角度。在一个或多个示例中,所选择的一对较短边界边缘是在两个较短边界边缘之间具有最大角度的对。在图6的示例中,第一对较短的边界边缘608、610具有角度616。如图6所示,第二对较短的边界边缘612、614具有角度618。在此示例中,角度616大于角度618。因此,选择第一对较短的边界边缘608、610来替换最长边界边缘606。

[0076] 如图6所示,多边形640类似于上文讨论的多边形620和630。参考多边形640,最长边界边缘606已经被两条较短的边界边缘608和610所替换。如多边形640所示,基于最长边界边缘606的替换,新的多边形更小。由于较短的边界边缘608和610共享先前位于多边形内的点602-3,因此在收紧凸包的同时保持多边形的完整性。在一些示例中,较短的边界边缘608和610替换最长边界边缘606而不移除任何点。

[0077] 在一些示例中,所描述的系统和方法重复关于图6讨论的过程600以继续移除最长边界边缘。如上面关于图5所讨论的,可以重复该过程,直到第二长的边界边缘太短。

[0078] 图7是根据本公开的示例的用于用两个较短的区段替换凸包的边界边缘的另一示例过程700的图示。如图7所示,多边形710类似于关于图6讨论的多边形。多边形710示出了具有新的边界边缘608和610的多边形,如上所述。在一些示例中,边界边缘610被确定为要替换的第二长的边界边缘。如图7的多边形710所示,一对较短的边界边缘704和706被识别为替换当前最长边界边缘610的候选者。在此示例中,与较短的边界边缘704和706相关联的角度和与其他较短的边界边缘候选者相关联的角度是相同的。在一些示例中,当两个角度相同时,所描述的系统和方法可以随机地选择候选者之一。在图7的示例中,当前最长边界边缘610被新的较短边界边缘706和708替换,如多边形720所示。在示例多边形720中,新的较短边界边缘706具有端点702-3和702-4,并且新的较短边界边缘708具有端点702-4和602-6。

[0079] 图8A和8B示出了根据本公开的示例的具有在边界边缘上的激光雷达点和定位为远离大多数激光雷达点的示例杂散点的示例凸包。在图8A的示例中,凸包被示出为在凸包的边界上具有多个激光雷达点。例如,点802-1、802-2和802-3位于凸包边界上。如图8A所示,提出的新边界边缘804从点802-1延伸到802-3。在一些示例中,该提出的新边界边缘804是不被允许的,因为新边缘804将把点802-2从边界消除。在这种情况下,点802-2将在凸包之外。在一个或多个示例中,这种类型的边界边缘替换是不允许的,因为所有点可能都需要在凸包内或与凸包的边界相关联。

[0080] 在图8B的示例中,示例杂散点810被定位为远离大多数激光雷达点。在一些示例中,点810被保持为凸包多边形的一部分。在一个或多个示例中,点810没有被从多边形移

除，并且将导致点810位于多边形之外的边缘没有被替换(如关于图8A所讨论的)。

[0081] 在一些示例中，以串行方式替换边界边缘以确保在每次边界边缘替换之后保持简单的多边形。在具体示例中，本文描述的系统和方法可以与表示静态对象或动态对象的凸包一起使用。

[0082] 图9是根据本公开的示例的用于基于对象的包围轮廓来确定车辆与对象之间的距离的示例过程900的图示。本文描述的关于过程900的操作可以通过一个或多个车辆计算设备执行，如本文所讨论的。

[0083] 作为示例，过程900被示出为逻辑流程图，其每个操作表示一系列能够在硬件、软件或其组合中实施的操作。在软件的上下文中，操作可以表示存储在一个或多个计算机可读存储介质上的计算机可执行指令，其当由一个或多个处理器执行时，执行所记载的操作。通常，计算机可执行指令可以包括执行特定功能或实现特定抽象数据类型的例程、程序、对象、组件、数据结构等。描述操作的顺序并不旨在被解释为限制，并且任何数量的所描述的操作能够按任何顺序和/或并行地组合(或省略)以实现过程900。在一些示例中，多个分支表示可以单独地使用或与本文讨论的其他操作组合使用的替代实施方式。

[0084] 在操作902，过程可以包括接收与车辆相关联的轨迹。轨迹可以是车辆朝向目的地所遵循的规划路径。在操作904，过程可以从与车辆相关联的传感器接收传感器数据。在一些示例中，传感器可以是激光雷达传感器并且传感器数据可以是激光雷达数据，其可以包括激光雷达点云。

[0085] 在操作906，过程可以确定与在传感器数据中表示的对象相关联的包围轮廓。在一些示例中，可以基于与对象相关联的激光雷达点云来确定包围轮廓。

[0086] 在操作908，过程可以基于与车辆相关联的轨迹来确定车辆的模拟位置。在一些示例中，可以在沿着轨迹的不同点处模拟车辆的位置以确定在那些不同点处与障碍物碰撞的可能性。通过识别未来时间沿轨迹的潜在碰撞，车辆可以有额外的时间来采取减少或消除碰撞的可能性的一个或多个动作。在一些示例中，能够从车辆在未来时间可能占据的姿态横向地检测碰撞。例如，能够根据车辆的当前轨迹来预测车辆可能占据的多个姿态。沿着这些姿态中的每一个，能够根据所公开的技术应用横向碰撞检测技术。类似的技术能够应用于多个投影轨迹/姿态，以应对车辆沿多条路径和/或响应于不同的未来决策可能性的预测的可能的未来姿态。

[0087] 在操作910，过程可以确定包围轮廓的预测位置。在一些示例中，可以将沿着轨迹的不同点(例如，未来时间)的车辆的模拟位置与同一未来时间的包围轮廓的预测位置进行比较。在一些示例中，操作910可以包括接收与包围轮廓相关联的对象的预测轨迹，并且在一些示例中，预测位置可以基于预测轨迹。在一些示例中，操作910可以包括确定沿着预测轨迹的包围轮廓的预测朝向。

[0088] 在操作912，过程可以确定在未来时间车辆和对象之间的距离。在一些示例中，该距离可以基于车辆的模拟位置和表示对象的包围轮廓的预测位置来确定。车辆与包围轮廓之间的距离可以有助于确定车辆与对象之间的碰撞的可能性。

[0089] 在操作914，过程可以基于车辆和对象之间的距离执行动作。在一些示例中，如果车辆和对象之间的距离小于阈值，那么动作可以被触发。在一些示例中，阈值可以基于车辆和/或对象的速度、对象的分类、与环境相关联的地图数据、对象的行为等。如本文所讨论

的，动作可以包括减少或消除车辆与对象之间的碰撞的可能性的驾驶操纵。

[0090] 在操作916，过程可以确定轨迹上更新的车辆位置(在稍后时间)。在一些示例中，过程可以返回到操作908以基于稍后时间确定模拟的车辆位置并且确定在该稍后时间发生碰撞的可能性。

[0091] 图10A和10B示出了根据本公开的示例的当确定车辆与包围轮廓1004之间的距离时的示例车辆轨迹1002和对象的包围轮廓1004。在一些示例中，车辆轨迹1002识别车辆通过环境的规划导航路径。如图10A和10B所示，包围轮廓1004位于车辆轨迹1002附近。如本文所讨论的，包围轮廓1004可以与任何类型的对象相关联，例如车辆、行人、动物、建筑物、街道标志、树木等。

[0092] 图10B示出了当车辆1006位于车辆轨迹1002上的特定位置时的特定时间。在图10B的示例中，可能期望确定车辆1006和由包围轮廓1004定义的对象之间的距离。该距离对于确定当车辆1006遵循车辆轨迹1002时是否能够安全地导航经过包围轮廓1004可能是重要的。在一些实施例中，车辆1006和由包围轮廓1004定义的对象之间的距离可以通过如光线追迹1008所示的光线投射来确定。

[0093] 基于车辆1006和包围轮廓1004之间的距离，车辆1006可以采取一个或多个动作以避免和与包围轮廓1004相关联的对象的碰撞。例如，车辆1006可以根据与对象的距离和与对象类型相关联的潜在风险采取诸如转向、制动、鸣喇叭、警告车辆乘员等动作。在一些示例中，某些类型的对象(例如快速移动的车辆)与车辆1006碰撞的风险可能比诸如树木或交通标志的静止对象更高。

[0094] 在一些示例中，当车辆1006沿着车辆轨迹1002运动时，车辆1006和包围轮廓1004可以沿着车辆的轨迹传播以确定车辆1006和对象之间的未来碰撞。在一些实施方式中，包围轮廓1004可以在沿着车辆轨迹1002的多个点处被确定。车辆1006的位置可以在沿着车辆轨迹1002的那些相同点处使用如本文所讨论的光线投射被确定。这些沿着车辆轨迹1002的点可以是空间和时间上的特定点。

[0095] 在一些示例中，本文描述的系统和方法可以确定车辆1006是否能够安全地导航经过与包围轮廓1004相关联的对象。即使可能没有碰撞，在一些示例中也可以存在最小阈值距离(例如，安全裕度)以确保车辆1006安全导航经过对象。

[0096] 在一些示例中，第一边界能够用于检测车辆与外部对象之间的潜在碰撞。例如，第一边界能够与包围盒/立方体或其他相对简单的几何形状相关联。如果检测到潜在的碰撞，那么能够使用更准确的(并且可能是处理器更密集的)包围技术，例如所公开的技术。然后能够使用更准确的包围技术来验证或反驳使用包围盒(或其他形状)检测到的潜在碰撞。

[0097] 如图10B所示，光线追迹1008可以从车辆1006的侧面垂直地延伸并穿过包围轮廓1004。在一些示例中，当确定车辆1006和与包围轮廓1004相关联的对象之间是否可能发生碰撞时，本文描述的系统和方法确定光线追迹1008在包围轮廓1004中穿过的边界的数量。在特定示例中，如果光线追迹1008在其穿过包围轮廓1004时穿过偶数个边界，那么在车辆1006和对象之间没有碰撞。在图10B的示例中，光线追迹1008穿过包围轮廓1004的两个边界(例如，在光线进入包围轮廓1004时一次，并且在光线离开包围轮廓1004时一次)。由于存在偶数个边界，车辆1006不太可能与对象碰撞。这可以由图10B证实，其示出车辆1006和包围轮廓1004之间的分离。在一些示例中，如果光线追迹1008穿过奇数个边界，那么意味着光线

追迹1008起源于包围轮廓1004内。如果光线追迹1008起源于包围轮廓1004内，那么它是碰撞的指示(例如，车辆1006的至少一部分和对象在同一时间共享同一空间)。

[0098] 在图10B的示例中，光线追迹1008被示出为从车辆1006的侧面垂直地延伸。在其他示例中，光线追迹1008可以从车辆1006的任何部分在任何方向延伸。例如，光线追迹1008可以从车辆1006的前方或后方纵向地延伸，以确定车辆1006与车辆1006前方或车辆1006后方的对象之间的距离。

[0099] 图11A-11C示出了根据本公开的示例的示例包围盒、包围轮廓和轴对齐包围盒。在图11A的示例中，示出了对象的三个表示：包围盒1102、包围轮廓1104和轴对齐包围盒(AABB)1106。图11A中表示的示例对象可以是车辆。在一些示例中，包围盒1102是表示对象(即，车辆)的重要部分的矩形。如图11A所示，包围盒1102的长边可以表示车辆的侧面。然而，包围盒1102的长边可以不包括从车辆的每一侧延伸的后视镜。因此，包围盒1102可能无法准确地表示车辆或其他对象的所有部分。

[0100] 在图11A的示例中，包围轮廓1104可以提供车辆的更准确的表示。例如，包围轮廓1104识别车辆的两个后视镜，这在确定车辆与另一对象之间的碰撞的可能性时可能是要考虑的重要因素。如上所述，车辆的后视镜没有被表示在包围盒1102中，这可以增加碰撞的可能性，因为本文所述的系统和方法仅基于包围盒1102而无法知道后视镜。

[0101] 图11A还包括轴对齐包围盒(AABB)1106。AABB 1106是可以与特定轴线对齐的包围盒，特定轴线例如x-y轴、车辆或其他对象的纵向轴线等。在图11A的示例中，AABB 1106在x-y轴上对齐。在一些示例中，AABB 1106用于执行关于由AABB 1106表示的车辆与另一对象之间发生的碰撞的可能性的快速检查。例如，使用AABB 1106的快速检查可以将动态AABB树用于动态轮廓。动态AABB树可以允许高效地查找具有与查询轮廓(例如，针对与其他对象的可能碰撞进行检查的车辆的轮廓)的AABB重叠的AABB的轮廓。

[0102] 在图11B的示例中，环境1110包括第一车辆(或对象)1114和第二车辆(或对象)1118。在该示例中，第一车辆1114具有关联的AABB 1112并且第二车辆1118具有关联的AABB 1116。如图11B所示，AABB 1112和AABB 1116与局部通用横轴墨卡托(Universal Transverse Mercator，UTM)对齐。因此，AABB 1112和AABB 1116与图11B中示出的水平轴线和竖直轴线对齐。在图11B的示例中，AABB 1112和AABB 1116彼此重叠，这可以导致防撞系统或算法检测第一车辆1114和第二车辆1118之间的潜在碰撞。然而，图11B中示出的示例不表示碰撞情况。相反，图11B的示例中的第一车辆1114和第二车辆1118之间有足够的间距。由于没有分别准确地表示第一车辆1114和第二车辆1118的AABB 1112和AABB 1116的区域，因此可以指示两个车辆1114和1118之间的潜在碰撞。

[0103] 在图11C的示例中，环境1120包括第一车辆(或对象)1124和第二车辆(或对象)1128。在该示例中，第一车辆1124具有关联的AABB 1122并且第二车辆1128具有关联的AABB 1126。如图11C所示，AABB 1122和AABB 1126与车辆1124和1128的偏航对齐。这种与车辆1124和1128的偏航的对齐避免了AABB 1122和AABB 1126的重叠。通过将AABB 1122和AABB 1126与车辆的偏航对齐，AABB 1122和AABB 1126提供了车辆轮廓的更准确表示。这些“更紧密的”AABB 1122和AABB 1126不重叠，其是环境1120的更准确表示。在图11C的示例中，防撞系统或算法可能检测不到第一车辆1124和第二车辆1128之间的潜在碰撞。

[0104] 在一些示例中，车辆的规划和/或预测组件可以使用一个或多个包围盒、包围轮廓

和AABB来确定车辆轨迹、沿着车辆轨迹导航车辆、预测车辆和其他对象之间的潜在碰撞、基于潜在碰撞发起动作(例如,车辆动作)等。在一个或多个示例中,本文描述的系统和方法可以初始地执行粗略分析以预测碰撞或确定对象是否将与车辆保持阈值距离。该阈值距离也可以被称为与车辆相关联的安全半径。例如,可以使用AABB或包围盒来执行粗略分析。可以用最少的计算资源快速地执行该粗略分析。如果粗略分析识别到潜在的碰撞,或者车辆和对象未能彼此保持阈值距离,那么所描述的系统和方法可以使用例如包围轮廓和光线追迹来执行更详细的分析。在一些示例中,可以从前车轴和后车轴二者执行车辆规划。

[0105] 在一些示例中,碰撞检查可以在时间或距离上受到限制。例如,碰撞检查在时间上可以被限制在接下来的几秒。在动态环境中,由于多个动态对象在环境中移动,因此对未来很长时间的碰撞检查可能不准确。因此,为了节省计算资源并生成准确的数据,碰撞检查可以被限制在未来的几秒。

[0106] 此外,碰撞检查可以被限制在距车辆的特定距离。例如,沿着轨迹移动的车辆可以与距车辆或车辆轨迹的特定距离内的对象有关。在一些实施方式中,可以忽略远离车辆和车辆轨迹的对象,直到它们运动到阈值距离内以供分析。忽略这些对象节省了计算资源,并将那些计算资源集中在具有高优先级的对象上,所述高优先级基于它们与车辆或车辆轨迹的接近性。

[0107] 在一些示例中,本文描述的系统和方法可以针对车辆轨迹和与对象相关联的包围轮廓之间的碰撞进行检查。在一个或多个示例中,能够创建AABB树,并且所有包围轮廓都与车辆的偏航对齐(如图11C所示)。车辆轨迹可以被添加到AABB树。在一些示例中,能够针对碰撞候选者查询AABB树。在一些示例中,所描述的系统和方法可以基于特定时间段查询AABB树。

[0108] 在一些示例中,AABB树或其他技术能够用于使用AABB或其他相关过程表示来确定潜在碰撞。响应于使用包围盒检测潜在碰撞,能够经由包围轮廓来确定更准确的表示,如本文所公开的。例如,过程表示可以指示某一场景中潜在碰撞的第一概率。响应于满足阈值的第一概率,能够使用更准确的表示来做出潜在碰撞的第二确定。第二确定能够包括确定同一场景中的潜在碰撞的第二概率,其中,第二概率可以不同于第一概率。例如,第二概率可以指示比第一概率更低的碰撞的可能性。使用较准确的表示可以比使用较粗糙的表示更复杂。使用所描述的两步法能够得到降低的用于确定潜在碰撞的系统的总体复杂性。

[0109] 在一些示例中,如果检测到碰撞,那么所描述的系统和方法可以基于碰撞的时间和距车辆的距离使车辆的当前轨迹无效或改变轨迹的准确性。类似地,如果安全裕度受到损害,那么系统和方法可以使车辆的当前轨迹无效或将其改变。

[0110] 图12是用于实施本文描述的技术的示例系统1200的图示。车辆1202可以包括一个或多个车辆计算设备1204、一个或多个传感器系统1206、一个或多个发射器1208、一个或多个通信连接1210、至少一个直接连接1212、以及一个或多个驱动系统1214。

[0111] 在一些示例中,系统1200能够被实施为车辆,例如被配置为根据美国国家公路交通安全管理局发布的5级分类操作的自主车辆,该分类描述了一种能够在整个行程中执行所有安全关键功能的车辆,其中驾驶员(或乘员)不被期望在任何时候控制车辆。在这样的示例中,由于车辆能够被配置为控制从开始到停止的所有功能,包括所有停车功能,所以它可以是空的。这仅仅是一个示例,并且本文描述的系统和方法能够被结合到任何地面、空中

或水上运载工具中，其范围包括那些从需要始终由驾驶员手动控制的运载工具到那些部分或完全自主控制的运载工具。

[0112] 车辆计算设备1204可以包括一个或多个处理器1216和与该一个或多个处理器1216通信耦合的存储器1218。在所示示例中，车辆1202是自主车辆。然而，车辆1202可以是任何其他类型的车辆。在示出的示例中，车辆计算设备1204的存储器1218存储定位组件1220、感知组件1222、一个或多个地图1224、以及一个或多个系统控制器1226。虽然出于说明的目的，图12被描绘为存在于存储器1218中，但是考虑了定位组件1220、感知组件1222、一个或多个地图1224以及一个或多个系统控制器1226可以附加地或可替代地可由车辆访问1202(例如，远程地存储)。

[0113] 在至少一个示例中，定位组件1220可以包括从传感器系统1206接收数据以确定车辆1202的位置和/或朝向(例如，x-位置、y-位置、z-位置、滚动、俯仰或偏航中的一个或多个)的功能。例如，定位组件1220可以包括和/或请求/接收环境的地图，并且可以在地图内连续地确定自主车辆的位置和/或朝向。在一些情况下，定位组件1220可以利用SLAM(同时定位和映射)、CLAMS(同时校准、定位和映射)、相对SLAM、束调整、非线性最小二乘优化等，以接收图像数据、激光雷达数据、雷达数据、IMU数据、GPS数据、车轮编码器数据等，以准确地确定自主车辆的位置。在一些实例中，定位组件1220可以向车辆1202的各种组件提供数据以确定自主车辆的初始位置，以用于生成轨迹和/或用于生成或接收地图数据，如本文所讨论的。

[0114] 在一些情况下，感知组件1222可以包括执行对象检测、分割和/或分类的功能。在一些示例中，感知组件1222可以提供经处理的传感器数据，其指示靠近车辆1202的实体的存在和/或作为实体类型的实体的分类(例如，汽车、行人、骑自行车的人、动物、建筑物、树木、路面、路缘、人行道、未知等)。在附加和/或替代示例中，感知组件1222可以提供经处理的传感器数据，其指示与检测到的实体(例如，被跟踪的对象)和/或该实体所位于的环境相关联的一个或多个特性。在一些示例中，与实体相关联的特性可以包括但不限于x位置(全局和/或局部位置)、y位置(全局和/或局部位置)、z位置(全局和/或局部位置)、朝向(例如，滚动、俯仰、偏航)、实体类型(例如，分类)、实体的速度、实体的加速度、实体的范围(大小)等。与环境相关联的特性可以包括但不限于环境中另一个实体的存在、环境中另一个实体的状态、一天中的某个时间、一周中的一天、一个季节、一个天气状况、对黑暗/光明的指示等。

[0115] 在一些示例中，感知组件1222可以包括包围轮廓组件1228，其可以创建和管理任何数量的包围轮廓，如本文所讨论的。在具体示例中，包围轮廓组件1228识别与一个或多个对象相关联的包围轮廓。

[0116] 存储器1218可以还包括一个或多个地图1224，其可以由车辆1202使用以在环境内导航。出于本讨论的目的，地图可以是在二维、三维或N维中建模的任何数量的数据结构，其能够提供关于环境的信息，例如但不限于拓扑(例如十字路口)、街道、山脉、道路、地形和总体环境。在一些情况下，地图可以包括但不限于：纹理信息(例如，颜色信息(例如，RGB颜色信息、Lab颜色信息、HSV/HSL颜色信息)等)、强度信息(例如，激光雷达信息、雷达信息等)；空间信息(例如，投影到网格上的图像数据、单独的“面元(surfel)”(例如，与单独的颜色和/或强度相关联的多边形))、反射率信息(例如，镜面反射信息、逆反射信息、BRDF信息、

BSSRDF信息等)。在一个示例中,地图可以包括环境的三维网格。在一些情况下,地图可以按瓦片格式(tiled format)存储,使得地图的各个瓦片表示环境的分离部分,并且可以根据需要加载到工作存储器中,如本文所讨论的。在至少一个示例中,一个或多个地图1224可以包括至少一个地图(例如,图像和/或网格)。在一些示例中,可以至少部分地基于地图1224来控制车辆1202。在一些示例中,一个或多个地图1224可以被存储在可经由网络1240访问的远程计算设备(例如,计算设备1242)上。在一些示例中,多个地图1224可以基于例如特性(例如,实体的类型、一天中的时间、一周中的一天、一年的季节等)被存储。存储多个地图1224可以具有类似的存储器要求,但是增加地图中的数据可以被访问的速度。

[0117] 在至少一个示例中,车辆计算设备1204可以包括一个或多个系统控制器1226,其可以被配置为控制车辆1202的转向、推进、制动、安全、发射器、通信和其他系统。这些系统控制器1226可以与驱动系统1214的对应的系统和/或车辆1202的其他组件进行通信和/或对其进行控制。

[0118] 在一些示例中,存储器1218可以包括预测组件1230,其预测靠近车辆1202的各种活动和情况。在至少一个示例中,预测组件1230可以预测与对象碰撞或其他车辆活动或情况的可能性。

[0119] 在一些示例中,存储器1218可以包括规划组件1232,其规划各种车辆活动、规划车辆轨迹以到达目的地等。在至少一个示例中,规划组件1232可以包括碰撞检查组件1234,其可以识别沿车辆轨迹的潜在碰撞。如本文所讨论的,碰撞检查组件1234可以使用包围轮廓来确定车辆1202和与车辆轨迹附近的对象相关联的包围轮廓之间的距离(和碰撞的可能性)。

[0120] 在一些实例中,本文讨论的一些或所有组件的方面可以包括任何模型、算法和/或机器学习算法。例如,在一些实例中,存储器1218(以及下面讨论的存储器1246)中的组件可以被实施为神经网络。

[0121] 如本文所述,示例性神经网络是将输入数据传递通过一系列连接层以产生输出的算法。神经网络中的每一个层还可以包括另一神经网络,或者可以包括任何数量的层(无论是卷积还是非卷积)。如在本公开的上下文中可以理解的,神经网络可以利用机器学习,其可以指基于学习的参数生成输出的此类算法的广泛类别。

[0122] 尽管在神经网络的上下文中讨论,但是可以使用与本公开一致的任何类型的机器学习。例如,机器学习算法可以包括但不限于:回归算法(例如,普通最小二乘回归(OLSR)、线性回归、逻辑回归、逐步回归、多元自适应回归样条(MARS)、局部估计散点图平滑(LOESS))、基于实例的算法(例如,岭回归、最小绝对收缩和选择算子(LASSO)、弹性网络、最小角回归(LARS))、决策树算法(例如,分类与回归树(CART)、迭代二分法3(ID3)、卡方自动交互检测(CHAID)、决策树桩、条件决策树)、贝叶斯算法(例如,朴素贝叶斯、高斯朴素贝叶斯、多项式朴素贝叶斯、平均单依赖估计器(AODE)、贝叶斯信念网络(BNN)、贝叶斯网络)、聚类算法(例如,k均值、k中值、期望最大化(EM)、层次聚类)、关联规则学习算法(例如,感知机、反向传播、跳场网络、径向基函数网络(RBFN))、深度学习算法(例如,深度玻尔兹曼机(DBM)、深度信念网络(DBN)、卷积神经网络(CNN)、堆栈自动编码器)、降维算法(例如,主成分分析(PCA)、主成分回归(PCR)、部分最小二乘回归(PLSR)、Sammon映射、多维缩放(MDS)、投影追踪、线性判别分析(LDA)、混合判别分析(MDA)、二次判别分析(QDA)、灵活判别分析

(FDA))、集成算法(例如,提升方法、自举聚合(Bagging)、AdaBoost、堆栈泛化(混合)、梯度提升机(GBM)、梯度提升回归树(GBRT)、随机森林)、SVM(支持向量机)、监督学习、无监督学习、半监督学习等。

[0123] 架构的其他示例包括神经网络,例如ResNet50、ResNet101、VGG、DenseNet、PointNet等。

[0124] 在至少一个示例中,传感器系统1206可以包括:激光雷达传感器、雷达传感器、超声传感器、声纳传感器、位置传感器(例如,GPS、罗盘等)、惯性传感器(例如,惯性测量单元(IMU)、加速度计、磁力计、陀螺仪等)、图像传感器(例如,RGB、IR、强度、深度等)、飞行时间传感器、音频传感器、车轮编码器、环境传感器(例如,温度传感器、湿度传感器、光传感器、压力传感器等)等。传感器系统1206可以包括这些或其他类型的传感器中的每一个的多个实例。例如,激光雷达传感器可以包括位于车辆1202的拐角、前部、后部、侧面和/或顶部处的单独的激光雷达传感器。作为另一示例,图像传感器可以包括设置在围绕车辆1202的外部和/或内部的各种位置处的多个相机。传感器系统1206可以向车辆计算设备1204提供输入。附加地或者可替代地,传感器系统1206可以在经过预定时间段之后、接近实时地等经由一个或多个网络1240将传感器数据发送到一个或多个计算设备1242。

[0125] 车辆1202还可以包括用于发射光和/或声音的发射器1208,如上文所述。该示例中的发射器1208包括与车辆1202的乘客通信的内部音频和视觉发射器。通过示例而非限制的方式,内部发射器可以包括扬声器、灯、标志、显示屏、触摸屏、触觉发射器(例如,振动和/或力反馈)、机械致动器(例如,安全带张紧器、座椅定位器、头枕定位器等)和类似物。该示例中的发射器1208还可以包括外部发射器。作为示例,该示例中的外部发射器包括用于示意行驶方向的灯或车辆动作的其他指示器(例如,指示灯、标志、灯阵列等)以及一个或多个音频发射器(例如,扬声器、扬声器阵列、喇叭等)以与行人或其他附近车辆进行听觉通信,其中的一个或多个包括声束转向技术。

[0126] 车辆1202还可以包括一个或多个通信连接1210,其实现车辆1202与一个或多个其他本地或远程计算设备之间的通信。例如,通信连接1210可以促进与车辆1202上的其他本地计算设备和/或驱动系统1214的通信。而且,通信连接1210可以允许车辆与其他附近的计算设备通信(例如,其他附近的车辆、交通信号等)。通信连接1210还使得车辆1202能够与远程操作计算设备或其他远程服务通信。

[0127] 网络接口1210可以包括物理接口和/或逻辑接口,用于将车辆计算设备1204连接到另一计算设备或网络,例如网络1240。例如,通信连接1210可以启用基于Wi-Fi的通信(例如经由IEEE 802.11标准所定义的频率)、短距离无线频率(例如蓝牙、蜂窝通信(例如,2G、3G、4G、4GLTE、5G等))或任何合适的有线或无线通信协议,其使得相应的计算机设备能够与其他计算机设备接合。

[0128] 在至少一个示例中,车辆1202可以包括一个或多个驱动系统1214。在一些示例中,车辆1202可以具有单个驱动系统1214。在至少一个示例中,如果车辆1202具有多个驱动系统1214,那么单独的驱动系统1214可以被定位在车辆1202的相对端部(例如,前部和后部等)上。在至少一个示例中,驱动系统1214可以包括一个或多个传感器系统,以检测驱动系统1214和/或车辆1202的周围环境的状况。作为示例而非限制,传感器系统可以包括:一个或多个车轮编码器(例如,旋转编码器)以感测驱动系统的车轮的旋转,惯性传感器(例如,

惯性测量单元、加速度计、陀螺仪、磁力计等)以测量驱动系统的朝向和加速,相机或其他图像传感器,超声传感器以声学检测驱动系统的周围环境中的对象,激光雷达传感器、雷达传感器等。一些传感器(例如车轮编码器)可以对于驱动系统1214是独特的。在一些情况下,驱动系统1214上的传感器系统可以重叠或补充车辆1202的对应系统(例如,传感器系统1206)。

[0129] 驱动系统1214可以包括车辆系统中的许多系统,包括:高压电池;马达,用于推进车辆;逆变器,用于将来自电池的直流电转换成交流电以供其他车辆系统使用;转向系统,包括转向马达和转向齿条(其可以是电动的);制动系统,包括液压致动器或电动致动器;悬架系统,包括液压组件和/或气动组件;稳定性控制系统,用于分配制动力以减轻牵引力的损失并维持控制;HVAC系统;照明(例如,诸如用于照亮车辆的外部周围环境的头/尾灯的照明);以及一个或多个其他系统(例如,冷却系统、安全系统、车载充电系统、其他电气组件,例如DC/DC转换器、高压接头、高压电缆、充电系统、充电端口等)。另外,驱动系统1214可以包括驱动系统控制器,其可以接收和预处理来自传感器系统的数据并且控制各种车辆系统的操作。在一些示例中,驱动系统控制器可以包括一个或多个处理器以及与该一个或多个处理器通信耦合的存储器。存储器可以存储一个或多个组件以执行驱动系统1214的各种功能。此外,驱动系统1214还可以包括一个或多个通信连接,其使得相应的驱动系统能够与一个或多个其他本地或远程计算设备进行通信。

[0130] 在至少一个示例中,直接连接1212可以提供物理接口以将一个或多个驱动系统1214与车辆1202的主体耦合。例如,直接连接1212可以允许在驱动系统1214和车辆之间传输能量、流体、空气、数据等。在一些情况下,直接连接1212可以进一步将驱动模块1214可释放地固定到车辆1202的主体。

[0131] 在一些示例中,车辆1202可以经由网络1240将传感器数据发送到一个或多个计算设备1242。在一些示例中,车辆1202可以将原始传感器数据发送到计算设备1242。在其他示例中,车辆1202可以将经处理的传感器数据和/或传感器数据的表示发送到计算设备1242。在一些示例中,车辆1202可以以特定频率、在经过预定时间段之后、接近实时地等将传感器数据发送到计算设备1242。在一些情况下,车辆1202可以将传感器数据(原始的或经处理的)发送到计算设备1242作为一个或多个日志文件。

[0132] 计算设备1242可以包括处理器1244和存储训练组件1248的存储器1246。在一些示例中,训练组件1248可以包括已经由模拟器生成的训练数据。

[0133] 车辆1202的处理器1216和计算设备1242的处理器1244可以是任何能够执行指令以处理数据并执行如本文所描述的操作的合适的处理器。作为示例,处理器1216和1244可以包括一个或多个中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、或任何其他设备或设备的一部分,其处理电子数据以将电子数据转换成可以存储在寄存器和/或存储器中的其他电子数据。在一些示例中,集成电路(例如,ASIC等)、门阵列(例如,FPGA等)、和其他硬件设备也可以被认为是处理器,只要它们被配置为实现编码的指令。

[0134] 存储器1218和1246是非暂时性计算机可读介质的示例。存储器1218和/或1246可以存储操作系统和一个或多个软件应用、指令、程序、和/或数据以实施本文描述的方法以及归属于各种系统的功能。在各种实施方式中,存储器可以使用任何合适的存储器技术来实施,例如静态随机存取存储器(SRAM)、同步动态RAM(SDRAM)、非易失性/闪存型存储器、或

任何其他类型的能够存储信息的存储器。本文描述的架构、系统、和单独的元件可以包括许多其他逻辑组件、程序化组件和物理组件，其中附图中示出的那些组件仅仅是与本文中的讨论有关的示例。

[0135] 在一些情况下，存储器1218和1246可以至少包括工作存储器和存储内存。例如，工作存储器可以是有限容量的高速存储器(例如，高速缓冲存储器)，其用于存储要由处理器1216和处理器1244操作的数据。在一些情况下，存储器1218和1246可以包括存储内存，其可以是相对大容量的较低速度存储器，用于数据的长期存储。在一些情况下，处理器1216和1244可以不直接对存储在存储内存中的数据进行操作，并且数据可能需要被加载到工作存储器中用于基于数据执行操作，如本文所讨论的。

[0136] 应当注意，虽然图12被示出为分布式系统，但是在替代示例中，车辆1202的组件可以与计算设备1242相关联和/或计算设备1242的组件可以与车辆1202相关联。也就是说，车辆1202可以执行与计算设备1242相关联的一个或多个功能，并且反之亦然。

[0137] 示例条款

[0138] A、一种系统，包括：一个或多个处理器；以及一个或多个非暂时性计算机可读介质，其存储可由一个或多个处理器执行的指令，其中，当指令被执行时使系统执行操作，操作包括：接收与穿越环境的自主车辆相关联的轨迹；从与自主车辆相关联的传感器接收传感器数据；基于传感器数据，确定与传感器数据中表示的对象相关联的包围轮廓；基于自主车辆沿轨迹的位置，确定包围轮廓的预测位置和朝向；基于光线投射，确定位置与在预测位置和朝向的包围轮廓之间的距离；以及基于距离控制自主车辆。

[0139] B、根据段落A的系统，其中，包围轮廓是表示与对象相关联的凸包的多边形。

[0140] C、根据段落B的系统，操作还包括：连接传感器数据的至少两个点，其中，基于连接至少两个点来确定多边形。

[0141] D、根据段落A-C中任一项的系统，其中，距离是第一距离，并且其中，操作还包括基于对应于对象的轴对齐包围盒来确定第二距离。

[0142] E、根据段落A-D中任一项的系统，操作还包括：将距离与阈值进行比较，其中，阈值基于自主车辆的速度和与对象相关联的对象类型。

[0143] F、一种方法，包括：接收与车辆相关联的轨迹；从与车辆相关联的传感器接收传感器数据；确定与传感器数据中表示的对象相关联的包围轮廓；基于轨迹确定车辆的预测位置；确定与对象相关联的包围轮廓的预测位置；基于车辆的模拟位置和包围轮廓的预测位置，确定车辆与对象之间的距离；以及基于车辆与对象之间的距离执行动作。

[0144] G、根据段落F的方法，其中，包围轮廓是通过连接传感器数据的至少两个点而确定的表示与对象相关联的凸包的多边形。

[0145] H、根据段落F或G的方法，其中，动作包括使轨迹有效或使轨迹无效。

[0146] I、根据段落F-H中任一项的方法，其中，至少部分地基于光线投射来确定车辆和对象之间的距离。

[0147] J、根据段落F-I中任一项的方法，还包括确定包围轮廓的预测朝向。

[0148] K、根据段落J的方法，其中，预测朝向至少部分地基于与对象相关联的预测轨迹。

[0149] L、根据段落F-K中任一项的方法，其中，传感器是激光雷达传感器并且传感器数据包括激光雷达数据。

[0150] M、根据段落F-L中任一项的方法，还包括将包围轮廓表示为多个连接点的表示。

[0151] N、根据段落F-M中任一项的方法，其中，距离是第一距离，方法还包括基于轴对齐包围盒来确定第二距离。

[0152] O、根据段落F-N中任一项的方法，还包括：将距离与阈值进行比较，其中，阈值基于车辆的速度或与对象相关联的对象类型中的至少一个。

[0153] P、根据段落F-O中任一项的方法，还包括：至少部分地基于车辆的朝向来确定与包围轮廓相关联的轴对齐包围盒。

[0154] Q、根据段落F-P中任一项的方法，其中，与对象相关联的包围轮廓包括至少五个边界边缘。

[0155] R、一个或多个存储指令的非暂时性计算机可读介质，当指令被执行时，使一个或多个处理器执行操作，包括：接收与车辆相关联的轨迹；从与车辆相关联的传感器接收传感器数据；确定与传感器数据中表示的对象相关联的包围轮廓；基于轨迹确定车辆的模拟位置；确定与对象相关联的包围轮廓的预测位置；基于车辆的模拟位置和包围轮廓的预测位置，确定车辆与对象之间的距离；以及基于车辆与对象之间的距离执行动作。

[0156] S、根据段落R的一个或多个非暂时性计算机可读介质，其中，包围轮廓是通过连接传感器数据的至少两个点而确定的表示与对象相关联的凸包的多边形。

[0157] T、根据段落R或S的一个或多个非暂时性计算机可读介质，其中，操作还包括：确定与包围轮廓相关联的轴对齐包围盒；以及基于轴对齐包围盒确定车辆与对象之间的第二距离。

[0158] U、一种系统，包括：一个或多个处理器；以及一个或多个非暂时性计算机可读介质，其存储可由一个或多个处理器执行的指令，其中，当指令被执行时使系统执行操作，包括：接收与对象相关联的激光雷达数据；将激光雷达数据投影到二维平面上作为投影的激光雷达数据；基于投影的激光雷达数据确定第一凸包，其中，第一凸包包括多个边界边缘；确定最长边界边缘，其中，最长边界边缘具有第一端点和第二端点；确定第一凸包内部的内点；用基于第一端点和内点的第一区段以及基于内点和第二端点的第二区段替换最长边界边缘；以及基于第一区段和第二区段确定更新的凸包。

[0159] V、根据段落U的系统，其中，更新的凸包表示与对象相关联的包围轮廓，操作还包括：基于与对象相关联的包围轮廓确定动作，其中，动作包括控制车辆、确定静态对象、确定动态对象或更新地图数据中的至少一个。

[0160] W、根据段落U或V的系统，其中，确定最长边界边缘包括：识别与第一凸包相关联的多个边界边缘；以及从与第一凸包相关联的多个边界边缘中确定最长边界边缘。

[0161] X、根据段落U-W中任一项的系统，还包括：识别与在激光雷达数据中识别到的对象相关联的包围盒；扩展包围盒的尺寸作为扩展包围盒；以及在扩展包围盒内捕获附加的激光雷达数据。

[0162] Y、一种方法，包括：接收与对象相关联的激光雷达数据；基于传感器数据确定第一凸包，其中，第一凸包包括多个边界边缘；确定最长边界边缘，其中，最长边界边缘具有第一端点和第二端点；确定第一凸包内部的内点；用基于第一端点和内点的第一区段以及基于内点和第二端点的第二区段来替换最长边界边缘；以及基于第一区段和第二区段确定第二的凸包。

[0163] Z、根据段落Y的方法，其中，与对象相关联的传感器数据包括多个激光雷达点，该方法还包括：将多个激光雷达点投影到二维平面上；以及将多个激光雷达点中的点重新定位到预定义网格上的最近位置。

[0164] AA、根据段落Y或Z的方法，还包括：确定第一凸包内部的第二内点；基于第一端点和第二内点确定第三区段；以及基于第二内点和第二端点确定第四区段。

[0165] AB、根据AA段的方法，还包括：确定与第一区段和第二区段相关联的第一角度；确定与第三区段和第四区段相关联的第二角度；以及确定第一角度和第二角度中的最大角度，其中，替换最长边界边缘还包括以下至少一个：响应于确定第一角度大于第二角度，用第一区段和第二区段替换最长边界边缘；或者响应于确定第二角度大于第一角度，用第三区段和第四区段替换最长边界边缘。

[0166] AC、根据段落Y-AB中任一项的方法，还包括：基于第二凸包确定三维对象。

[0167] AD、根据段落Y-AC中任一项的方法，其中，第二凸包表示与对象相关联的包围轮廓，该方法还包括：基于与对象相关联的包围轮廓，确定与车辆与对象之间的潜在碰撞相关联的概率。

[0168] AE、根据段落Y-AD中任一项的方法，其中，第二凸包表示与对象相关联的包围轮廓，该方法还包括：基于与对象相关联的包围轮廓确定动作，其中，动作包括控制车辆、确定静态对象、确定动态对象或更新地图数据中的至少一个。

[0169] AF、根据段落Y-AE中任一项的方法，还包括：识别与传感器数据中识别到的对象相关联的包围盒；扩展包围盒的尺寸作为扩展包围盒；以及捕获扩展包围盒内的所有传感器数据点。

[0170] AG、根据段落Y-AF中任一项的方法，还包括：确定第二长的边界边缘；确定第二长的边界边缘的长度小于阈值长度；以及至少部分地基于该长度小于阈值长度而输出第二凸包。

[0171] AH、根据段落AG的方法，还包括：至少部分地基于最大边界边缘来确定阈值长度。

[0172] AI、根据段落Y-AH中任一项的方法，还包括：至少部分地基于以下输出第二凸包：满足或超过第一阈值的凸包的边缘的数量；最长剩余边界边缘的长度小于第二阈值；或者与第二凸包相关联的内点的数量小于第三阈值。

[0173] AJ、根据段落Y-AI中任一项的方法，还包括基于实例分割确定多个激光雷达点。

[0174] AK、根据段落Y-AJ中任一项的方法，其中，第一凸包包括至少五个边界边缘。

[0175] AL、一个或多个存储指令的非暂时性计算机可读介质，当指令被执行时，使一个或多个处理器执行操作，包括：接收与对象相关联的传感器数据；基于传感器数据确定第一凸包，其中，第一凸包包括多个边界边缘；确定最长边界边缘，其中，最长边界边缘具有第一端点和第二端点；确定第一凸包内部的内点；用基于第一端点和内点的第一区段以及基于内点和第二端点的第二区段来替换最长边界边缘；以及基于第一区段和第二区段确定第二凸包。

[0176] AM、根据段落AL的一个或多个非暂时性计算机可读介质，其中，与对象相关联的传感器数据包括多个激光雷达点，操作还包括：将多个激光雷达点投影到二维平面上；以及将多个激光雷达点中的点重新定位到预定义网格上的最近位置。

[0177] AN、根据段落AL或AM的一个或多个非暂时性计算机可读介质，其中，操作还包括：

识别与在传感器数据中识别到的对象相关联的包围盒;扩展包围盒的尺寸作为扩展包围盒;以及捕获扩展包围盒内的所有传感器数据点。

[0178] 虽然上述示例条款是关于一种具体实施方式进行描述的,但是应当理解,在本文的上下文中,示例条款的内容还可以经由方法、设备、系统、计算机可读介质和/或另一实施方式来实现。另外,示例A-AN中的任何可以单独地实施或与示例A-AN中的任何其他一个或多个组合来实施。

[0179] 结论

[0180] 虽然已经描述了本文所述的技术的一个或多个示例,但是其各种更改、添加、置换和等同物被包括在本文所描述的技术的范围内。在示例的描述中,参考形成其一部分的附图,附图通过图示的方式示出所要求保护的主题的具体示例。应当理解,可以使用其他示例,并且可以进行诸如结构改变的改变或更改。这样的示例、改变或更改不一定偏离关于意图要求保护的主题的范围。虽然本文中的步骤可以按某种顺序呈现,但是在一些情况下,可以改变排序,使得某些输入以不同的时间或按不同的顺序提供,而不会改变所描述的系统和方法的功能。公开的程序也可以按不同的顺序执行。另外,不需要按照所公开的顺序执行本文描述的计算,并且可以容易地实现使用计算的替代顺序的其他示例。除了被重新排序之外,还可以将计算分解为具有相同结果的子计算。

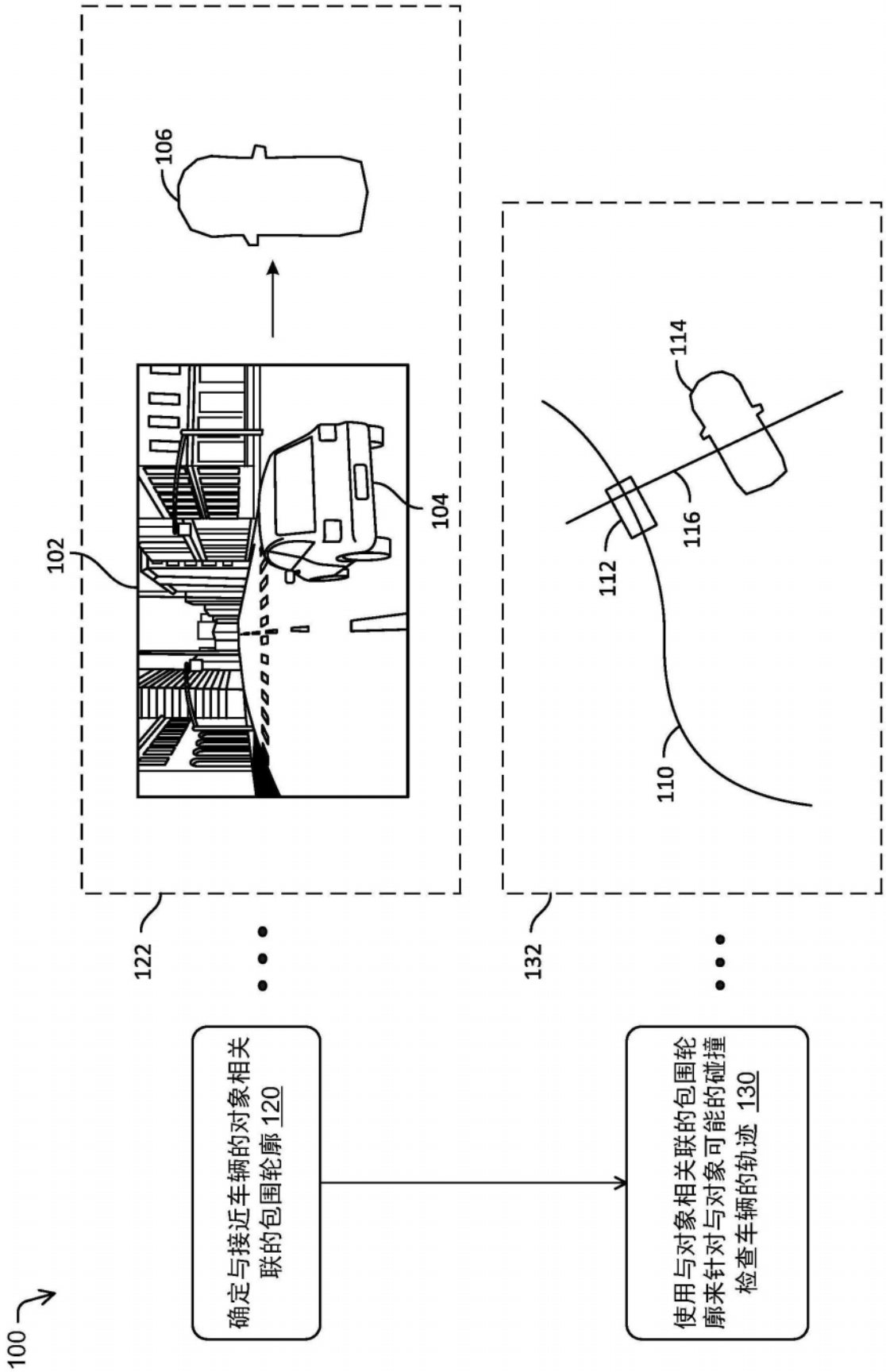

100
确定与接近车辆的对象相关联的包围轮廓 120
使用与对象相关联的包围轮廓来针对与对象可能的碰撞检查车辆的轨迹 130
122
132
102
104
106
110
112
114
116

图1

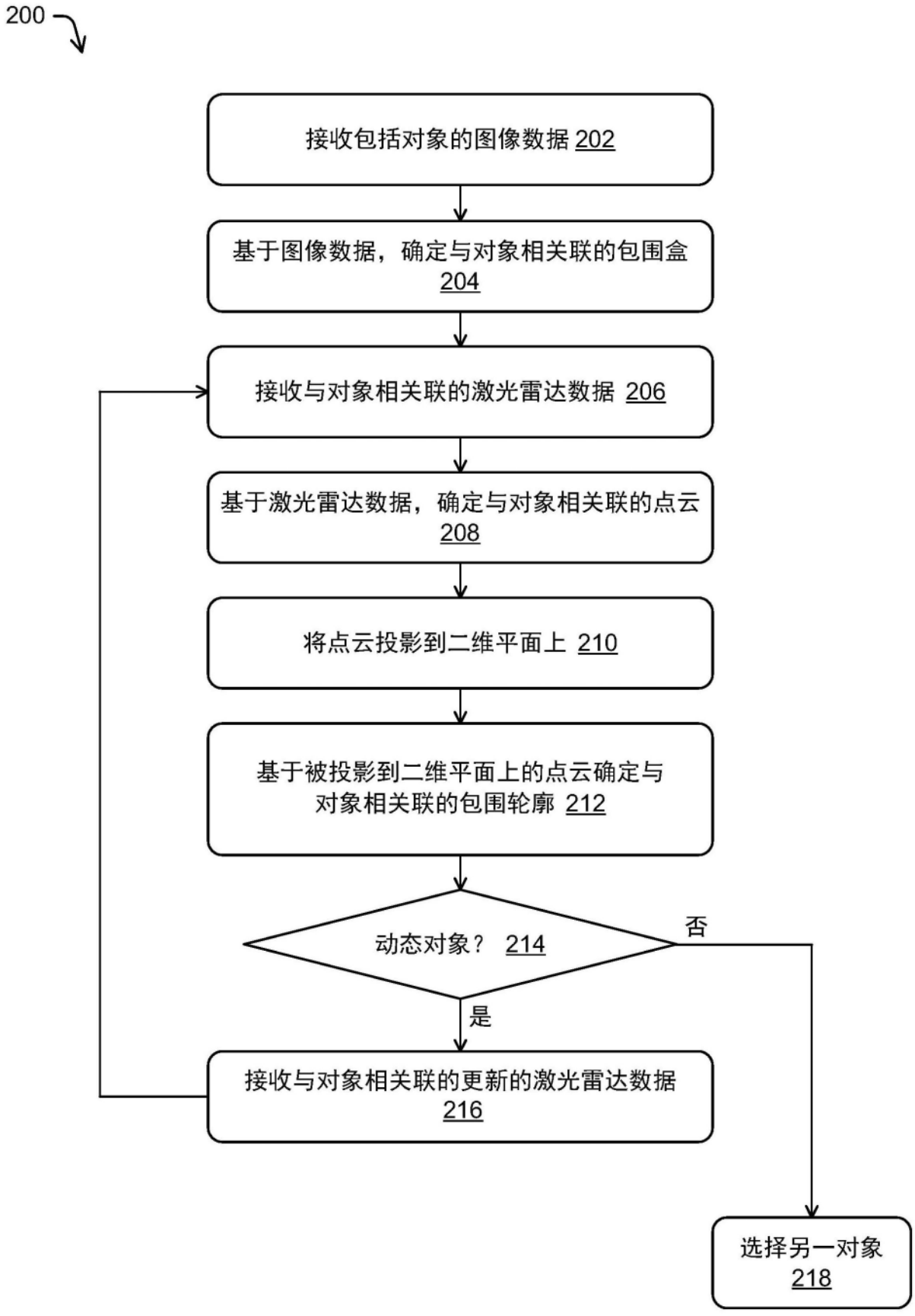

200
接收包括对象的图像数据 202
基于图像数据，确定与对象相关联的包围盒 204
接收与对象相关联的激光雷达数据 206
基于激光雷达数据，确定与对象相关联的点云 208
将点云投影到二维平面上 210
基于被投影到二维平面上的点云确定与对象相关联的包围轮廓 212
动态对象？ 214
否
是
接收与对象相关联的更新的激光雷达数据 216
选择另一对象 218

图2

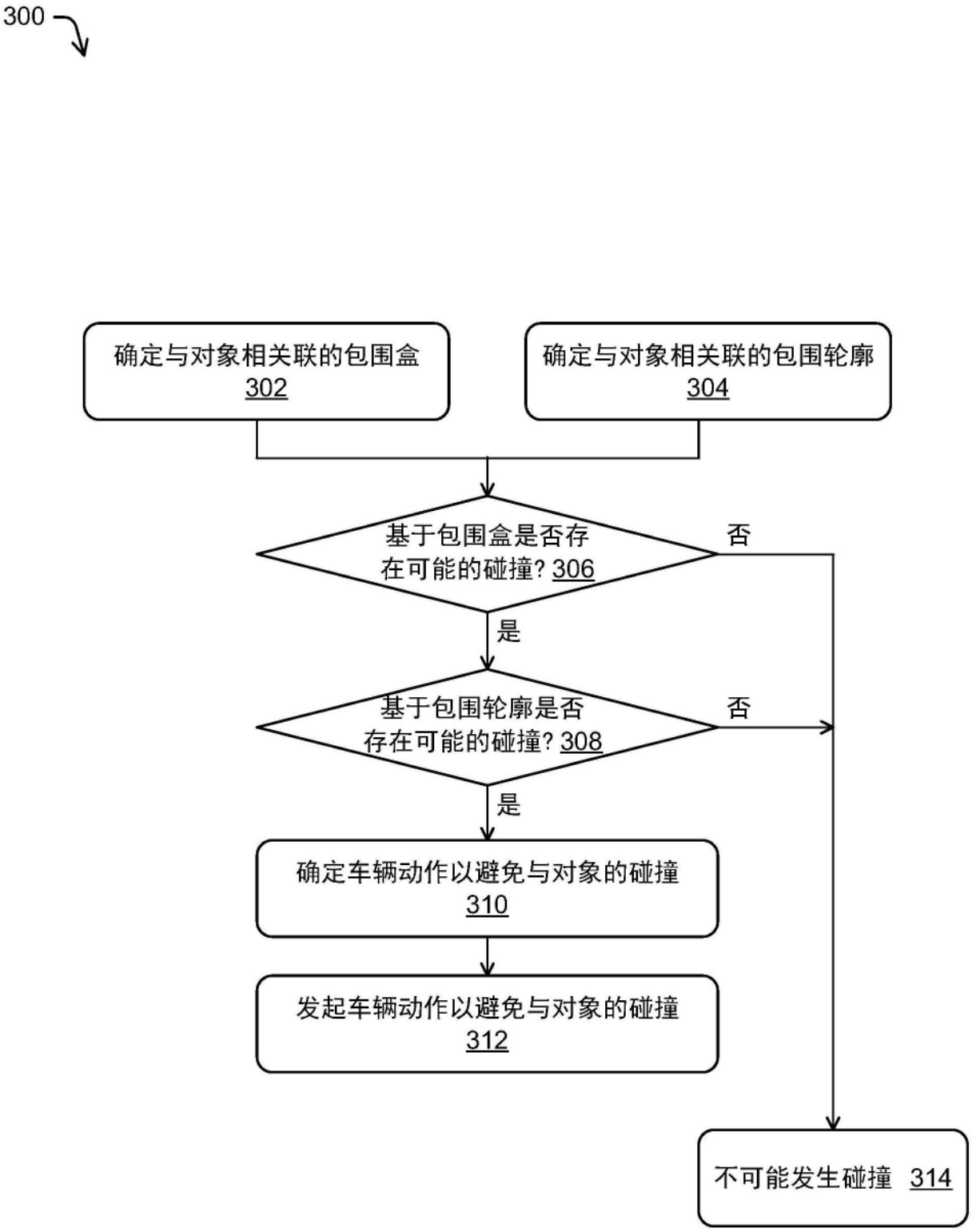

300
确定与对象相关联的包围盒 302
确定与对象相关联的包围轮廓 304
基于包围盒是否存在可能的碰撞? 306
否
是
基于包围轮廓是否存在可能的碰撞? 308
否
是
确定车辆动作以避免与对象的碰撞 310
发起车辆动作以避免与对象的碰撞 312
不可能发生碰撞 314

图3

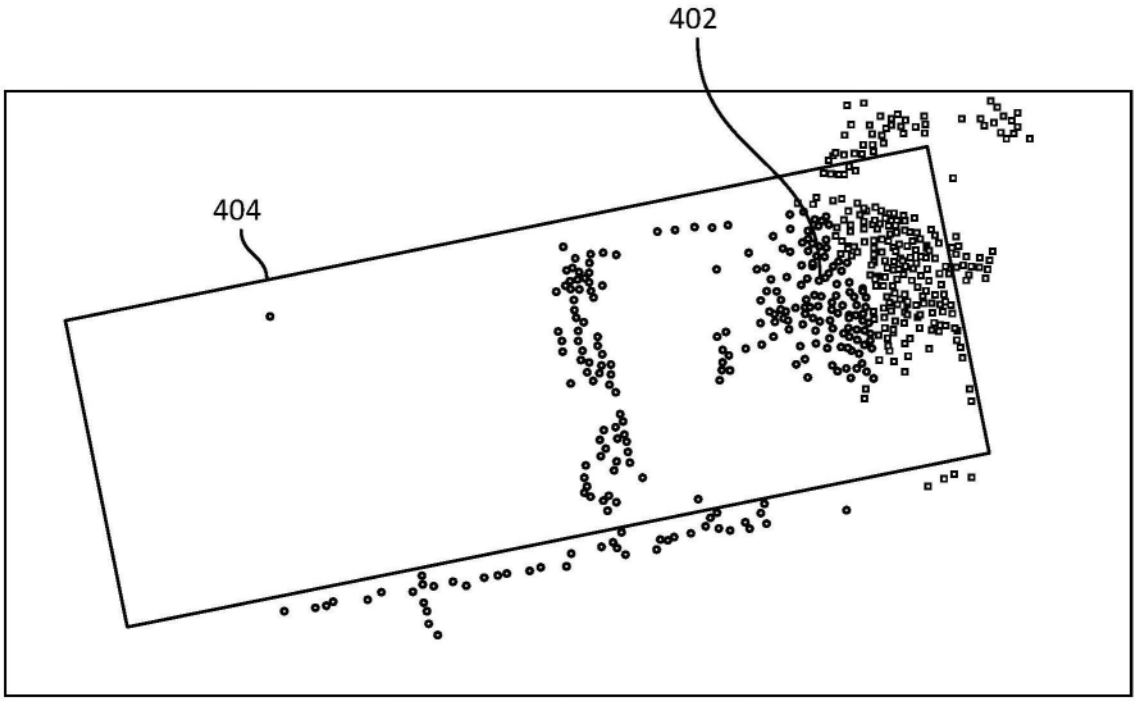


图4A

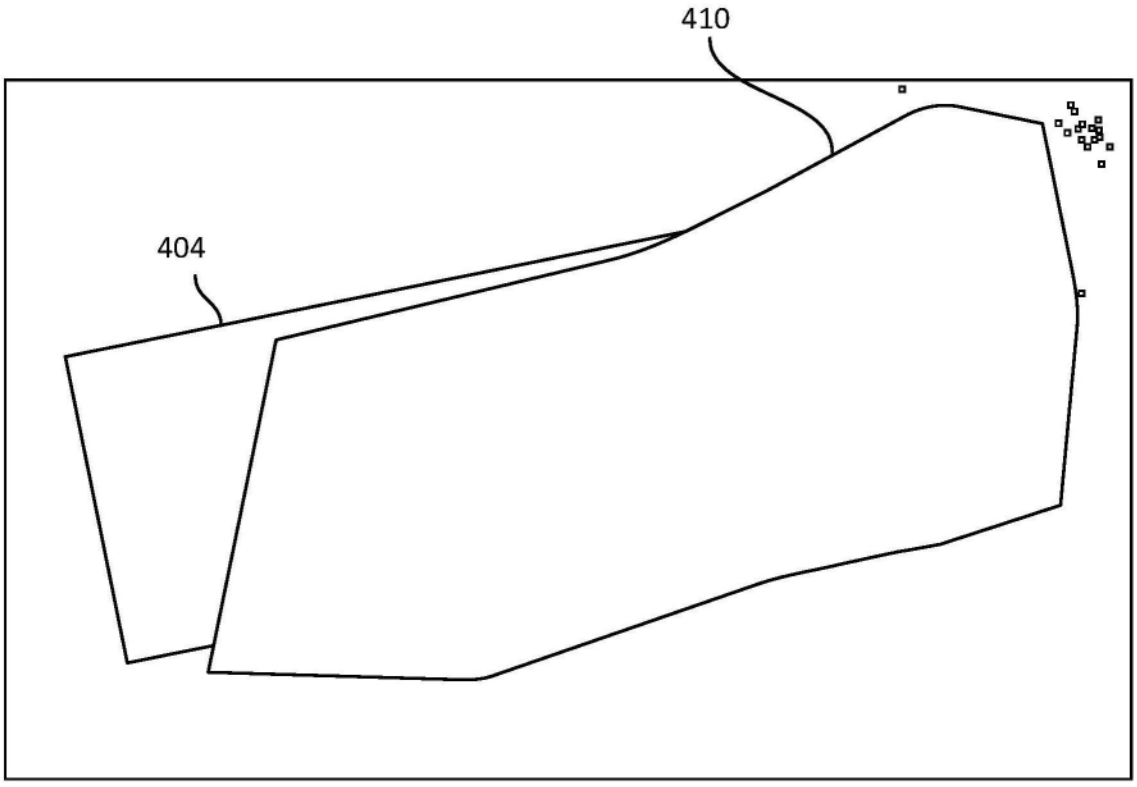


图4B

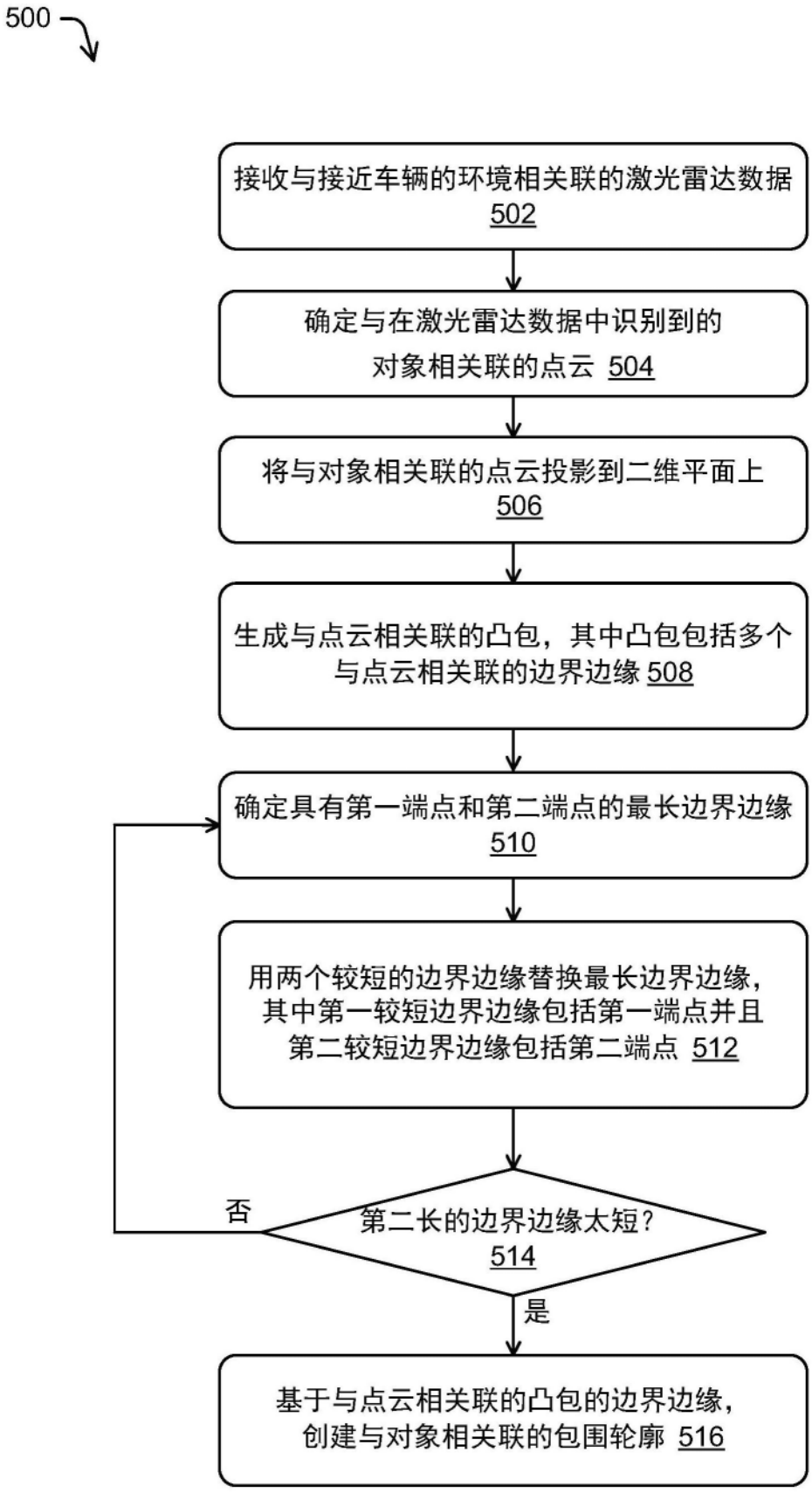

500
接收与接近车辆的环境相关联的激光雷达数据 502
确定与在激光雷达数据中识别到的对象相关联的点云 504
将与对象相关联的点云投影到二维平面上 506
生成与点云相关联的凸包，其中凸包包括多个与点云相关联的边界边缘 508
确定具有第一端点和第二端点的最长边界边缘 510
用两个较短的边界边缘替换最长边界边缘，其中第一较短边界边缘包括第一端点并且第二较短边界边缘包括第二端点 512
第二长的边界边缘太短？ 514
否
是
基于与点云相关联的凸包的边界边缘，创建与对象相关联的包围轮廓 516

图5

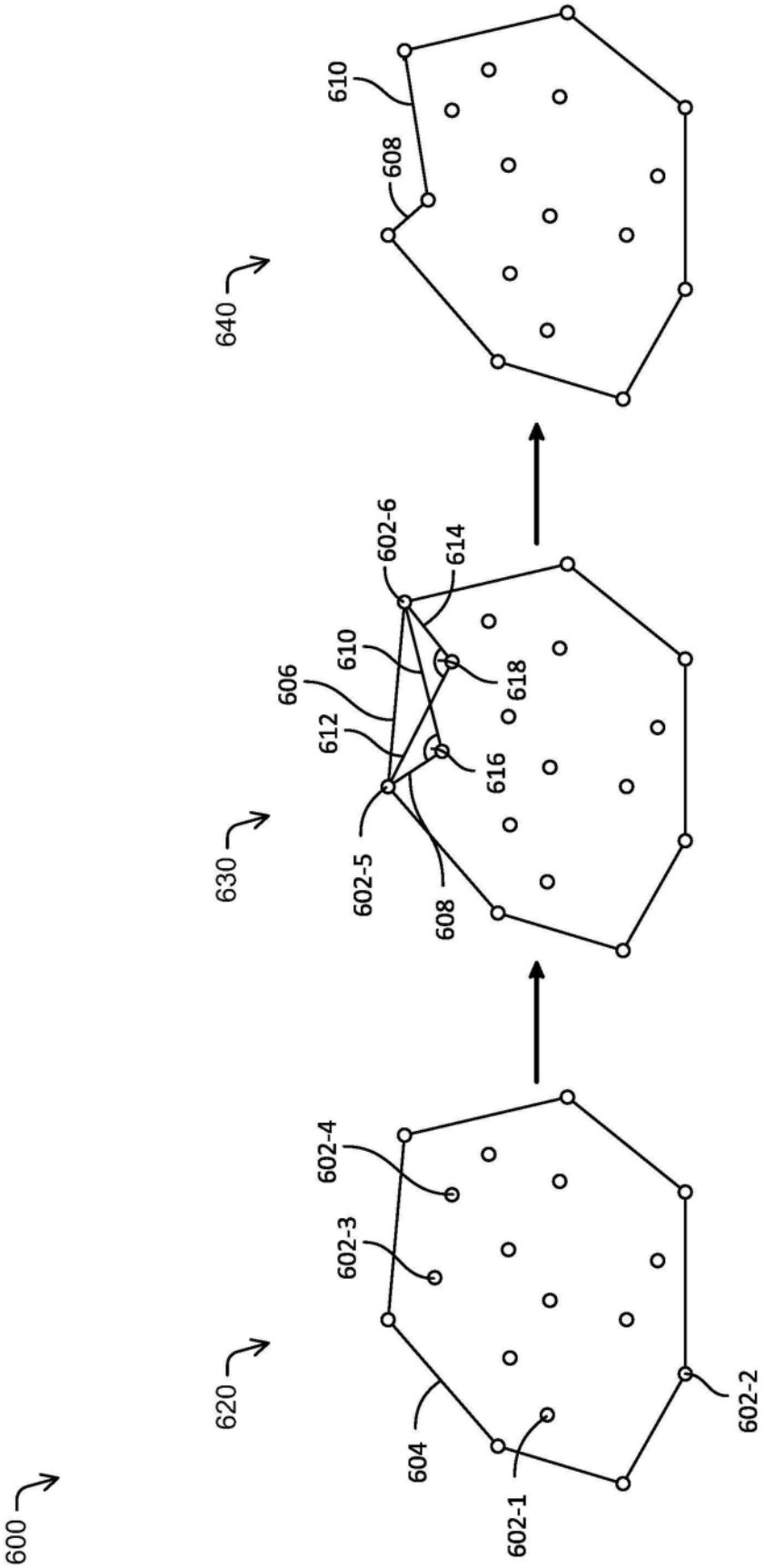

600
620
602-1
604
602-2
602-3
602-4
630
602-5
608
612
606
610
618
616
602-6
614
640
610
608

图6

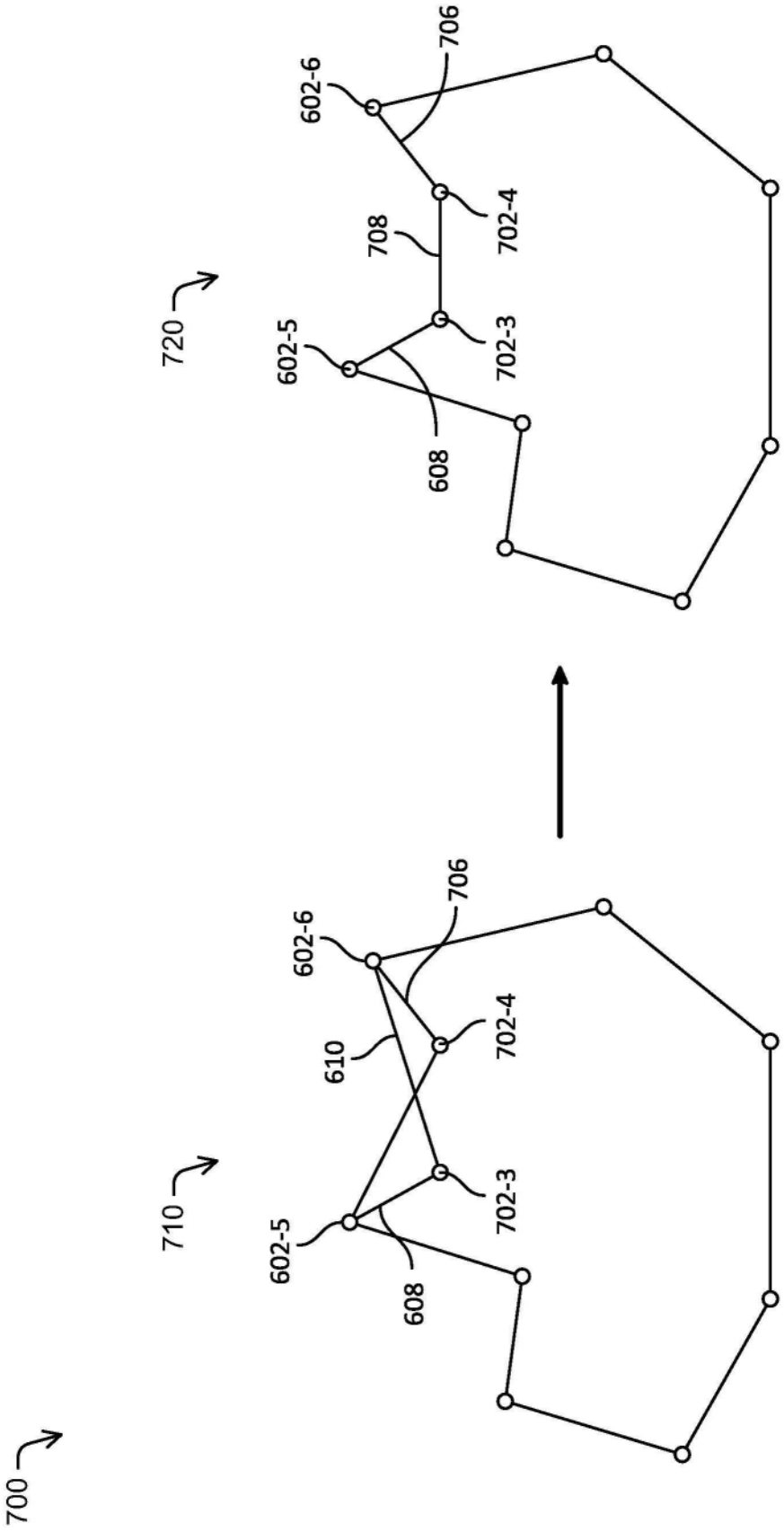

700
710
602-6
706
610
702-4
602-5
702-3
608
720
602-6
706
708
702-4
602-5
702-3
608

图7

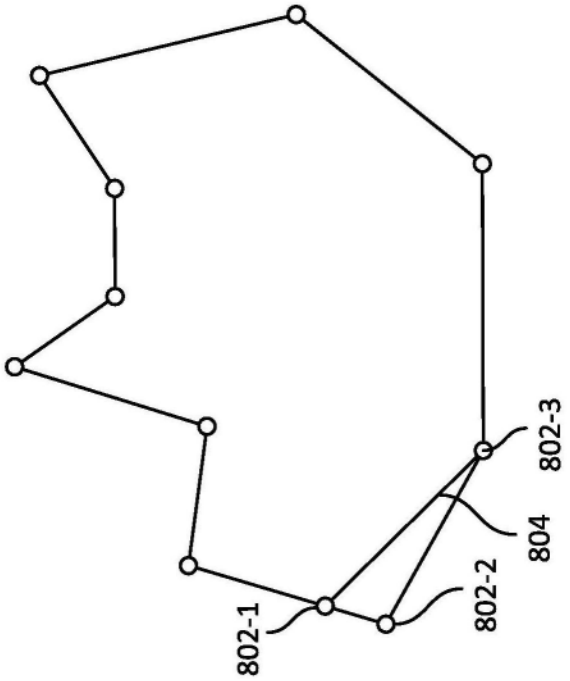


图8A

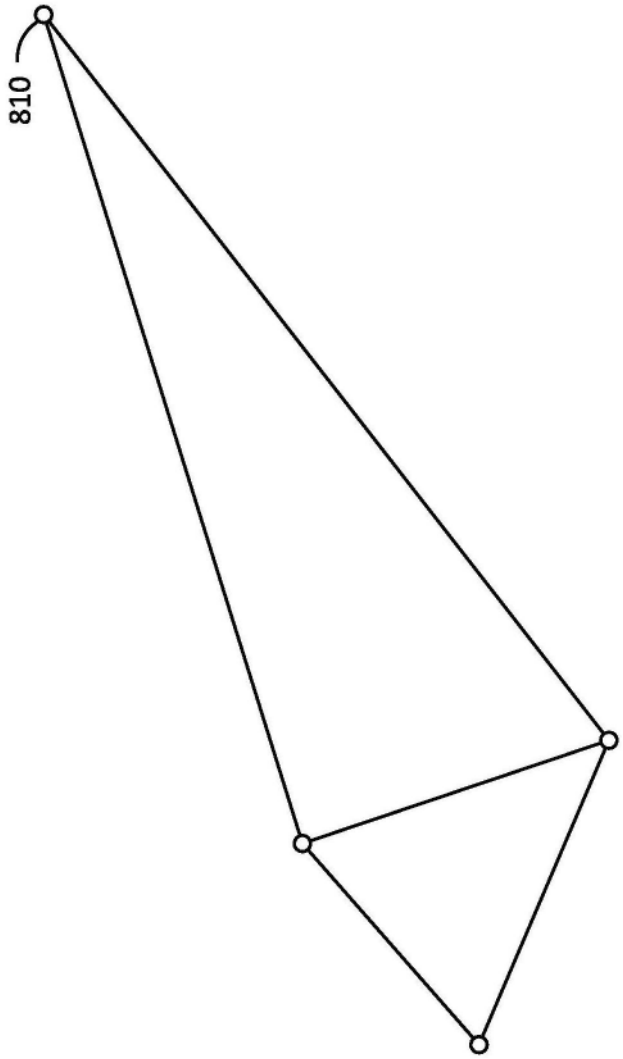


图8B

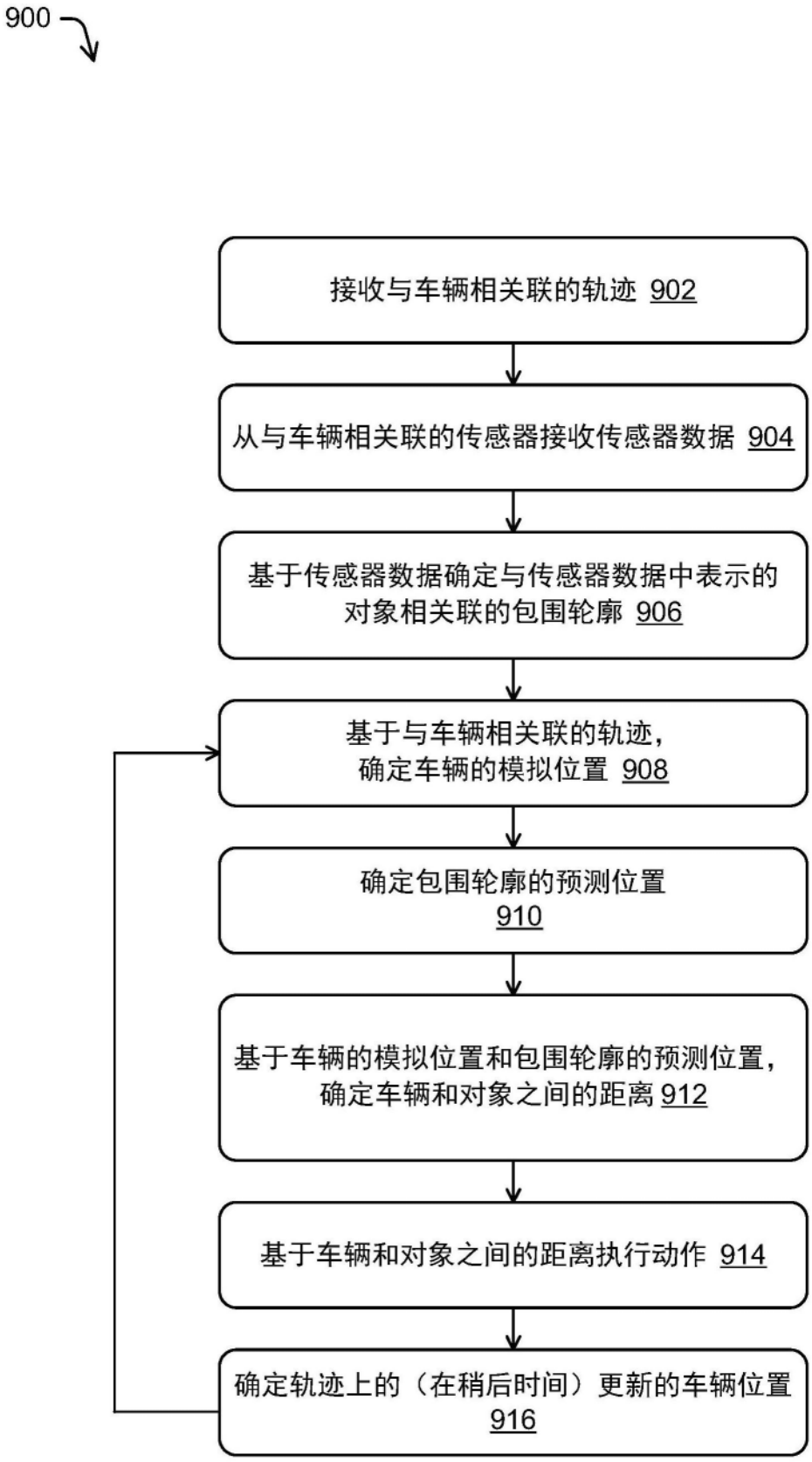

900
接收与车辆相关联的轨迹 902
从与车辆相关联的传感器接收传感器数据 904
基于传感器数据确定与传感器数据中表示的对象相关联的包围轮廓 906
基于与车辆相关联的轨迹，确定车辆的模拟位置 908
确定包围轮廓的预测位置 910
基于车辆的模拟位置和包围轮廓的预测位置，确定车辆和对象之间的距离 912
基于车辆和对象之间的距离执行动作 914
确定轨迹上的（在稍后时间）更新的车辆位置 916

图9

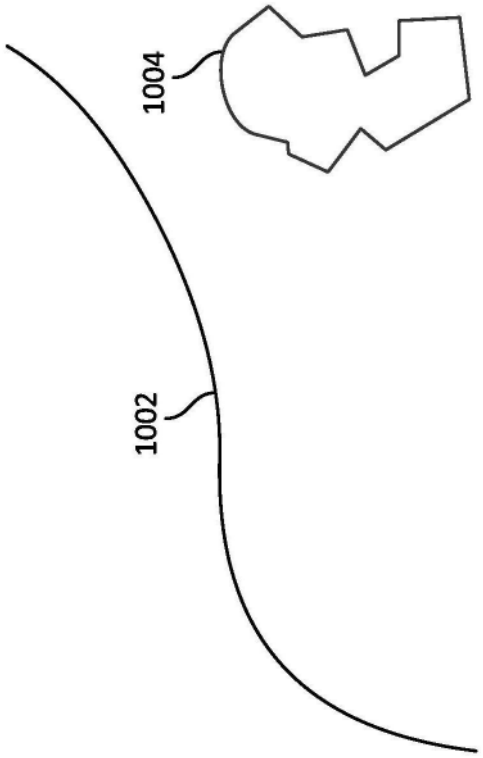


图10A

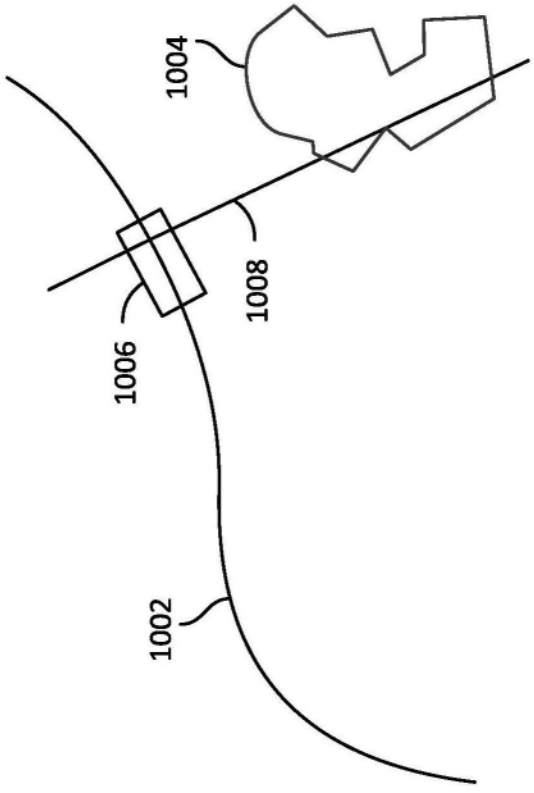


图10B

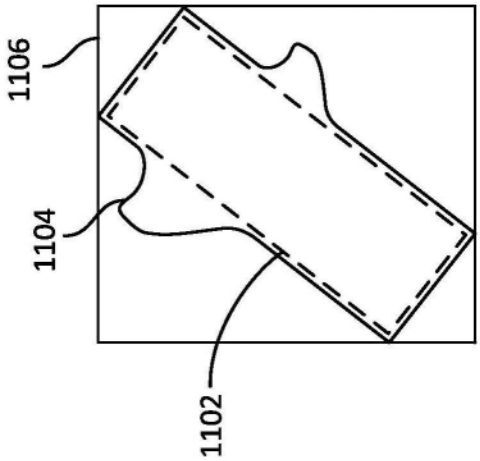


图11A

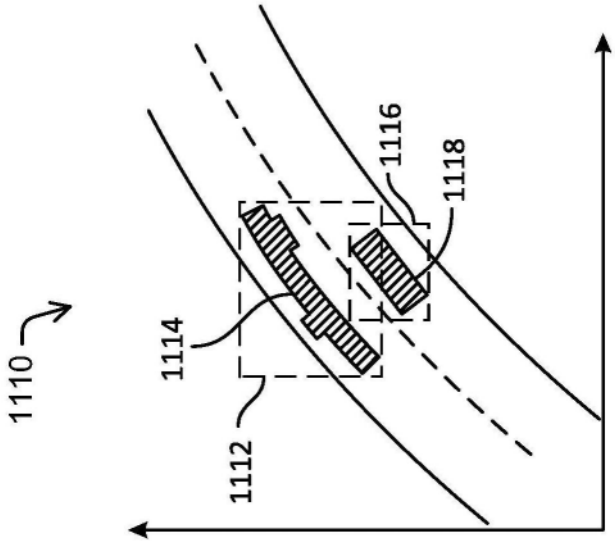


图11B

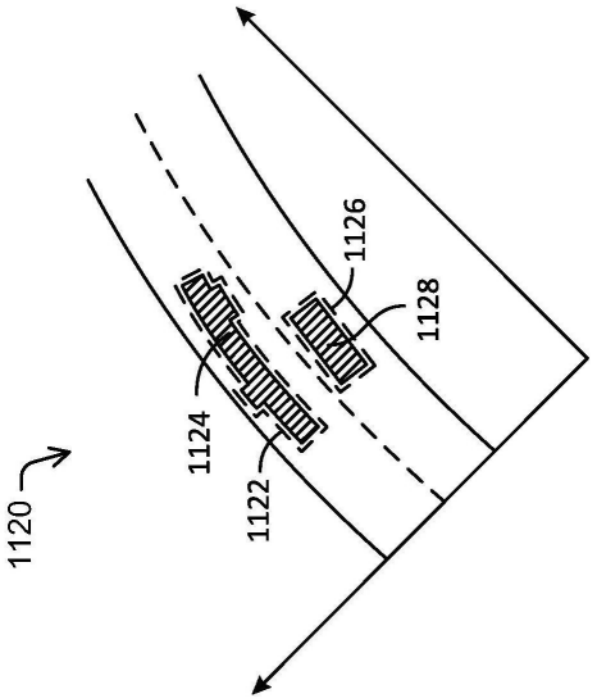


图11C

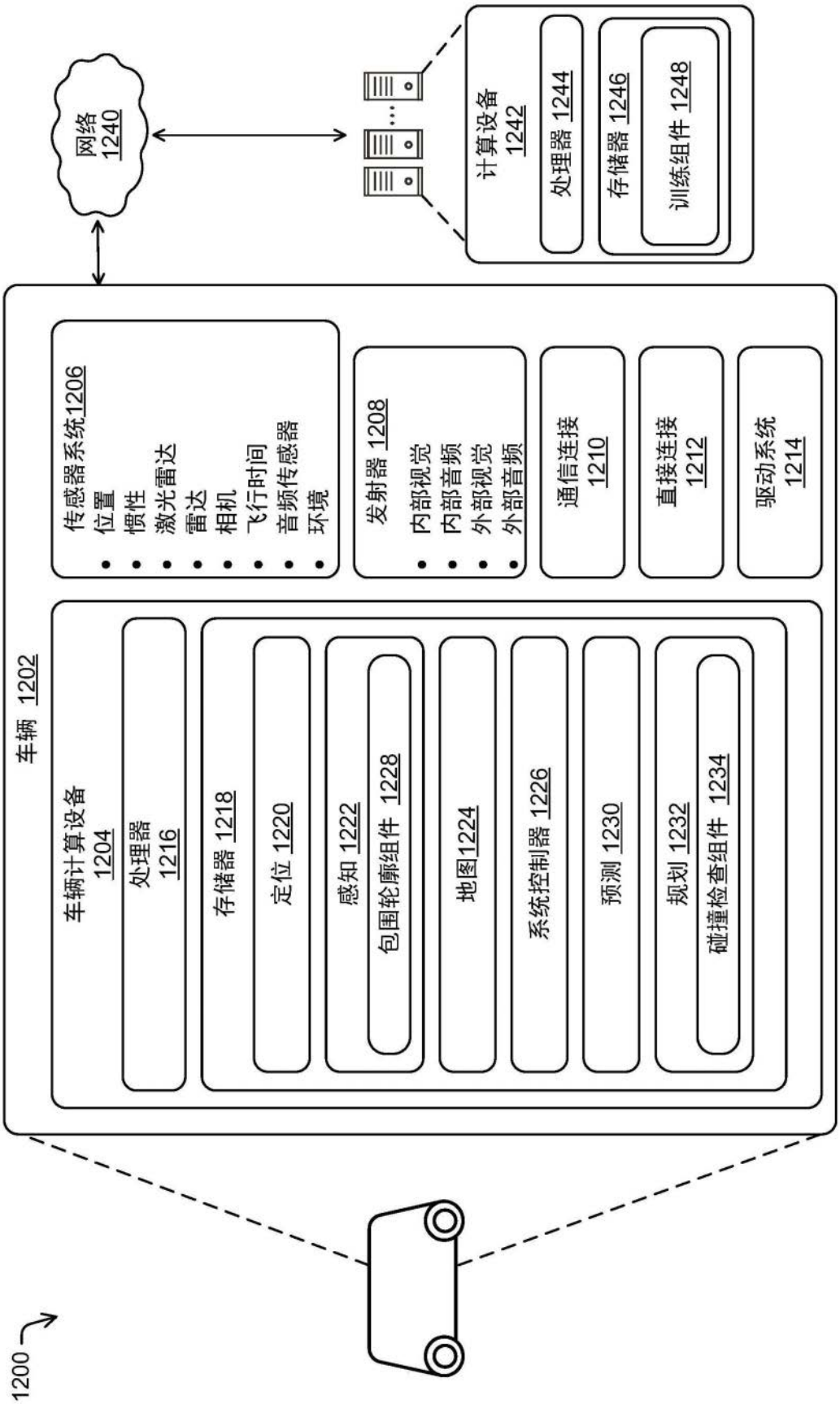

网络 1240
计算设备 1242
处理器 1244
存储器 1246
训练组件 1248
车辆 1202
传感器系统1206
位置
惯性
激光雷达
雷达
相机
飞行时间
音频传感器
环境
发射器 1208
内部视觉
内部音频
外部视觉
外部音频
通信连接 1210
直接连接 1212
驱动系统 1214
车辆计算设备 1204
处理器 1216
存储器 1218
定位 1220
感知 1222
包围轮廓组件 1228
地图1224
系统控制器 1226
预测 1230
规划 1232
碰撞检查组件 1234
1200

图12