(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 115667037 A
(43)申请公布日 2023.01.31

(21)申请号 202180038335.0
(22)申请日 2021.05.24
(30)优先权数据
16/884,975 2020.05.27 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2022.11.25
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2021/033931 2021.05.24
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2021/242702 EN 2021.12.02
(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 W•A•希尔瓦 A•K•阿克拉
(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 刘瑜
(51)Int.Cl.
*B60W 30/095*(2006.01)
*B60W 40/02*(2006.01)
*G08G 1/16*(2006.01)

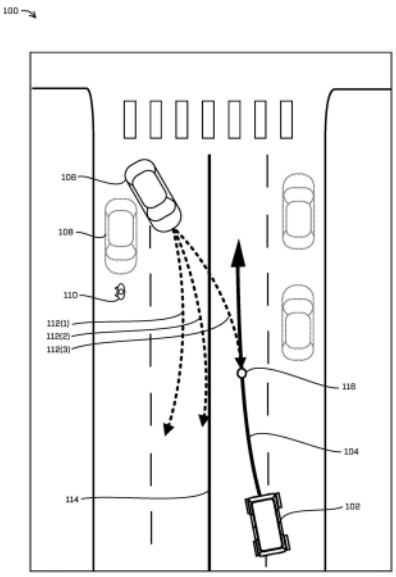
权利要求书2页 说明书26页 附图9页

(54)发明名称

基于扰动对象轨迹的车辆碰撞避免

(57)摘要

自主或半自主车辆内的车辆安全系统可以预测并避免车辆与环境中其他移动对象之间的碰撞。车辆安全系统可以确定环境中另一对象的一个或多个扰动轨迹，例如通过扰动与对象相关联的感知轨迹的状态参数。每个扰动轨迹可以被评估，以确定它是否与车辆的规划轨迹相交或可能相撞。在一些示例中，车辆安全系统可以聚合多个扰动轨迹的分析结果，以确定碰撞概率和/或与碰撞预测相关联的附加权重或调整因素，并且可以基于碰撞预测和概率确定车辆要采取的动作。




CN 115667037 A

1.一种系统,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,其存储有计算机可执行指令,所述计算机可执行指令在被执行时,使所述一个或多个处理器执行操作,所述操作包括:

接收与环境中的对象相关联的状态数据;

接收与所述对象相关联的感知轨迹;

至少部分地基于所述感知轨迹,确定扰动轨迹;

接收与所述环境中的车辆相关联的轨迹;

至少部分地基于所述扰动轨迹和所述轨迹,确定所述对象与所述车辆之间发生碰撞的可能性;以及

至少部分地基于所述碰撞的可能性,确定针对所述车辆的动作。

2.根据权利要求1所述的系统,其中,确定所述扰动轨迹包括确定多个扰动轨迹,所述操作进一步包括:

至少部分地基于所述多个扰动轨迹和所述轨迹,确定所述车辆和所述对象之间潜在碰撞的数量;

确定所述潜在碰撞的数量达到或超过阈值数量;以及

进一步至少部分地基于所述潜在碰撞的数量,确定针对所述车辆的所述动作。

3.根据权利要求2所述的系统,所述操作进一步包括:

至少部分地基于所述潜在碰撞的数量相对于所述多个扰动轨迹的数量,确定所述车辆和所述对象之间碰撞的概率。

4.根据权利要求2或权利要求3中任一项所述的系统,其中,所述状态数据包括与所述对象相关联的加速度数据、与所述对象相关联的转向角速率,以及

其中,确定与所述对象相关联的所述多个扰动轨迹包括改变以下各项中的至少一项:所述加速度数据或所述转向角速率。

5.根据权利要求1至4中任一项所述的系统,其中,所述状态数据进一步包括与所述对象相关联的分类,以及

其中,确定所述扰动轨迹至少部分地基于与所述对象相关联的分类。

6.根据权利要求1至5中任一项所述的系统,所述操作进一步包括:

确定与所述扰动轨迹相关联的概率;

至少部分地基于所述概率,改变所述碰撞的可能性;以及

进一步至少部分地基于所述概率,确定针对所述车辆的所述动作。

7.根据权利要求1至6中任一项所述的系统,其中,确定所述对象和所述车辆之间的所述碰撞的可能性包括:

至少部分地基于所述轨迹,确定在第一时间与所述车辆的预测位置相关联的第一区域;

至少部分地基于所述扰动轨迹,确定在所述第一时间与所述对象的预测位置相关联的第二区域;以及

确定所述第一区域和所述第二区域之间的重叠。

8.一种方法,包括:

接收与环境中的对象相关联的状态数据；

接收与所述对象相关联的感知轨迹；

至少部分地基于所述感知轨迹，确定扰动轨迹；

接收与所述环境中的车辆相关联的轨迹；

至少部分地基于所述扰动轨迹和所述轨迹，确定所述对象与所述车辆之间的碰撞的可能性；以及

至少部分地基于碰撞的所述可能性，确定针对所述车辆的动作。

9.根据权利要求8所述的方法，其中，确定所述扰动轨迹包括确定多个扰动轨迹，所述方法进一步包括：

至少部分地基于所述多个扰动轨迹和所述轨迹，确定所述车辆和所述对象之间潜在碰撞的数量；

确定所述潜在碰撞的数量达到或超过阈值数量；以及

进一步至少部分地基于所述潜在碰撞的数量，确定针对所述车辆的所述动作。

10.根据权利要求9所述的方法，进一步包括至少部分地基于所述潜在碰撞的数量相对于所述多个扰动轨迹的数量，确定所述车辆和所述对象之间碰撞的概率。

11.根据权利要求9或权利要求10中任一项所述的方法，其中，所述状态数据包括与所述对象相关联的加速度数据、与所述对象相关联的转向角速率，以及

其中，确定与所述对象相关联的所述多个扰动轨迹包括改变以下各项中的至少一项：所述加速度数据或所述转向角速率。

12.根据权利要求8至11中任一项所述的方法，其中，所述状态数据进一步包括与所述对象相关联的分类，以及

其中，确定所述扰动轨迹至少部分地基于与所述对象相关联的分类。

13.根据权利要求8至12中任一项所述的方法，进一步包括：

确定与所述扰动轨迹相关联的概率；

至少部分地基于所述概率，改变所述碰撞的可能性；以及

进一步至少部分地基于所述概率，确定针对所述车辆的所述动作。

14.根据权利要求8至13中任一项所述的方法，其中，确定相交包括：

确定与所述车辆相关联的第一边界框；

确定与所述对象相关联的第二边界框；

至少部分地基于所述轨迹，确定在第二时间所述第一边界框的第一位置；

至少部分地基于所述扰动轨迹，确定在所述第二时间所述第二边界框的第二位置；以及

至少部分地基于所述第一位置和所述第二位置，确定在所述第二时间所述第一边界框和所述第二边界框之间的重叠。

15.一个或多个包括指令的非暂时性计算机可读介质，所述指令当由一个或多个处理器执行时，使得所述一个或多个处理器执行根据权利要求7至权利要求14中任一项所述的方法。

# 基于扰动对象轨迹的车辆碰撞避免

[0001] 相关联申请的交叉引用

[0002] 本PCT国际申请要求享有NO.16/884975、于2020年5月27日提交的、标题为“基于扰动对象轨迹的车辆碰撞避免”的美国专利申请的优先权，其全部内容通过引用纳入本文。

## 背景技术

[0003] 车辆可配备有用于检测环境中的对象并控制车辆以避开这些对象的碰撞避免系统。碰撞避免系统可以检测以下二者：静止的对象，如停放的车辆和道路障碍物，以及移动的对象，如其他车辆、骑自行车者、行人和动物。例如，一些碰撞避免系统通过检测和识别环境中代表车辆路径上的对象的表面的存在，并且然后启动车辆的制动和/或转向系统以避免与该表面相撞。

## 附图说明

[0004] 详细说明参照所附附图来描述。在附图中，附图标记的最左边的(多个)数字表示该附图标记首次出现所在的附图。不同附图中的相同附图标记的使用表示相似或相同的组件或特征。

[0005] 图1示出了穿越环境的车辆，并描绘了车辆轨迹和环境中第二车辆的多个扰动轨迹。

[0006] 图2A和图2B示出了穿越环境的车辆和第二车辆，并描绘了车辆之间的潜在碰撞。

[0007] 图3A和图3B是说明根据本文描述的某些技术，在车辆和潜在碰撞区域内的对象之间的时间-空间重叠分析的示例的图。

[0008] 图4示出了根据本文描述的某些技术，环境内的车辆以及基于对对象车辆的加速度和转向角率的扰动的多个扰动轨迹。

[0009] 图5是用于实施本文所述各种技术的示例系统的框图。

[0010] 图6示出了根据本文所述的某些技术，确定与车辆和在环境中移动的对象之间的潜在碰撞相关联的预测和/或概率的示例过程。

[0011] 图7是示出了根据本文所述的某些技术，针对扰动轨迹的矩阵确定对象和车辆之间的碰撞预测的图。

[0012] 图8示出了根据本文所述的某些技术，确定与车辆和在环境中移动的对象之间的潜在碰撞相关联的预测和/或概率的另一示例过程。

## 具体实施方式

[0013] 本公开内容描述了用于改进穿越环境的车辆与环境中其他移动对象之间的碰撞预测和避免的技术。车辆可包括自主、半自主或手动控制的车辆，而移动对象可包括其他车辆(例如汽车、卡车、摩托车、轻便摩托车等)、行人、自行车手、动物等。车辆内的车辆安全系统可以识别环境中的其他对象，确定其他对象的一个或多个扰动轨迹，并且然后通过确定车辆轨迹和对象的扰动轨迹(或候选轨迹)之间的相交来预测潜在的碰撞。例如，车辆安全

系统可以将车辆的轨迹(或规划路径)与环境中移动的另一对象的多个可能的扰动轨迹进行比较。为了确定对象的扰动轨迹,车辆安全系统可以修改(或扰动)对象的当前(或感知的)轨迹的一个或多个参数,例如速度、加速度和/或转向角速率。对于一个扰动轨迹或多个扰动轨迹,车辆安全系统可以确定扰动轨迹是否与车辆的规划轨迹相交。如果一个或多个扰动轨迹与规划车辆轨迹相交,那么车辆安全系统可以预测车辆和对象之间可能发生潜在碰撞,并可以基于潜在碰撞预测来确定针对车辆的动作。

[0014] 在本文描述的各种示例中,车辆安全系统可以接收与在与车辆相同的环境中移动的一个或多个对象相关联的状态数据。对象的状态数据可以基于由车辆上的传感器系统捕获的传感器数据,并且可以包括对象的分类和对象的感知状态(例如对象的当前感知速度、对象的当前感知偏航率、对象的当前感知线性加速度和/或角加速度等)。在一些情况下,车辆安全系统可以从车辆内的另一个系统接收状态数据,例如单独的传感器系统、感知系统和/或车辆的主要车辆控制系统。此外或替代地,车辆安全系统可以直接使用来自一个或多个传感器(例如激光雷达、雷达等)的原始传感器数据来确定对象数据,并且可以使用传感器数据来确定对象的感知状态参数(例如速度、加速度、转向角速率等)。

[0015] 使用对象的当前(或感知)状态参数,车辆安全系统可以为对象确定若干扰动轨迹。每个扰动轨迹可以代表一个可能的轨迹,对象可以沿着该轨迹从其当前感知的位置移动。例如,对象的当前感知位置和状态参数可能对应于第一时间(t0),而每个扰动轨迹可能包括在随后的时间(t1、t2、t3等等)延伸远离在到时间t0对象的位置一系列点的路径。由车辆安全系统为对象确定的每个扰动轨迹可以基于状态参数的不同组合,这些状态参数由对象的当前状态参数中修改而来。例如,为了确定对象的单一扰动轨迹,车辆安全系统可以使用一个或多个扰动参数来修改对象的感知加速度、对象的感知转向角速率,或两者。为了确定多个扰动轨迹,车辆安全系统可以使用扰动参数的不同组合,包括不同量级的正和/或负扰动参数。在至少一些例子中,这种修改和扰动可以被最小化,从而使围绕最可能的轨迹、最极端的轨迹、动态或运动学上受限制的轨迹或其他的参数空间被扰动,以便使必要的计算资源最小化,同时仍然确保考虑到每一种可能的相互作用的情况。

[0016] 车辆安全系统可以通过比较扰动轨迹和车辆的规划轨迹来分析对象的扰动轨迹,并确定轨迹是否相交。在一些示例中,车辆安全系统可以基于车辆轨迹和对象的扰动轨迹确定车辆和对象的推断区域,包括边界框、路径多边形(或走廊)等,以确定在遵循其各自轨迹的车辆之间是否发生时间-空间重叠。轨迹之间的相交可能代表潜在碰撞,并且车辆安全系统可以基于车辆和对象轨迹来分析按不同时间间隔的区域(例如边界框或走廊)之间检测到的重叠,以确定车辆和对象的每个扰动轨迹之间发生潜在碰撞的可能性。例如,在2018年9月19日提交的题为“车辆的碰撞预测和避免”、编号为16/136038的美国专利申请中,可以找到用于控制车辆并避免车辆与环境中其他移动对象之间碰撞的技术的其他示例,就各方面而言,其全部内容通过引用并入本文。

[0017] 在一些示例中,车辆安全系统可以基于车辆轨迹和对象的单个扰动轨迹来确定碰撞预测。对于单个扰动轨迹,碰撞预测可以是二元确定(例如交叉或不交叉,碰撞或无碰撞)。在其他示例中,车辆安全系统可以确定并分析对象的多个扰动轨迹,并且可以基于来自多个扰动轨迹的结果来确定单一碰撞预测。在这样的示例中,基于来自单个扰动轨迹的结果,碰撞预测可被计算为发生碰撞的比率和/或概率。然后,车辆安全系统可以基于碰撞

预测，确定车辆要采取的一个或多个动作。这种动作可以包括激活车辆(和/或其他车辆控制系统)的自动制动和/或转向功能，以避免或减轻潜在碰撞的风险。

[0018] 本文描述的技术和系统可以通过更准确地预测和避免与环境中移动的其他对象的潜在碰撞，来改善自主或半自主车辆的操作和功能。例如，基于直线轨迹和/或基于假设环境中对象的速度、加速度和转向角速率恒定的轨迹来预测碰撞的系统可能不会考虑到动态对象在轨迹上做出的潜在变化。例如，动态对象，如由人主体驾驶的车辆或由基于软件的智能体控制的车辆，往往不遵循单一的轨迹，而是可能响应于环境中的其他对象、交通或天气状况，或为导航或路线优化等目的而改变其速度、加速度和转向角速率。假设动态对象将以不变的运动参数(例如恒定的速度、加速度和/或转向角速率等)沿着恒定的轨迹前进的系统可能无法准确预测与对象的潜在碰撞。由于未能预测动态对象可能进行的轨迹扰动，这类系统可能在不会发生碰撞时不准确地预测碰撞，使得不必要地触发防碰撞动作，并且也可能在将发生碰撞时未能预测碰撞，使得更严重和危险的碰撞。

[0019] 为了解决这些问题，本文描述的技术和系统包括，通过基于轨迹扰动(或修改)确定环境中对象的扰动轨迹以及分析/评估扰动轨迹，以更好地预测车辆和对象之间的潜在碰撞，来改进基于车辆的碰撞预测。一些技术包括使用概率方法来预测碰撞，其中车辆安全系统为环境中的移动对象确定多个扰动轨迹，评估各个扰动轨迹，并将结果聚合以计算发生碰撞的总体概率。例如，车辆安全系统可以确定将使得对象与车辆发生碰撞的第一数量的扰动轨迹，以及将使得对象不与车辆发生碰撞的第二数量的扰动轨迹。然后，车辆安全系统可以基于第一和第二数量的比率计算出碰撞的概率。在计算出碰撞概率后，车辆安全系统可以将概率与一个或多个阈值范围进行比较，以确定车辆为避免或减轻潜在碰撞而采取的动作。

[0020] 如上所述，车辆安全系统可以通过扰动对象的感知轨迹的状态参数来确定一组扰动轨迹。使用一个或多个扰动参数，车辆安全系统可以确定扰动的(或修改的)状态参数，包括一个或多个扰动速度、加速度、偏航率和/或转向角速率(或角加速度)。每组扰动状态参数可以对应于对象的扰动轨迹。在一些示例中，车辆安全系统可以使用第一扰动参数来为对象生成一组修改的加速度(例如线性加速度)数值，以及使用第二扰动参数来为对象生成一组修改的转向角速率(或角加速度)数值。在某些情况下，对象的一组扰动的(或修改的)状态参数可以通过修改对象所感知的感知状态参数，基于扰动参数的加系数或减系数来计算。例如，对象的一组扰动的(或修改的)线性加速度参数可以包括对象的感知线性加速度+/-线性加速度扰动参数，感知线性加速度+/-线性加速度扰动参数的2倍，等等。类似地，可以基于对象的当前(或感知)转向角速率，通过正系数以及负系数扰动的转向角速率扰动参数，生成对象的一组扰动转向角速率。然后，车辆安全系统可以为该对象确定一组扰动轨迹，包括扰动加速度和扰动转向角速率的每个独特组合的扰动轨迹。

[0021] 在一些示例中，用于确定一组扰动的(或修改的)状态参数(例如扰动速度、扰动加速度、扰动转向速率等)的扰动参数可以基于对象的分类。例如，车辆安全系统可以用状态数据接收对象分类，或者可以基于感知或传感器数据确定对象的分类，并且可以为不同类型的车辆(例如汽车、卡车、摩托车等)和/或其他各种对象类型(例如自行车、动物、行人等)提供不同的扰动参数。例如，扰动参数数值以及为对象生成的扰动轨迹的数量和/或范围可以基于与该对象的类型/分类相关联的运动学和/或动力学约束和能力。例如，对于环境中

对象的给定感知轨迹，如果该对象是自行车，车辆安全系统可以基于自行车的运动学和/或动力学约束，生成一组扰动轨迹，而如果该对象是汽车，则基于汽车的不同运动学和/或动力学约束，生成一组不同的扰动轨迹，依此类推。此外，尽管上述示例提到通过扰动对象的感知加速度和感知转向角速率来确定扰动轨迹，但在其他示例中，车辆安全系统可以基于其他状态参数的扰动来确定不同的扰动轨迹，如扰动对象速度、扰动对象偏航率等。

[0022] 此外，在一些实施方案中，车辆安全系统可以确定与每个扰动轨迹相关联的概率。与上面讨论的总体碰撞概率计算不同，扰动轨迹的轨迹概率指的是对象将遵循扰动轨迹的概率。例如，如果车辆安全系统为对象确定了N个不同的扰动轨迹，它可以默认确定每个扰动轨迹被该对象遵循的机会相等(例如1/N)。然而，在其他示例中，车辆安全系统可以确定某些扰动轨迹比其他轨迹更有可能被对象遵循，并且可以为不同的扰动轨迹分配不同的概率。在这样的示例中，车辆安全系统可以使用不同的概率来对扰动轨迹的评估的结果进行加权，从而使对总体碰撞概率计算进行加权处理有利于更有可能的扰动轨迹，而不利于不太可能的扰动轨迹。

[0023] 在某些示例中，车辆和对象之间的碰撞概率的计算还可以基于附加的因素进行加权和/或调整，所述附加的因素例如潜在碰撞的预测严重性、预测的非碰撞(例如预测的未遂事故)的物理接近性，以及与对象相关联的状态数据或传感器数据的一致性和可靠性。车辆安全系统可以确定并使用本文所述的这些因素中的每一个，以加权和/或调整车辆和对象之间的碰撞预测的计算。例如，车辆安全系统可以对预测为严重的潜在碰撞比不太严重的碰撞进行加权。车辆安全系统还可以调整碰撞概率，以考虑到未遂事故扰动轨迹和/或考虑到与该对象相关联的不太可靠或不一致的状态数据和/或状态参数。

[0024] 如这些示例所说明的，本文所述的技术和系统可以通过更准确地预测和避免与环境中的其他移动对象的潜在碰撞来改善自主和半自主车辆的操作和功能。使用本文所述的预测方法，包括确定和评估对象的多个扰动轨迹，车辆安全系统可以更准确和全面地预测与对象的潜在碰撞。与假设对象将继续沿其当前路线或轨迹的系统相比，本文所述的技术包括基于对象的不同扰动轨迹计算碰撞概率，这可以减少对碰撞的不准确预测和对假设动态对象将遵循恒定轨迹而造成的非碰撞的不准确预测。

[0025] 此外，本文描述的技术和系统还可以关于响应于预测的碰撞而确定车辆所采取的动作方面改进车辆的操作和功能。当基于多个扰动轨迹使用概率方法来预测的碰撞时，车辆安全系统不需要做出执行或不执行单一动作的二元选择。相反，车辆安全系统可以基于不同的碰撞概率阈值和范围启动几个不同动作中的任何一个。此外，本文描述的技术进一步允许车辆安全系统基于碰撞概率计算结合其他因素，如碰撞概率计算的置信度水平和潜在碰撞的预测严重程度，确定车辆要采取的动作。因此，车辆安全系统可以基于碰撞概率和相关的因素执行更广泛的可能动作，以改善车辆在避免和/或减轻潜在碰撞方面的操作。

[0026] 图1示出了车辆102穿越包括各种附加车辆和其他对象的环境100。图示了车辆102的车辆轨迹104(也可称为路径或规划路径)，表明车辆102正在改变车道的过程。环境100还包括一些其他车辆和其他对象，包括在与车辆102相反的方向行驶的第二车辆106。在这个示例中，第二车辆106被示出在快速改变车道(或转向)以避开第三车辆108的过程中，第三车辆因为有行人110穿过马路而减速。从车辆106的角度来看，它在道路上以从右到左的方向移动，但也有从左到右的转向角，表明车辆106正处于相对于其行进方向返回到更直的轨

迹的过程。

[0027] 还示出了车辆106的三个不同的扰动轨迹112,代表车辆106在图1中描绘的场景之后的时间段内可以沿着其行驶的三个潜在路径。本例中的扰动轨迹112(1)、112(2)和112(3)相对于车辆106将从其在图1中描绘的位置行进的转向角速率(例如角速度和/或加速度)而变化。扰动轨迹112(1)描绘了车辆106的最急剧的转向角速率,其中车辆106不紧密接近或穿过道路的中心线114。扰动轨迹112(2)描绘了车辆106的较宽(或不太急剧)的转向角速率,其中车辆106紧密接近但不穿过中心线114。扰动轨迹112(3)描绘了车辆106的更宽的转向角速率,这使得车辆106穿过中心线114,并与车辆102的轨迹104在点116相交。

[0028] 在一些实施方案中,车辆102可以包括车辆安全系统,其包括被配置为执行本文所述的各种碰撞预测和避免技术的各种组件。正如将关于图5进一步详细描述的那样,车辆安全系统534可以被实现为在车辆102内操作的单独和/或独立的系统(例如单独的(多个)计算设备)。在其他示例中,本文描述的碰撞预测和避免技术可以由其他车辆系统、组件和/或计算设备实现。例如,本文所述的某些技术可以至少部分地由规划组件524和/或预测组件526实现或与之相关联。

[0029] 如下面进一步描述的,车辆102可以包括(多个)传感器系统,包括被配置为检测和识别环境100内的对象的传感器。在各种示例中,车辆102还可以接收和使用来自远程传感器的传感器数据,远程传感器例如在另一车辆上操作的传感器和/或在环境100的其他地方安装和操作的传感器(例如交通监控摄像机)。车辆安全系统可以基于由车辆102内或车辆102外部的各种系统捕获的传感器数据接收状态数据(也被称为感知数据)。状态数据可以识别在环境100中检测到的一些对象,并且可以包括各种对象属性,例如对象分类、尺寸、位置、姿势、取向和对象的状态参数(例如速度、偏航率、线性加速度、角加速度等)。此外或替代地,车辆安全系统可以包括一个或多个专用传感器,这些专用传感器被配置为检测车辆102附近的环境100内的对象。这种(多个)传感器可以包括安装在车辆102上的传感器,如照相机、运动检测器、激光雷达、雷达等。

[0030] 尽管在本示例中示出了三个扰动轨迹112,但在其他示例中,车辆安全系统可以确定任何数量的不同轨迹。此外,在这个示例中,扰动轨迹112已经通过改变车辆106的转向角速率来确定。然而,在其他示例中,车辆安全系统可以单独或以任何组合改变任何其他状态参数(例如速度、偏航率、线性加速度、角加速度等),以确定一组扰动轨迹112。

[0031] 另外,尽管本示例描绘了单个对象(例如车辆106)的扰动轨迹112,但在其他实施例中,车辆102的车辆安全系统可以确定环境中多个对象的一组扰动轨迹。例如,车辆102可以为车辆106、车辆108、行人110和/或环境100中的其他移动对象确定扰动轨迹。在一些示例中,车辆安全系统可以分析状态数据,以确定车辆102附近的哪些对象在移动,并且哪些没有移动。然后,车辆安全系统可以确定移动对象(例如汽车、卡车、摩托车等)、行人、骑自行车者、动物和移动的道路障碍物(例如风滚草和碎片等)的扰动轨迹,但不需要确定非移动对象(例如树木、停放的车辆等)的扰动轨迹。在一些实施方案中,车辆安全系统可以对非移动对象执行标准避免碰撞操作,但在确定扰动轨迹和碰撞概率计算时可以不考虑非移动对象。

[0032] 在一些示例中,车辆安全系统可以为车辆102的接近范围内的移动对象确定扰动轨迹,但不为接近范围外的对象确定扰动轨迹。在一些情况下,接近范围可以是距离范围

(例如50米、100米、200米等)和/或时间范围(例如2秒、3秒、...、6秒、...、10秒等),它们对应于车辆102和对象106可能相交的时间。在这种情况下,车辆安全系统可以比较车辆102和车辆106的位置和/或速度,以确定车辆106是否足够接近以确定车辆106的扰动轨迹。在其他示例中,车辆安全系统可以基于车辆102和/或环境100中的其他对象的估计的停止距离来即时确定接近范围。在这种情况下,车辆安全系统可以接收或确定车辆102和/或环境100中的其他对象(例如车辆106)的各种属性,如对象分类、权重、当前速度、制动系统规格等。车辆安全系统可以使用对象属性和其他数据(例如天气、道路条件等)来确定车辆102和/或车辆106的估计的停止距离,并且可以使用估计的停止距离来确定车辆106是否足够接近以确定车辆106的扰动轨迹。

[0033] 如上所述,图1描绘了车辆轨迹104和车辆106的扰动轨迹112(3)之间的交点116。为了确定车辆轨迹和对象的扰动轨迹之间的相交,这样的系统可以比较生成的轨迹路径和/或坐标集,并且可以比较在共同的坐标系内的轨迹以检测任何重叠点。尽管图1的示例将轨迹104和112(3)被描绘为线,并将交点116描绘为单点,但在其他示例中,车辆安全系统可以将车辆/对象轨迹确定为具有通过环境100的推断运动路径的二维或三维多边形对象。例如,车辆安全系统可以基于车辆和(多个)对象的各自的尺寸和形状,为车辆和环境100中的其他(多个)对象确定边界框。车辆安全系统可以通过基于环境100的虚拟坐标系来推断边界框的运动,包括基于车辆/对象的取向改变边界框的角度和/或在边界框周围应用可选的安全缓冲区。在这样的示例中,当确定的车辆/对象的轨迹相交时,车辆安全系统可以基于虚拟坐标系中代表车辆和对象的边界框的推断运动,将相交定义为多边形碰撞区。如下文所述,车辆安全系统然后可以基于车辆和碰撞区中的(多个)对象的进入和退出时间,确定车辆102和碰撞区中的(多个)对象之间的时间-空间重叠的量,以预测潜在碰撞。

[0034] 图2A和图2B分别示出了环境200A和200B,它们可以与环境100相似或相同,其中车辆102的车辆安全系统可以基于车辆102的轨迹104和诸如车辆106的对象的扰动轨迹112(3)确定潜在碰撞。

[0035] 在一些示例中,车辆安全系统可以确定与车辆102和对象车辆106相关联的尺寸和/或空间区域,并且可以使用这些尺寸或区域以及车辆轨迹来确定车辆102和106之间潜在碰撞的可能性或似然性。如图2A所示,在一些示例中,车辆安全系统可以确定与车辆102相关联的边界框202,以及与目标车辆106相关联的边界框204。边界框202和204可以基于各车辆的尺寸(例如长度、宽度和高度)和形状,包括代表车辆102和106周围的安全距离的安全缓冲区,以避免碰撞。例如,车辆安全系统可以基于沿其感知轨迹的车辆106的感知边缘(最前和最后的点,最左和最右的点)来确定对象车辆106的边界框204的尺寸,包括围绕车辆106的感知边缘的附加安全缓冲区。在各种示例中,用于边界框202和204的安全缓冲区的尺寸和形状可以取决于车辆102和106的尺寸、速度、类型或其他特征。例如,较大的安全缓冲区可用于较高速度的车辆、较脆弱的车辆/对象(例如自行车或行人),或用于车辆安全系统对对象车辆106的尺寸、形状、轨迹或其他状态参数的感知数据的置信度较低的场景中。

[0036] 在图2A中,车辆102和106的各自的边界框202和204被示出在第一(当前)时间$t_0$,并且然后作为当前时间之后的多个不同时间间隔的推断。在这个示例中,示出了车辆102在当前时间的第一边界框202(t0),以及示出了基于车辆102的规划轨迹,从当前时间向前移动的定期时间间隔处一系列推断边界框202($t_1$)、202($t_2$)、202($t_3$)和202($t_4$)。类似地,基于

车辆106在当前时间的感知状态，示出第一边界框204($t_0$)，并基于对象车辆106的扰动轨迹112(3)，在相同的时间间隔($t_1$和$t_2$)示出一系列推断边界框204($t_1$)和204($t_2$)。如本例所示，车辆安全系统在计算后续时间间隔的边界框202和204的推断区域时，还可以考虑预期的车辆机动(例如转弯)以及对车辆102和106的取向和位置的相应影响。

[0037] 在一些示例中，车辆安全系统可以在每个时间间隔比较与边界框202和204相关联的区域，以确定是否存在任何重叠，这可能指示车辆102和106之间的相交或潜在碰撞。例如，车辆安全系统可以比较边界框202($t_1$)和204($t_1$)的尺寸、形状和位置，以确定在时间$t_1$时是否存在重叠，类似地，比较边界框202($t_2$)和204($t_2$)，以确定在时间$t_2$时是否存在重叠，等等。如图2A所示，在任何时间间隔内，边界框202和204之间都没有重叠，并且因此车辆安全系统可以确定车辆102和106之间不可能发生相交和/或潜在碰撞。

[0038] 相反，在图2B中，车辆安全系统可以基于车辆102的规划轨迹104来确定第一系列推断的边界框206($t_1$)、206($t_2$)和206($t_3$)，并且基于对象车辆106的扰动轨迹112(3)确定第二系列的推断边界框208($t_1$)、208($t_2$)和208($t_3$)。如本例所示，边界框206($t_2$)和208($t_2$)之间存在重叠，表明在时间$t_2$或接近$t_2$时，车辆102和106之间可能发生潜在碰撞。

[0039] 尽管上述示例描述了通过在离散的时间间隔推断边界框来确定潜在碰撞，但在其他示例中车辆安全系统可以实施各种其他技术。例如，在一些情况下，车辆系统安全可以基于每个车辆102和106的各自轨迹104和112(3)确定其推断路径多边形或自由形态走廊，并且可以在基于路径多边形(或走廊)的重叠而确定的潜在碰撞区域内执行时间-空间重叠分析。例如，如2018年9月19日提交的题为“车辆的碰撞预测和避免”的美国专利申请第16/136,038号中更详细地描述的那样，该申请的全部内容因所有目的通过引用而并入本文，车辆102和106之间的潜在碰撞区可以基于轨迹104和轨迹112(3)之间的(多个)相交点，以及与车辆102和106相关联的一个或多个偏移距离。车辆安全系统可以基于车辆102和106的长度和/或宽度确定偏移距离，并且还可以应用安全缓冲区或代表与对象(例如车辆106)的安全距离的任何其他距离，在该安全距离上车辆102将不会发生碰撞。例如，车辆安全系统可以基于车辆102的推断运动走廊和车辆106的推断运动走廊的重叠，计算用于定义潜在碰撞区的尺寸的(多个)偏移距离，其中对轨迹104和112(3)的交点116之前和之后的点执行测量。在各种示例中，运动走廊的大小可以从车辆102和106的中心和/或从车辆102和106沿其轨迹的最前面和最后面的点测量。在计算潜在碰撞区的偏移距离时，车辆安全系统还可以考虑到车辆机动(例如转弯)和对车辆的位置的相应影响。

[0040] 车辆安全系统还可以确定车辆102和106的进入和退出点和时间，对应于车辆的边界框和潜在碰撞区之间的重叠的第一点和最后点。例如，车辆102可以具有进入潜在碰撞区的进入点和退出潜在碰撞区的退出点，而车辆106可以分别具有单独的进入点和退出点。在一些示例中，车辆轨迹104和/或扰动轨迹112(3)可以被定义为一系列的轨迹样本点。在这样的示例中，车辆安全系统可以通过识别与潜在碰撞区的边界相交之前的最后一个轨迹样本点和与潜在碰撞区的边界相交之后的第一个轨迹样本点来确定车辆102和车辆106的进入点和退出点。

[0041] 定义潜在碰撞区尺寸的(多个)偏移距离可以由车辆安全系统基于预定义的距离(例如常数值)来确定，例如已知或感知的车辆102和106的长度和宽度，和/或缓冲值。在一些情况下，车辆安全系统可以在交点116之前，相对于车辆轨迹104和112(3)确定偏移距离，

这可能与在交点116之后基于轨迹104和112(3)确定的距离相同或不同。作为说明,车辆102的进入点可以代表在交点116之前沿轨迹104有10英尺偏移距离的位置,而车辆102的退出点可以代表在交点116之后沿轨迹104有5英尺偏移距离的位置。类似地,车辆106的进入点可以代表在交点116之前沿轨迹112(3)有12英尺偏移距离的位置,而车辆106的退出点210可以代表在交点116之后沿轨迹112(3)有8英尺偏移距离的位置。应该理解,这些偏移距离只是示例,而在其他示例中,车辆安全系统可以基于安全缓冲区、对象类型和取向、碰撞冲击角度和/或其他各种因素确定不同的偏移距离。

[0042] 图3A和图3B描绘了图300A和300B,示出了在潜在碰撞区304内车辆302和对象306之间的时间-空间重叠分析的两个示例。车辆302可以与车辆102相似或相同,而对象306可以是第二车辆(例如车辆106)或环境中的任何其他移动对象。

[0043] 如上所述,车辆302内的车辆安全系统可以执行时间-空间重叠分析,以确定在潜在碰撞区304内车辆302和对象306之间发生碰撞的风险。现在参考图3A,图300A描绘了车辆安全系统的分析和确定,即车辆302和对象306可能相交(或碰撞),或基于在潜在碰撞区304内车辆302和对象306的轨迹之间的时间-空间重叠,存在相交/碰撞的高风险。在一些示例中,车辆安全系统可以通过计算和比较车辆302和对象306进入和退出潜在碰撞区304的进入点和退出点来确定可能发生相交。例如在图3A中,位置线308代表车辆302的规划轨迹,并表示车辆302可能在时间312进入潜在碰撞区304,并且在时间314退出潜在碰撞区304。在这个示例中,位置线310代表对象306的扰动轨迹,表明对象306可能在时间316进入潜在碰撞区304,并且在时间318退出潜在碰撞区304。基于在潜在碰撞区304内车辆302和对象306的时间窗口的重叠和/或潜在碰撞区304内位置线308和310之间的交点320,车辆安全系统可以确定代表车辆302和对象306之间潜在碰撞的相交。

[0044] 在上述示例中,车辆安全系统可以基于车辆302的单一轨迹(对应于位置线308)和对象306的单一扰动轨迹(对应于位置线310)来确定时间-空间重叠。在其他示例中,车辆安全系统可以接收或确定与车辆302和/或对象306相关联的多个潜在速度。例如现在参考图3B,图300B描绘了车辆安全系统进行的分析和确定,即基于预测车辆302和对象306进入和退出潜在碰撞区304的时间,车辆302和对象306不会相交(或碰撞),或者相交/碰撞的风险很低。在这个示例中,车辆安全系统使用基于车辆302和对象306可能行驶到和通过潜在碰撞区304的不同可能速度的位置锥322和324来分析在潜在碰撞区304内车辆302和对象306的轨迹之间的时间-空间重叠。如本例所示,车辆安全系统可以基于车辆302的规划轨迹和车辆302沿其规划轨迹可能采取的最小和最大速度的估计来确定车辆位置锥322。同样,车辆安全系统可以基于对象306的扰动轨迹和对对象306沿其规划轨迹可能采取的最小和最大速度的估计,确定对象位置锥324。在这个示例中,车辆位置锥322和对象位置锥324在潜在碰撞区304内不重叠,并且车辆安全系统可以基于位置锥322和324的不重叠来确定车辆302和对象306不会相交,或者确定相交/碰撞的风险很低。此外,在一些示例中,时间-空间重叠可以表示为与基于时间的车辆302和对象306的可能位置相关联的一个或多个概率密度函数(PDF)。

[0045] 在一些实施方案中,车辆安全系统可以确定车辆302和对象306的二元碰撞预测(例如碰撞或不碰撞)。此外或替代地,车辆安全系统可以将碰撞预测确定为概率,或确定为与置信度水平相结合的二元预测。例如,车辆安全系统可以基于对象306退出潜在碰撞区

304时和车辆302进入潜在碰撞区304时之间的时间(T)确定碰撞概率和/或碰撞预测置信度水平,或反之亦然。对于相对较小的非重叠时间段(T),车辆安全系统可以预测较高的碰撞概率和/或针对车辆302和对象306之间不发生碰撞的预测的较低的预测置信度水平。相反,对于较大的非重叠时间段(T),车辆安全系统可以预测较低的碰撞概率和/或针对车辆302和对象306之间不发生碰撞的预测的较高的置信度水平。

[0046] 图4示出了在环境400内移动的车辆106。在这个示例中,车辆106可以是被包括车辆安全系统的车辆102检测到的对象车辆。在这个示例中,车辆102的车辆安全系统已经基于对为车辆106确定的加速度参数和转向角速率参数的扰动,为车辆106确定了多个扰动轨迹402。如上所述,车辆安全系统可以接收或确定车辆106和环境400内其他移动对象的对象状态数据和/或属性,包括车辆106的分类、车辆106的位置和取向/姿势以及车辆106的当前感知状态参数(例如速度、加速度、偏航率、转向角速率等)。

[0047] 使用为车辆106接收或确定的感知状态参数,车辆安全系统可以确定车辆106的扰动轨迹402。在一些示例中,车辆安全系统可以通过基于一个或多个扰动参数对车辆106的一个或多个感知状态参数进行扰动(或修改)的量来确定扰动轨迹。图4中的示例说明车辆102的车辆安全系统已经接收或确定了对象车辆106的感知加速度(a),并且基于加速度扰动参数(p),车辆安全系统已经生成了两个扰动加速度值(a-p.a+p)。此外,在这个示例中,车辆安全系统已经接收或确定了对象车辆106的感知转向速率(v),并且基于单独的转向速率扰动参数(q),车辆安全系统已经生成了两个扰动的转向速率值(s-q,s+q)。仅为说明目的,加速度扰动参数(p)可以是+/-0.5米/秒2(m/s2),1.0m/s2,1.5m/s2等等,而转向速率扰动参数(q)可以是+/-0.1梯度每秒(g/s),0.2g/s,0.3g/s等等。车辆安全系统可以通过使用扰动参数修改感知加速度和转向角速率值来确定一组扰动加速度值(a-p,a,a+p)和一组扰动转向角速率值(s-q,s,s+q),从而确定扰动值。然后,车辆安全系统可以基于每个扰动加速度值和每个扰动转向角速率的唯一组合来确定扰动轨迹。在这个示例中,车辆安全系统基于三个扰动加速度和三个扰动转向角速率的组合,确定九个扰动轨迹402(1)-402(9)。

[0048] 尽管本示例示出了通过扰动(或修改)车辆106的感知加速度和转向角速率来确定不同的扰动轨迹,但在其他示例中,车辆安全系统可以扰动车辆106的其他属性,包括车辆106的一个或多个状态参数(例如速度、偏航、偏航速率、转向角速率、线性和/或角加速度等)的任何组合。车辆安全系统还可以通过扰动其他感知数据来确定扰动轨迹,其他感知数据如车辆106的位置、车辆106的取向(例如姿势)、车辆106的大小或分类等。

[0049] 此外,尽管在本示例中描绘了九个扰动轨迹402,但是在各种其他示例中车辆安全系统可以确定任意数量的轨迹。例如,对于状态参数(例如加速度(a)),车辆安全系统可以确定一组扰动加速度值,包括a加以及减加速度扰动参数(p)、a加以及减2*p、a加以及减3*p,等等。在一些示例中,车辆安全系统可以确定对象的呈束状的扰动轨迹,如图4所示,并且在其他示例中,对扰动轨迹的计算可以在环境中更均匀地分布。例如,车辆安全系统可以计算车辆106的相邻扰动轨迹402之间的距离,以验证每两个相邻扰动轨迹402之间的空间小于车辆102的尺寸(例如宽度)。在一些示例中,车辆安全系统可以基于移动对象的动力学和/或运动学能力来确定扰动数值组的外部极限。例如,可以基于车辆的类型或分类(例如汽车、卡车、摩托车、自行车、行人等)以及与车辆106的特定类型或分类相关联的一组预定加速度和转向能力和/或似然性,来确定一组车辆106的扰动加速度值和扰动转向角速率

值。此外，在一些示例中，车辆安全系统可以基于车辆106的能力范围来改变或限制扰动值的数量。例如，如果车辆106的感知加速度和/或转向角速率处于或接近车辆106的加速度和/或转向速率能力，则车辆安全系统可以排除超出车辆106的加速度和/或转向速率能力的任何扰动轨迹。

[0050] 图5是用于实现本文所述技术的示例系统计算500的框图。在至少一个示例中，计算系统500可以包括车辆502，例如车辆102。

[0051] 在一些示例中，车辆502可以是无人驾驶车辆，例如构造为根据美国国家公路交通安全管理局颁布的5级分类操作的自主车辆，所述分类描述了能够执行对于整个旅程来说所有安全性关键功能的车辆，其中，不期待驾驶员(或乘员)在任何时候控制车辆。在这样的示例中，因为车辆502可以被配置为控制从旅行开始到结束的所有功能，包括所有停车功能，所述车辆可能不包括驾驶员和/或驾驶车辆502的控制装置，如方向盘、加速踏板和/或制动踏板。这仅仅是示例，并且本文描述的系统和方法可以被纳入任何陆运、空运或水运的车辆，包括从需要一直由驾驶员手动控制的车辆到部分或完全自主控制的车辆的范围。

[0052] 车辆502可以包括一个或多个车辆计算设备504、一个或多个传感器系统506、一个或多个发射器508、一个或多个通信连接510、至少一个直接连接512、以及一个或多个驱动系统514。

[0053] (多个)车辆计算设备504可包括一个或多个处理器516和与一个或多个处理器516通信耦合的存储器518。在图示的示例中，(多个)车辆计算设备504的存储器518存储了定位组件520、感知组件522、规划组件524、预测组件526、一个或多个系统控制器528、和一个或多个地图530。

[0054] 另外，车辆502可以包括车辆安全系统534，包括对象轨迹组件540、相交组件542、概率组件544和动作组件546。如本示例所示，车辆安全系统534可以与(多个)车辆计算设备504分开实施，例如，为了提高车辆安全系统的性能，和/或提供由(多个)车辆计算设备504确定的确定和/或命令的冗余性、错误检查和/或验证。然而，在其他示例中，车辆安全系统534可以作为相同的(多个)车辆计算设备504内的一个或多个组件来实现。

[0055] 作为示例，(多个)车辆计算设备504可以被认为是主系统，而车辆安全系统534可以被认为是辅助系统。主系统通常可以执行处理以控制车辆在环境中如何机动的方式。主系统可以实现各种人工智能(AI)技术，例如机器学习，以了解车辆502周围的环境和/或指示车辆502在环境中移动。例如，主系统可以实施AI技术来定位车辆、检测车辆周围的对象、分割传感器数据、确定对象的分类、预测对象轨迹、为车辆502和车辆周围的对象生成轨迹，等等。在一些示例中，主系统可以在传感器系统506内处理来自车辆上多种类型的传感器的数据，例如光检测和测距(lidar)传感器、雷达传感器、图像传感器、深度传感器(飞行时间、结构光等)、相机等。

[0056] 在一些示例中，车辆安全系统534可以作为单独的系统操作，该系统基于传感器数据和由主系统(例如(多个)车辆计算设备504)实现的AI技术接收状态数据(例如感知数据)，并且可以执行本文描述的用于改善车辆502进行的碰撞预测和避免的各种技术。如本文所述，车辆安全系统534可以实施用于确定扰动轨迹和基于扰动轨迹预测相交/碰撞的技术，以及基于车辆和/或车辆周围对象的定位、速度、加速度等的概率技术。在一些示例中，车辆安全系统534可以处理来自传感器的数据，例如由主系统处理的传感器数据的子集。举

例来说，主系统可以处理激光雷达数据、雷达数据、图像数据、深度数据等，而车辆安全系统534可以只处理激光雷达数据和/或雷达数据(和/或飞行时间数据)。然而在其他示例中，车辆安全系统534可以处理来自任何数量的传感器的传感器数据，例如来自每个传感器的数据，来自与主系统相同数量的传感器的数据，等等。

[0057] 包括主计算系统和辅助计算系统的车辆架构的其他示例可以在例如题为“感知碰撞避免”并于2018年11月13日提交的美国专利申请第16/189726号中找到，其全部内容出于所有目的在此通过引用而纳入本文。

[0058] 虽然在图5中被描绘为驻留在存储器518中以用于说明性目的，但可以设想，定位组件520、感知组件522、规划组件524、预测组件526、系统控制器528和地图530可以附加地或替代地被车辆502访问(例如存储在远离车辆502的存储器上，或以其他方式被其访问，例如远程计算设备550的存储器554上)。类似地，虽然对象轨迹组件540、相交组件542、概率组件544和/或动作组件546被描绘为驻留在车辆安全系统534的存储器538中，但这些组件中的一个或多个可以另外或替代地在(多个)车辆计算设备504中实现，或者可以被车辆502访问(例如存储在远离车辆502的存储器上，或以其他方式被其访问，例如在远程计算设备550的存储器554上)。

[0059] 在至少一个示例中，定位组件520可以包括从(多个)传感器系统506接收数据的功能，用于确定车辆502的位置和/或取向(例如x-位置、y-位置、z-位置、侧倾、俯仰或偏航中的一个或多个)。例如，定位组件520可以包括和/或请求/接收环境的地图，并且可以连续确定自主车辆在地图中的位置和/或取向。在一些情况下，定位组件520可以利用SLAM(同时定位和绘图)、CLAMS(同时校准、定位和绘图)、相对SLAM、捆绑调整、非线性最小二乘法优化等来接收图像数据、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确定自主车辆的位置。在一些情况下，定位组件520可向车辆502的各种组件提供数据以确定车辆的初始位置和/或轨迹，如本文所述。

[0060] 在一些情况下，感知组件522可包括用于执行物体检测、分段和/或分类的功能。在一些示例中，感知组件522可以提供经处理的传感器数据，所述传感器数据表明靠近车辆502的对象(例如实体或代理)的存在和/或将该对象分类为对象类型(例如汽车、行人、骑自行车的人、动物、建筑物、树、路面、路缘、人行道、未知等)。在一些示例中，感知组件522可以提供经处理的传感器数据，所述传感器数据表明靠近车辆502的静态实体的存在和/或将静态实体分类为类型(例如建筑物、树、路面、路缘、人行道、未知等)。在附加的或替代的示例中，感知组件522可以提供经处理的传感器数据，所述传感器数据表明与检测到的对象(例如被跟踪的对象)和/或对象所处的环境相关联的一个或多个特征。在一些示例中，与对象相关联的特征可以包括但不限于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)、取向(例如侧倾、俯仰、偏航)、对象的范围(尺寸)、对象类型(例如分类)和状态参数，例如对象的速度、对象的加速度、对象的转向角速率和/或角加速度等等。与环境相关联的特征可以包括但不限于环境中其它对象的存在、环境中其它对象的状态、一天中的某个时间、一周中的某一天、季节、天气状况、道路状况、黑暗/光线的指示等。

[0061] 一般来说，规划组件524可以确定车辆502要遵循的以穿越环境的路径。例如，规划组件524可以确定各种路线和轨迹以及各种级别的细节。例如，规划组件524可以确定从第

一位置(例如当前位置)行驶到第二位置(例如目标位置)的路线。为了本文讨论的目的,路线可以包括在两个定位之间行进的路径点的序列。作为非限制性的示例,路径点包括街道、十字路口、全球定位系统(GPS)坐标等。进一步地,规划组件524可以生成用于引导自主车辆沿着从第一位置到第二位置的路线的至少一部分的指令。在至少一个示例中,规划组件524可以确定如何引导车辆502从路径点序列中的第一路径点到路径点序列中的第二路径点。在一些示例中,该指令可以是轨迹、或轨迹的一部分。在一些示例中,可以根据滚动时域技术基本上同时生成多条轨迹(例如在技术公差范围内),其中多条轨迹中的一条轨迹被选择用于车辆502已进行导航。

[0062] 在一些示例中,预测组件526可以生成环境中其他对象(例如代理)的扰动轨迹。例如,预测组件526,其在一些情况下可以在规划组件524内实施,可以为距离车辆502的阈值距离内的对象生成一个或多个扰动轨迹。在一些示例中,预测组件526可以测量对象(例如车辆106)的迹线,并基于观察的和预测的行为为该对象生成轨迹。

[0063] 在至少一个示例中,(多个)车辆计算设备504可以包括一个或多个系统控制器528,其可以被配置为控制车辆502的转向、推进、制动、安全、发射器、通信和其他系统。这些(多个)系统控制器528可以与(多个)驱动系统514和/或车辆502的其他部件的相应系统通信和/或对其进行控制。

[0064] 存储器518可以进一步包括可由车辆502用于在环境中导航的一个或多个地图530。就本讨论而言,地图可以是以二维、三维或N维建模的任何数量的数据结构,其能够提供关于环境的信息,例如但不限于拓扑结构(例如十字路口)、街道、山脉、道路、地形和一般环境。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,单个“面元”(例如与单个颜色和/或强度相关联的多边形))、反射率信息(例如镜面性信息、逆反射率信息、BRDF(双向反射分布函数)信息、BSSRDF(双向散射表面反射分布函数)信息等)。在一个示例中,地图可以包括环境的三维网格。在一些示例中,车辆502可以至少部分地基于地图530而被控制。也就是说,地图530可以与定位组件520、感知组件522、规划组件524和/或预测组件526结合使用,以确定车辆502的位置、检测环境中的对象、和/或生成路线和/或轨迹以在环境中导航。

[0065] 在一些示例中,一个或多个地图530可以存储在能通过(多个)网络560访问的(多个)远程计算设备(例如(多个)计算设备550)上。在一些示例中,可以基于例如特征(例如实体的类型、一天中的某个时间、一周中的一天、一年中的季节等)来存储多个地图530。存储多个地图530可以有类似的存储器要求,但增加了地图中的数据可以被访问的速度。

[0066] 车辆安全系统534可以包括对象轨迹组件540,其被配置为使用本文描述的各种系统和技术来确定车辆502的轨迹和/或在环境内识别其他对象的扰动轨迹。在一些示例中,对象轨迹组件540可以从组件522-526接收规划数据、预测数据、感知数据和/或地图数据,以确定车辆502的规划轨迹和环境中其他对象的扰动轨迹。

[0067] 在一些示例中,对象轨迹组件540可以将轨迹确定为路径多边形,该路径多边形包括多个点,并且代表车辆502和/或其他对象通过环境的规划路径的二维表示。路径多边形可以表示为成对的点,代表正在确定轨迹的车辆502或对象的左和右边界(或最外缘)。在一些示例中,左和右边界(例如最小距离)可以另外包括车辆502或对象的最外缘之外的缓冲

区。此外，定义轨迹的路径多边形或其他点集可以基于车辆502或其他对象的机动性(例如转弯)来单独调整。在这样的示例中，对象轨迹组件540可以基于机动性向外调整轨迹的点对的左点和/或右点的距离(例如3英寸、5英寸、8英寸等)。在各种示例中，左点和/或右点可以基于与转弯相关联的曲率半径向外调整距离。

[0068] 在各种示例中，对象轨迹组件540可以生成代表轨迹的一组单点和/或相关联点对(例如对于路径多边形)。如图4所示，在一些示例中，用于单个轨迹的点对和/或单点可以以一致的间隔(例如0.2秒的间隔、0.5秒的间隔等)彼此相隔。在一些示例中，点对和/或单点可以以不同的时间间隔彼此分开。在各种不同的示例中，点对和/或单点可以在长度上(例如沿着路径的长度)以彼此相等的距离表示。在这样的示例中，点对的每个左/右点可以与点对的下一个左/右点保持预定的距离(例如1米、3英尺、18英寸等)。在一些示例中，点对可以在长度上处于彼此不同的距离。在各种示例中，距离可以基于车辆/对象机动动作、速度、环境中的交通密度和/或影响确定车辆502或对象的轨迹的其他因素来确定。

[0069] 在一些示例中，对象轨迹组件540确定车辆502的单一规划轨迹(例如基于从规划组件524和地图530接收的规划数据和地图数据)，并且可以确定车辆502操作所处环境中的一个或多个其他移动对象(例如车辆106)的多个扰动轨迹。在一些示例中，另一个对象的轨迹可以包括该对象可能从当前位置(例如在感知时)和/或基于行驶方向行驶的任何数量的可能路径。例如，如本文所述，对象轨迹组件540可以通过确定并随后扰动对象的一个或多个感知状态参数(例如速度、加速度、转向角速率等)来确定多个扰动轨迹。在一些示例中，对象轨迹组件540可以从感知组件522接收关于环境中(多个)对象的数据。在一些示例中，对象轨迹组件540可以确定对象在车辆502的阈值距离(例如一个街区、200米、300英尺等)或阈值时间(例如2秒、3秒、6秒等)之内。基于对代理在距车辆502的阈值距离或时间内的确定，对象轨迹组件540可以确定与对象相关联的轨迹。在一些示例中，对象轨迹组件540可以被配置为确定环境中每个检测到的移动对象的可能轨迹。

[0070] 在各种示例中，相交组件542可以使用本文所述的各种技术来确定车辆502的轨迹和/或环境中其他对象的一个或多个扰动轨迹之间的相交，以确定环境中是否可能存在潜在碰撞区。潜在碰撞区可包括区域，在该区域中，基于(多个)路径多边形和轨迹，车辆502和对象(例如车辆106)之间可能发生碰撞。在至少一些示例中，对象的扰动轨迹和对象属性(例如对象大小、位置、取向、姿势等)可用于计算对象的对象多边形。在这样的示例中，碰撞区可以由车辆502的路径多边形和其他对象的对象多边形之间的重叠区域定义。

[0071] 在一些示例中，如果与车辆502相关联的轨迹同与对象相关联的至少一个扰动轨迹相交，则潜在碰撞区可能存在于车辆502和对象之间。在各种示例中，相交组件542可以基于车辆和对象轨迹在阈值距离内(例如2英尺、3英尺、4米、5米等)确定车辆502和对象之间可能存在潜在碰撞区。在一些示例中，阈值距离可以基于预先定义的距离。在各种示例中，阈值距离可以基于车辆和/或对象的已知或感知的宽度来确定。在一些示例中，阈值距离可以进一步确定缓冲区，它可以代表车辆502和/或对象周围的安全缓冲区。

[0072] 在一些示例中，相交组件542可以基于已知的或感知的车辆和对象的宽度，从车辆502和对象的中心分别扩展车辆轨迹和/或对象的扰动轨迹的边缘。如果车辆轨迹(或路径多边形)和对象轨迹(或路径多边形)的扩大宽度在最小允许距离(例如3英寸、5英寸、1英尺)内相交和/或通过，则相交组件542可确定潜在碰撞区存在。如果车辆轨迹和/或路径多

边形的扩展宽度不相交和/或通过超过最小允许距离，则相交组件542可确定碰撞区不存在。最小允许距离可以基于车辆中是否有乘客、环境中道路的宽度、乘客舒适度和/或反应、乘客的学习容忍度、当地驾驶礼仪或类似情况。

[0073] 在各种示例中，基于可能存在潜在碰撞区的确定，相交组件542可以被配置为确定潜在碰撞区的边界。在一些示例中，潜在碰撞区可以包括四个要素，车辆进入点、车辆退出点、对象进入点和对象退出点。车辆502和对象进入和退出点中的每一个可以包括位置和距离。对象进入点和对象退出点可包括沿对象轨迹的轨迹样本，如轨迹样本。在一些示例中，对象进入点和代理退出点可以代表不存在碰撞风险的轨迹样本。在各种示例中，对象进入点位置可以通过识别在与车辆502的轨迹或路径多边形相交(例如会聚)之前与对象的扰动轨迹相关联的最后一个轨迹样本来确定。在一些示例中，可以通过识别与对象的扰动轨迹和车辆502的轨迹或路径多边形之间会聚之后的对象轨迹相关联的第一轨迹样本来确定对象进入点位置。与对象进入点和对象退出点相关联的距离可以从各自的位置中得出，作为沿轨迹的距离。

[0074] 相交组件542可以基于车辆轨迹或路径多边形之前以及之后的偏移距离确定车辆进入点和车辆退出点位置。在一些示例中，偏移距离可包括垂直于车辆502的轨迹测量的距离。在一些示例中，偏移距离可包括沿轨迹之前和之后的路径多边形(例如车辆路径)测量的距离。在各种示例中，偏移距离可以从路径多边形的中心测量。在一些示例中，偏移距离可以从车辆沿路径多边形的最前点测量。在这样的示例中，偏移距离可以考虑到车辆的机动性(例如转弯)以及其对车辆502位置的影响。

[0075] 如上所述，在各种实例中，相交组件542可以对一个或多个潜在碰撞区(其边界，例如车辆和对象的进入和退出点)执行时间-空间重叠分析。在各种示例中，时间-空间重叠可以表示为与预测的或扰动的对象轨迹和车辆502的规划轨迹相关联的位置锥。在各种示例中，相交组件542可以被配置为确定车辆位置锥和代理位置锥。车辆位置锥可以基于车辆502沿规划轨迹(例如路径多边形)通过潜在碰撞区的可能速度来确定。对象位置锥可以基于代理沿着与潜在碰撞区相关联的对象的扰动轨迹的可能速度来确定。

[0076] 在各种示例中，对象的可能速度可以从相交组件542的可能加速度(例如正和负加速度)得出。加速度可以包括基于快速行为模型(例如攻击性行为)的正加速度和基于慢速行为模型(例如保守行为)的负加速度。在各种示例中，与对象相关联的正加速可以基于交通法规、道路规则、当地驾驶礼仪、交通模式、代理的语义分类，或类似情况。在一些示例中，正加速可以代表基于初始速度的环境中可能出现的正加速的最大量。在各种示例中，与对象相关联的负加速度可以代表例如基于对象的初始速度的环境中可能出现的负加速度的最大量。

[0077] 在各种示例中，相交组件542可以确定对象和车辆502各自相对于潜在碰撞区的位置线(例如308和310)和/或位置锥(例如322和324)。车辆502和对象的位置线和/或锥可以基于相对于潜在碰撞区的对象进入时间、对象退出时间、车辆进入时间和车辆退出时间。对于对象和车辆位置锥322和324，相交组件542可以基于各自的最大速度来确定对象进入时间和车辆进入时间。在这样的示例中，进入潜在碰撞区的进入时间可能与最具攻击性的速度估计相关联。在各种示例中，对象退出时间和车辆退出时间可与各自的最小速度相关联。在这样的示例中，关于潜在碰撞区的退出时间可能与最具保守性的速度估计相关联。

[0078] 在一些示例中，时间-空间重叠可以表示为与基于时间的对象的可能位置相关联的一个或多个概率密度函数。对象的可能位置可以从可能的加速度以及由此得出的速度和/或其他系统或子系统(例如预测系统，其可以是例如感知组件522的子系统)的输出得出。概率密度函数可以表示攻击性和保守的驾驶速度，以及基于对象加速度的不确定性，例如基于交通法规、道路规则、当地驾驶礼仪、交通模式、代理的语义分类等的不确定性。概率密度函数可以代表与对象相关联的二维区域或三维区域。概率密度函数的曲线下的面积的总和可以等于1。

[0079] 在各种示例中，概率组件544可以基于由相交组件542执行的时间-空间重叠分析，确定车辆502和/或其他对象(例如车辆106)之间的碰撞的预测和/或碰撞的概率/风险。在一些示例中，概率组件544可以基于车辆502的单一轨迹和对象的单一扰动轨迹，基于车辆502和对象的位置线和/或位置锥相对于潜在碰撞区的重叠，确定碰撞的概率。例如，基于位置线在潜在碰撞区的重叠位置，和/或位置锥之间的重叠量(例如时间间隙、锥重叠的百分比等)，概率组件544可以确定碰撞风险可能相对较高、中等或较低。

[0080] 此外，使用本文描述的各种技术，概率组件544还可以基于车辆502的规划轨迹和对象的多个扰动轨迹，确定车辆502和对象之间的碰撞概率。例如，相交组件542可以分析对象的多个扰动轨迹(例如基于对象状态参数的扰动)，并且概率组件544可以基于分析多个扰动轨迹的结果确定单一碰撞预测。在一些情况下，概率组件544可以基于对象的扰动轨迹的百分比(或比率)来确定碰撞概率，该对象的扰动轨迹基于规划车辆轨迹被确定为与车辆502相交或碰撞。

[0081] 在一些实施方案中，概率组件544还可以确定与对象的多个扰动轨迹中的每一个相关联的轨迹概率。仅作为示例，上文参考图4描述的用于车辆106的扰动轨迹402中的每一个可以具有相关联的轨迹概率。轨迹概率可以指对象(例如车辆106)将遵循扰动轨迹的概率。在一些示例中，概率组件544还可以确定一些扰动轨迹402比其他轨迹更有可能被车辆106遵循，并且可以将不同的概率分配给不同的扰动轨迹。在这样的示例中，概率组件544可以使用不同的轨迹概率来对扰动轨迹的分析结果进行加权，和/或对总体碰撞概率计算进行加权，以有利于更有可能的扰动轨迹，而不利于不太可能的扰动轨迹。例如，如下所述，概率组件544可以执行基于观察到的运动模式和其他车辆行为的规则和/或模型，以确定更有可能或不太可能的扰动轨迹。

[0082] 在各种示例中，动作组件546可以基于对车辆502与另一对象(例如车辆106)之间的碰撞的预测和/或概率确定，以及其他因素，确定车辆502要采取的一个或多个动作。动作可以包括放慢车辆以让步于对象，停止车辆以让步于该对象，改变车道或向左转，或改变或向右转车道，等等。基于确定的动作，(多个)车辆计算设备504，例如通过(多个)系统控制器528，可以使车辆502执行动作。在至少一些示例中，这样的动作可以基于碰撞的概率，该碰撞的概率由概率组件544基于对象的多个扰动轨迹确定，如详细描述地。在各种示例中，响应于确定调整车辆的横向位置，例如在向左或向右变道时，车辆安全系统534可以使组件540-546生成更新的车辆轨迹(或路径多边形)，相对于更新的车辆轨迹绘制附加的对象轨迹，确定更新的潜在碰撞区，并执行时间-空间重叠分析以确定在车辆502执行确定的动作之后是否可能仍然存在碰撞风险。

[0083] 可以理解，本文讨论的组件(例如定位组件520、感知组件522、规划组件524、预测

组件526、一个或多个系统控制器528、一个或多个地图530、以及包括对象轨迹组件540、相交组件542、概率组件544和动作组件546的车辆安全系统534)被描述为针对说明性目的而划分。然而,由各个组件执行的操作可以在任何其他组件中组合或执行。

[0084] 在一些情况下,本文讨论的组件的部分或全部的方面可以包括任何模型、技术和/或机器学习技术。例如,在一些情况下,存储器518和538(以及下文讨论的存储器554)中的组件可以实现为神经网络。

[0085] 在至少一个示例中,(多个)传感器系统506可以包括激光雷达传感器、雷达传感器、超声波传感器、声纳传感器、位置传感器(例如GPS、指南针等)、惯性传感器(例如惯性测量单元(IMU)、加速计、磁力计、陀螺仪等)、相机(例如RGB、IR、强度、深度、飞行时间等)、麦克风、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。(多个)传感器系统506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502的拐角、前面、后面、侧面和/或顶部的单个激光雷达传感器。作为另一示例,摄像头传感器可以包括布置在关于车辆502的外部和/或内部的不同位置的多个摄像头。(多个)传感器系统506可以向(多个)车辆计算设备504提供输入。此外或替代地,(多个)传感器系统506可以通过一个或多个网络548以特定的频率、在预定的时间段过后、以近乎实时的方式向车辆安全系统534和/或(多个)计算设备550发送传感器数据等。

[0086] 车辆502还可以包括一个或多个发射器508,用于发射光和/或声音,如上所述。本示例中的发射器508包括用于与车辆502的乘客通信的内部音频和视觉发射器。通过举例而非限制的方式,内部发射器可以包括扬声器、灯、标志、显示屏幕、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)诸如此类。本例中的发射器508还包括外部发射器。通过举例而非限制的方式,本例中的外部发射器包括用于发出行驶方向信号或车辆动作的其他指示的灯光(例如指示灯、标志、灯光阵列等)、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),以便与行人或其他附近车辆进行声音通信,其中一个或多个音频发射器包括声束转向技术。

[0087] 车辆502还可以包括一个或多个通信连接510,其使车辆502与一个或多个其他本地或远程的(多个)计算设备之间进行通信。例如,(多个)通信连接510可以促进与车辆502和/或(多个)驱动系统514上的(多个)其他本地计算设备的通信。而且,(多个)通信连接510可以允许车辆与其他附近的(多个)计算设备(例如(多个)计算设备550、其他附近车辆等)和/或一个或多个远程传感器系统532通信,以接收传感器数据。

[0088] (多个)通信连接510可包括物理接口和/或逻辑接口,用于将(多个)车辆计算设备504连接至另一计算设备或网络,比如(多个)网络548。例如,(多个)通信连接510可实现基于Wi-Fi的通信,例如通过由IEEE 802.11标准规定的频率、短距离无线频率比如蓝牙,也可实现蜂窝通信(例如2G、3G、4G、4G LTE、5G等)或任何合适的有线或无线通信协议,所述通信协议能实现相应计算设备与(多个)其他计算设备通过接口连接。

[0089] 在至少一个示例中,车辆502可以包括一个或多个驱动系统514。在一些示例中,车辆502可以具有单个驱动系统514。在至少一个示例中,如果车辆502具有多个驱动系统514,那么单独的驱动系统514可以设置在车辆502的相对两端(例如前端和后端等)。在至少一个示例中,(多个)驱动系统514可以包括一个或多个传感器系统,以检测(多个)驱动系统514

和/或车辆502周围环境的条件。作为示例而非限制地，(多个)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)以感知驱动模块的车轮的旋转，惯性传感器(例如惯性测量单元、加速度计、陀螺仪、磁力计等)以测量驱动系统的取向和加速度、相机或其他图像传感器、超声波传感器以声学方式检测驱动系统周围的对象，激光雷达传感器，雷达传感器等。一些传感器，如车轮编码器可以是(多个)驱动系统514所特有的。在一些情况下，(多个)驱动系统514上的(多个)传感器系统可以与车辆502的相应系统(例如(多个)传感器系统506)重叠或补充。

[0090] (多个)驱动系统514可包括多个车辆系统，包括高压电池、推动车辆的马达、将电池的直流电转换为交流电以供其他车辆系统使用的逆变器、包括转向马达和转向架(可以是电动的)的转向系统、包括液压或电动执行器的制动系统、包括液压和/或气动组件的悬挂系统、用于分散制动力以降低牵引力损失并保持控制的稳定性控制系统、HVAC(高压交流电)系统、照明(例如用于照亮车辆外部的头/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、其他电气组件比如DC/DC转换器、高压结点、高压电缆、充电系统、充电端口等)。此外，(多个)驱动系统514可包括驱动系统控制器，其可接收和预处理来自(多个)传感器系统的数据并且以控制不同车辆系统的操作。在一些示例中，驱动系统控制器可包括一个或多个处理器和与一个或多个处理器通信耦合的存储器。存储器可存储一个或多个组件，以执行(多个)驱动组件514的各种功能。进一步地，(多个)驱动系统514也可包括一个或多个通信连接，其能实现各驱动系统与一个或多个其他本地或远程计算设备的通信。

[0091] 在至少一个示例中，直接连接512可以提供物理接口，以将一个或多个驱动系统514与车辆502的车身耦合。例如，直接连接512可以允许在(多个)驱动系统514和车辆之间传递能量、流体、空气、数据等。在一些情况下，直接连接512可以进一步可释放地将(多个)驱动系统514固定到车辆502的车身。

[0092] 在至少一个示例中，定位组件520、感知组件522、规划组件524、预测组件526、一个或多个系统控制器528、一个或多个地图530和车辆安全系统534及其各种组件可以处理传感器数据，如上所述，并且可以通过一个或多个网络548将它们各自的输出发送到(多个)远程计算设备550。在至少一个示例中，定位组件520、感知组件522、规划组件524、预测组件526、一个或多个系统控制器528、一个或多个地图530以及车辆安全系统534可以以特定的频率、在经过预定的时间段后、以接近实时的方式将它们各自的输出发送到(多个)计算设备550。

[0093] 在一些示例中，车辆502可以通过(多个)网络548将传感器数据发送到(多个)计算设备550。在一些示例中，车辆502可以通过(多个)网络548从(多个)远程传感器系统532和/或(多个)计算设备550接收传感器数据。传感器数据可以包括原始传感器数据和/或经处理的传感器数据和/或传感器数据的表示。在一些示例中，传感器数据(原始或经处理的)可以作为一个或多个日志文件被发送和/或接收。

[0094] (多个)计算设备550可以包括(多个)处理器552和存储有地图组件556和传感器数据处理组件558的存储器554。在一些示例中，地图组件556可以包括用于生成各种分辨率的地图的功能。在这样的示例中，地图组件556可以将一个或多个地图发送到(多个)车辆计算设备504用于导航目的。在各种示例中，传感器数据处理组件558可被配置为从一个或多个

远程传感器，例如传感器系统506和/或(多个)远程传感器系统532接收数据。在一些示例中，传感器数据处理组件558可以被配置为处理数据并将经处理的传感器数据发送到车辆502，例如以供车辆安全系统534使用。在一些示例中，传感器数据处理组件558可以被配置为将原始传感器数据发送到(多个)车辆计算设备504和/或车辆安全系统534。

[0095] 车辆502的(多个)处理器516、车辆安全系统534的(多个)处理器536和/或(多个)计算设备550的(多个)处理器552可以是能够执行指令以处理数据和执行本文所述操作的任何合适的处理器。作为示例而非限制地，(多个)处理器516、536和552可以包括一个或多个中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)，或处理电子数据以将该电子数据转化为可存储在寄存器和/或存储器中的其他电子数据的任何其他设备或设备的一部分。在一些示例中，集成电路(如ASIC等)、门阵列(如FPGA等)和其他硬件设备也可被视为处理器，只要它们被配置为实现所编码的指令。

[0096] 存储器系统518、538和/或554是非暂时性计算机可读介质的示例。存储器系统518、538和/或554可存储操作系统和一个或多个软件应用程序、指令、程序和/或数据，以实现本文所述的方法和归属于各种系统的功能。在各种实施方案中，存储器可以使用任何合适的存储器技术来实现，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、或能够存储信息的任何其他存储器类型。本文所描述的架构、系统和单个元素可以包括许多其他的逻辑、程序和物理组件，其中附图中所示的组件只是与本文讨论相关的示例。

[0097] 在一些情况下，存储器系统518、538和/或554可以至少包括工作存储器和存储存储器。例如，工作存储器可以是容量有限的高速存储器(例如，高速缓冲存储器)，其用于存储将由(多个)处理器516、536和/或552操作的数据。在一些情况下，存储器系统518、538和/或554可以包括存储存储器，其可以是容量相对较大的低速存储器，其用于长期存储数据。在一些情况下，(多个)处理器516、536和/或552不能直接对存储在存储存储器中的数据进行操作，并且数据可能需要被加载到工作存储器中，以便基于数据执行操作，如本文所讨论的。

[0098] 应当注意的是，虽然图5被说明为分布式系统，但在替代实例中，车辆502的组件可以与(多个)计算设备550相关联和/或(多个)计算设备550的组件可以与车辆502相关联。也就是说，车辆502可以执行与(多个)计算设备550相关联的一个或多个功能，反之亦然。

[0099] 图6示出了用于确定与车辆和在环境中移动的对象之间的潜在碰撞相关联的预测和/或概率的示例过程600，以及确定基于碰撞预测和/或概率而车辆要采取的动作。在一些情况下，如本文所述，示例过程600的部分或全部可以由计算系统500中的一个或多个组件执行。例如可以参照图5中的车辆安全系统534，基于从(多个)车辆计算设备504的组件接收的状态数据来描述示例过程600。然而，可以设想过程600也可以利用计算系统500中所描述的那些以外的计算环境和架构。

[0100] 在操作602，车辆安全系统534可以接收或确定识别穿越环境的车辆的轨迹的数据。车辆可以与车辆102相似或相同，并且车辆轨迹可以是车辆102的规划轨迹104，如上所述。在一些情况下，车辆安全系统534可以从(多个)车辆计算设备504的组件接收车辆102的车辆属性(例如位置/定位数据、分类数据、尺寸数据、取向/姿势数据、状态参数等)，并且可以基于车辆属性数据确定车辆102的规划轨迹。此外或替代性地，车辆安全系统534可以接

收车辆102的规划组件524和/或(多个)车辆计算设备504的其他组件的规划车辆轨迹。如上所述,由车辆安全系统534接收或确定的车辆102的轨迹可以包括一组规划路径点和/或路径多边形,其代表车辆102通过环境100的规划路径的二维表示。

[0101] 在操作604,车辆安全系统534可以接收与在车辆102正在移动的同一环境中移动的一个或多个其他对象相关联的状态数据。在这个示例中,接收的状态数据可以与在环境100中移动的第二车辆106有关,尽管在其他示例中,接收的状态数据可以包括与多个不同的移动对象相关联的数据,包括任何类型/分类的对象,汽车、卡车、摩托车、自行车、动物、行人等)。车辆安全系统534接收的针对对象车辆106(和/或其他对象)的状态数据可以包括对象属性,如对象的位置/定位、对象分类/类型、对象尺寸数据、对象取向和姿势数据以及与车辆106相关联的各种状态参数。如上所述,状态参数可以包括,例如感知速度、线性加速度、角加速度、转向角速率、偏航率等,和/或车辆106的任何其他感知的运动特征。在一些示例中,车辆安全系统534可以从感知组件522和/或(多个)车辆计算设备504的其他组件接收与车辆106相关联的状态数据。状态数据可以使用(多个)车辆计算设备504的组件内的AI技术来确定,以定位车辆106、确定车辆102和106之间的距离和取向、分割传感器数据、确定车辆106的分类、感知和预测车辆运动、并为车辆106生成规划路径或轨迹。

[0102] 在操作606,车辆安全系统534可以基于在操作604中为对象接收的状态数据确定对象(例如车辆106)的扰动轨迹。如上所述,对象轨迹部件540可以通过扰动(或修改)车辆106的一个或多个当前感知的状态参数来确定车辆106的扰动轨迹。例如,车辆安全系统534可以基于速度扰动参数来扰动车辆106的当前感知速度,或者可以基于加速度扰动参数来扰动车辆106的当前感知加速度,或者可以基于转向角速率扰动参数来扰动车辆106的当前感知转向角速率,等等。在这个示例中,由车辆安全系统534确定的一个或多个扰动参数可以与附加的未扰动参数相结合,以确定车辆106的扰动轨迹。例如,车辆安全系统534可以使用扰动加速度参数(例如a+p)和速度、转向角速率等的未扰动参数,以在操作606确定扰动轨迹。

[0103] 在操作608,车辆安全系统534可以确定在操作602处接收或确定的车辆轨迹与在操作606处确定的对象(例如车辆106)的扰动轨迹之间的相交。在一些示例中,相交组件542可以执行本文所述的各种技术中的一个或多个,以确定车辆轨迹和车辆106的扰动轨迹的相交。例如,相交组件542可以确定潜在碰撞区,并在潜在碰撞区内,在车辆102和106之间执行时间-空间重叠分析,如上所述。在一些情况下,车辆安全系统534可以在操作608中确定,基于车辆102和车辆106的轨迹,预测车辆102和车辆106将发生碰撞或预测不发生碰撞。在其他示例中,车辆安全系统534可以在操作608中确定车辆102和车辆106之间发生碰撞的概率,或预测(例如相交或不相交,碰撞或不碰撞)以及与预测相关联的置信度水平。

[0104] 在操作610,车辆安全系统534可以确定是否存在要分析和/或评估的对象(例如车辆106)的附加扰动轨迹。如上所述,车辆安全系统534可以基于车辆106的扰动参数的各种组合来确定多个扰动轨迹。例如,图1的示例描绘了三个扰动轨迹,图4的示例描绘了九个扰动轨迹402,图7的示例描绘了49个扰动轨迹,并且在其他示例中车辆安全系统534的对象轨迹组件540可以确定任何数量的扰动轨迹。当车辆安全系统534确定要为车辆106确定和/或分析附加的轨迹时(610:是),过程600返回到操作606以确定和/或分析车辆160的另一扰动轨迹。

[0105] 相反，当车辆安全系统534确定与车辆106相关联的所有扰动轨迹已经被确定和分析时(610：否)，过程600进行到612，以基于车辆106的扰动轨迹执行一个或多个碰撞预测。在一些示例中，车辆安全系统534可以通过确定车辆106的多个扰动轨迹使用概率方法，相对于与车辆102的潜在碰撞分析每个单独的扰动轨迹，并且然后聚合分析的结果以计算发生碰撞的总体概率。例如，当对象轨迹组件540确定对象(例如车辆106)的多个轨迹时，车辆安全系统534可以确定预测与车辆102的轨迹相交的轨迹的第一数量，以及预测不与车辆102的轨迹相交的轨迹的第二数量。然后，车辆安全系统534可以基于第一和第二数量之间的比率，计算车辆102和106之间发生相交/碰撞的概率。

[0106] 简要参考图7，示出了说明对象(例如车辆106)的扰动轨迹矩阵的图700。在这个示例中，车辆安全系统534可以基于一组七个扰动加速度值(a-3p至a+3p)和一组七个扰动转向角速率值(s-3q至s+3q)来确定扰动轨迹的矩阵，得到车辆106的49个不同的扰动轨迹。车辆安全系统534已经分析了本例中的每个扰动轨迹，以确定与每个扰动轨迹相关联的相交预测(例如潜在碰撞的预测)。在这个示例中，相交预测是二元(是/否)值，并且车辆安全系统534已经为49个扰动轨迹中的17个确定了正的相交预测。因此，对于图700所示的示例，车辆安全系统534可以在操作612中确定车辆102和106之间发生相交(或碰撞)的35％的概率(例如17/49)。

[0107] 尽管图7中的示例将相交预测表示为二元(是/否)值，但在其他示例中，车辆安全系统534的相交组件542可以为与车辆106相关联的每个扰动轨迹确定单独的概率(例如0.00至1.00)。在这样的示例中，车辆安全系统534可以基于单独的概率计算车辆102和106之间的相交的总体概率，例如通过对单独的概率进行平均和/或执行其他统计技术。

[0108] 在操作612中确定的预测和/或计算的概率可以包括车辆102和106之间碰撞的预测或概率，以及与潜在碰撞相关的附加预测和/或概率。例如，如下面更详细地描述的，车辆安全系统534还可以在操作612中基于车辆轨迹和其他车辆属性确定潜在碰撞特征。这种碰撞特征可以包括，例如潜在碰撞的严重程度测量，以及与潜在碰撞相关联的置信度水平。

[0109] 在操作614，车辆安全系统534可以基于在操作612中确定的碰撞预测和/或计算的概率，确定车辆102要采取的一个或多个动作。例如，车辆安全系统534的动作组件546可以基于相交(或非相交)和/或碰撞(或无碰撞)的预测、与预测相关联的概率和/或置信度水平以及其他因素(例如潜在碰撞的严重程度)来确定车辆102要采取的动作。在各种示例中，动作组件546可以确定车辆102的动作，包括减缓或停止车辆102以让位于对象，改变车道或转向左边或右边以避让对象，和/或通过(多个)系统控制器528执行任何其他车辆以增加避让和/或减轻潜在碰撞的损害的可能性。

[0110] 在一些示例中，车辆安全系统534可以在操作614中基于多个碰撞概率阈值和/或范围来确定车辆102要采取的(多个)动作。例如，当车辆安全系统534在操作612中确定碰撞概率(例如N％的碰撞概率)时，然后在操作614中，车辆安全系统534可以将该概率值与一个或多个碰撞概率阈值或范围进行比较。举例来说，车辆安全系统534可以在确定95％的碰撞概率时为车辆102确定第一组动作，在确定75％的碰撞概率时为车辆102确定第二组动作，在确定50％的碰撞概率时为车辆102确定第二组动作，依此类推。

[0111] 图8示出了用于确定与车辆和在环境中移动的对象之间的潜在碰撞相关联的预测和/或概率的另一示例过程800，以及基于碰撞预测和/或概率而确定车辆要采取的动作。在

一些示例中，过程800可以代表过程600的一个或多个具体实施方式，包括附加的特征和技术。例如，如下所述，过程800可用于描述车辆安全系统534为对象(例如车辆102)的不同扰动轨迹确定不同概率的技术。过程800还可以包括其中车辆102的碰撞概率和/或确定的动作可以基于附加的因素进行加权和/或调整的技术，附加的因素例如潜在碰撞的预测严重性、预测的未遂事故，以及用于确定对象车辆106的扰动轨迹的状态数据或传感器数据的一致性和可靠性。如上文对过程600的讨论，示例过程800的部分或全部可以由计算系统500中的一个或多个组件执行。例如，可以参照图5中的车辆安全系统534，基于从(多个)车辆计算设备504的组件接收的状态数据来描述示例过程600。然而，可以设想过程600也可以利用计算系统500中所描述的那些以外的计算环境和架构。

[0112] 在操作802，车辆安全系统534可以接收和/或确定穿越环境的车辆102的轨迹。在一些示例中，操作802可以与上述操作602相似或相同。例如在操作802中，车辆安全系统534可以接收或确定识别车辆102穿越环境100的轨迹的数据。在一些情况下，车辆安全系统534可以从规划组件524或(多个)车辆计算设备504的其他组件接收车辆102的感知(或当前)轨迹以及附加的车辆属性(例如位置/定位、分类、尺寸、取向/姿势、状态参数等)。

[0113] 在操作804，车辆安全系统534可以接收状态数据并确定与在环境中移动的另一对象(例如车辆106)相关联的多个不同预测，并且可以基于接收的状态数据为对象确定多个扰动轨迹。在一些示例中，操作802可以与过程600中的操作604和606相似或相同。如上所述，车辆安全系统534的对象轨迹组件540可以通过扰动(或修改)车辆106的当前感知状态参数来为车辆106来确定一组扰动轨迹。例如，对象轨迹部件540可以使用一个或多个扰动参数来扰动车辆106的状态参数(例如速度、加速度、转向角速率等)。

[0114] 如图8所示，过程800在操作806处分支，表明车辆安全系统534可以针对在操作804中为车辆106确定的每个扰动轨迹分别执行操作806-812。如下所述，对于对象(例如车辆106)的每个不同的扰动轨迹，车辆安全系统534可以确定与扰动轨迹相关联的概率、车辆102和106之间的相交或碰撞的预测和/或概率，和/或基于可能特定于扰动轨迹的附加因素的加权或修改。在各种实例中，单独的操作806-812可以由车辆安全系统534针对不同的扰动轨迹同时或顺序地执行。

[0115] 在操作806(1)-806(N)(统称为操作806)中的每一个，车辆安全系统534可以确定与扰动轨迹相关联的概率(例如0.00至1.00)。在一些示例中，车辆安全系统534可以基于类似的对象和/或在与车辆106的当前场景类似的场景中的对象的历史的/观察到的运动模式来确定扰动轨迹的概率。例如，车辆安全系统534可以基于在驾驶或执行特定机动动作(例如倒车、停车、并线等)时观察到的车辆行为和/或运动模式来训练和执行机器学习模型。例如，经过训练的模型可以确定某些机动动作对于某些车辆类型来说是不常见的，例如在汽车或卡车中长时间保持高线性或横向加速度，并且车辆安全系统可以将经过训练的模型确定的扰动轨迹的概率打折扣，使其不太可能。在某些情况下，车辆安全系统534可以基于感知的状态数据和协方差使用一个或多个过滤器(例如扩展卡尔曼过滤器(EKF)，无色卡尔曼过滤器(UKF))来确定对象106遵循特定扰动轨迹的输出概率。此外或替代性地，车辆安全系统534可以基于相对于环境中其他对象的具有类似取向、速度和定位的对象的历史数据来执行基于启发式规则的分析，以预测车辆106遵循特定轨迹的可能性。因此，历史数据可以代表以前的对象执行类似于车辆106在当前时间执行的那些机动动作。在一些示例中，车辆

安全系统534可以使用与具有与车辆106类似的分类、尺寸、取向和速度的对象相关联的历史数据，以便更准确地预测车辆106将采取的轨迹。

[0116] 另外或备选地，车辆安全系统534可以基于环境100中的道路配置(例如车道标记、中央分隔带位置、交通灯和标志、人行横道等)，以及交通法规、道路规则、当地驾驶礼仪、交通模式等，确定车辆106在操作806中遵循特定轨迹的概率。

[0117] 进一步，在一些示例中，车辆安全系统534可以在操作806中基于环境100内的其他静止对象(例如树木、路缘石、中央分隔带、停放的汽车等)的位置以及环境100内的其他移动对象的当前或扰动轨迹，确定扰动轨迹的概率。例如，车辆安全系统534可以确定较低概率的扰动轨迹，其将驱动车辆106朝向树木、停放的汽车，或朝向当前在车辆106视野内的移动对象(例如自行车、汽车或行人)的当前路径。同样，车辆安全系统534可以确定相对较高概率的扰动轨迹，其驱动车辆106朝向清晰可见的静止或移动对象。

[0118] 在操作808(1)-808(N)(统称为操作808)中的每一个，车辆安全系统534可以基于车辆102的规划轨迹和与车辆106相关联的特定扰动轨迹执行一个或多个相交确定。在一些示例中，操作808可以与过程600中的操作608相似或相同。例如，在操作808中，车辆安全系统534可以确定在操作802中接收或确定的车辆轨迹与车辆106的特定扰动轨迹之间的相交。如上所述，相交组件542可以确定潜在碰撞区，并在车辆102和106之间的潜在碰撞区内执行时间-空间重叠分析。在操作808中，车辆安全系统534可以执行一个或多个预测确定和/或概率计算，包括关于车辆102和106基于轨迹、车辆之间的碰撞概率和/或碰撞预测以及相关联的置信度水平是否将碰撞的预测。

[0119] 在操作810(1)-810(N)(统称为操作810)中的每一个，车辆安全系统534可以确定要应用到在操作808中确定的碰撞预测和/或概率的一个或多个加权值和/或修改。在一些示例中，车辆安全系统534可以确定与车辆102和106之间的潜在碰撞相关联的严重性水平。例如，对于操作808中的正的碰撞预测(或大于0％的碰撞概率)，车辆安全系统534可以基于碰撞角度、车辆的碰撞位置以及潜在碰撞的其他特征，确定潜在碰撞的一个或多个严重性量度。利用这些因素，车辆安全系统534可以确定潜在碰撞是擦边碰撞还是质心碰撞。车辆安全系统534还可以确定潜在碰撞是后部碰撞、侧面碰撞还是正面碰撞，等等。在一些示例中，车辆安全系统534可以使用附加的因素，例如车辆和对象分类类型(例如卡车、汽车、摩托车、自行车、行人等)和车辆速度、尺寸/重量、乘客数量、道路和天气条件等，来确定潜在碰撞的严重性量度。

[0120] 另外，在操作810中，车辆安全系统534可以基于与在操作808中确定的碰撞预测和/或碰撞概率计算相关联的置信度水平确定一个或多个加权值和/或修改。例如，车辆安全系统534可以为无碰撞预测确定较低的置信度水平，在无碰撞预测中，在潜在碰撞区域中的车辆102和106之间的预测距离和/或时间间隙低于特定的阈值(例如未遂事故)。此外，当传感器数据或感知数据被确定为可能不可靠、不一致和/或受到环境因素(例如车辆之间的部分遮挡、黑暗、雾、雨等)的影响时，车辆安全系统534可以为碰撞或无碰撞的预测确定较低的置信度。

[0121] 在操作812，车辆安全系统534可以基于在操作806-810中确定的单个轨迹的组合或聚合，为车辆102和106执行一个或多个总体碰撞预测和/或碰撞概率确定。在一些示例中，操作812可以与过程600中的操作612相似或相同。例如，车辆安全系统534可以通过在车

辆106的所有扰动轨迹上平均或合计在操作806中确定的相交/碰撞预测结果或概率，计算车辆102和106之间发生碰撞的总体概率。在各种示例中，在操作812中，车辆安全系统534可以计算多个扰动轨迹的碰撞预测与无碰撞预测的比率。此外或替代性地，车辆安全系统534可以平均在操作808中为多个扰动轨迹确定的单独碰撞概率。

[0122] 在一些示例中，由车辆安全系统534在操作812中执行的确定和/或计算也可以基于在操作806中确定的轨迹概率。例如，当合计、平均或以其他方式结合不同扰动轨迹的碰撞预测或概率时，车辆安全系统534使用轨迹概率变量对计算进行加权或修改，以便较高概率的轨迹比较低概率的轨迹更多影响总体碰撞预测和概率。在各种示例中，车辆安全系统534可以在操作812中对在操作806中确定的各种概率进行缩放和/或归一化，以确定总体碰撞概率。此外，车辆安全系统534还可以基于来自操作810的附加加权值和/或修改来修改在操作812中确定的总体碰撞预测和概率。例如，车辆安全系统534可以基于从操作810中的一个或多个扰动轨迹确定潜在碰撞的更高水平的严重程度来增加碰撞概率或其他相关的预测。类似地，在一些示例中，车辆安全系统534可以基于确定与操作810中的扰动轨迹的碰撞预测/概率相关联的较低水平的置信度或可靠性而增加碰撞概率或其他相关的预测。

[0123] 示例条款

[0124] 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，其存储有计算机可执行指令，该计算机可执行指令当被执行时，使得一个或多个处理器执行包括以下项的操作：接收与环境中的对象相关联的状态数据，该状态数据至少部分地基于由车辆的传感器捕获的传感器数据，并且该状态数据与第一时间相关联；至少部分地基于该状态数据和扰动参数，确定与该对象相关联的多个扰动轨迹；接收与该环境中的该车辆相关联的轨迹；至少部分地基于第一扰动轨迹和与该车辆相关联的该轨迹，确定在该第一时间之后的第二时间处与该对象和该车辆相关联的相交；至少部分地基于该相交，确定该车辆的动作；以及至少部分地基于该动作，控制该车辆的操作。

[0125] B.根据A款所述的系统，该操作进一步包括：至少部分地基于该多个扰动轨迹和与该车辆相关联的该轨迹，确定与该多个扰动轨迹相关联的相交的数量；确定该相交的数量达到或超过阈值数量；以及进一步地至少部分地基于该相交的数量，确定针对该车辆的该动作。

[0126] C.根据A至B款中任一款所述的系统，该操作进一步包括：确定与该第一扰动轨迹相关联的概率，该概率指示该对象遵循该第一扰动轨迹的可能性；以及进一步地至少部分地基于该概率和该相交的数量，确定针对该车辆的该动作。

[0127] D.根据A至C款中任一款所述的系统，其中该状态数据包括与该对象相关联的加速度数据、与该对象相关联的转向角速率以及与该对象相关联的分类，其中确定该第一扰动轨迹包括至少部分地基于该扰动参数而改变该加速度数据或该转向角速率中的至少一个，并且其中该扰动参数至少部分地基于与该对象相关联的该分类。

[0128] E.根据A至D款中任一款所述的系统，其中确定该相交包括：至少部分地基于该轨迹，确定在该第二时间与该车辆相关联的第一区域；至少部分地基于该第一扰动轨迹，确定在该第二时间与该对象相关联的第二区域；以及确定该第一区域和该第二区域之间的重叠。

[0129] F.一种方法，包括：接收与环境中的对象相关联的状态数据；接收与该对象相关联

的感知轨迹;至少部分地基于该感知轨迹,确定扰动轨迹;接收与该环境中的车辆相关联的轨迹;至少部分地基于该扰动轨迹和该轨迹,确定该对象和该车辆之间发生碰撞的可能性;以及至少部分地基于该碰撞的可能性,确定针对该车辆的动作。

[0130] G.根据F款所述的方法,其中确定该扰动轨迹包括确定多个扰动轨迹,该方法进一步包括:至少部分地基于该多个扰动轨迹和该轨迹,确定该车辆和该对象之间的潜在碰撞的数量;确定该潜在碰撞的该数量达到或超过阈值数量;以及进一步地至少部分地基于该潜在碰撞的该数量,确定针对该车辆的该动作。

[0131] H.根据F至G款中任一款所述的方法,进一步包括至少部分地基于潜在碰撞的该数量相对于该多个扰动轨迹的数量,确定该车辆和该对象之间碰撞的概率。

[0132] I.根据F至H款中任一款所述的方法,其中该状态数据包括与该对象相关联的加速度数据、与该对象相关联的转向角速率,并且其中,确定与该对象相关联的该多个扰动轨迹包括改变该加速度数据或该转向角速率中的至少一个。

[0133] J.根据F至I款中任一款所述的方法,其中该状态数据进一步包括与该对象相关联的分类,并且其中确定该扰动轨迹至少部分地基于与该对象相关联的该分类。

[0134] K.根据F至J款中任一款所述的方法,进一步包括:确定与该扰动轨迹相关联的概率;至少部分地基于该概率,改变碰撞的该可能性;以及进一步地至少部分地基于该概率,确定针对该车辆的该动作。

[0135] L.根据F至K款中任一款所述的方法,其中确定该相交包括:确定与该车辆相关联的第一边界框;确定与该对象相关联的第二边界框;至少部分地基于该轨迹确定在该第二时间该第一边界框的第一位置;至少部分地基于该扰动轨迹确定在该第二时间该第二边界框的第二位置;以及至少部分地基于该第一位置和该第二位置确定在该第二时间在该第一边界框与该第二边界框之间的重叠。

[0136] M.根据F至L款中任一款所述的方法,其中该状态数据至少部分地基于由该车辆的传感器捕获的传感器数据,并且其中该状态数据包括与该对象相关联的加速度数据和与该对象相关联的转向角速率,并且其中,确定扰该动轨迹包括至少部分地基于扰动参数而改变该加速度数据或该转向角速率中的一个或多个。

[0137] N.一个或多个非暂时性计算机可读介质,其存储有由处理器可执行的指令,其中该指令在被执行时,使该处理器执行包括以下的操作:接收与环境中的对象相关联的状态数据;接收与该对象相关联的感知轨迹;至少部分地基于该感知轨迹,确定扰动轨迹;接收与该环境中的车辆相关联的轨迹;至少部分地基于该扰动轨迹和该轨迹,确定该对象和该车辆之间发生碰撞的可能性;以及至少部分地基于该碰撞的可能性,确定针对该车辆的动作。

[0138] O.根据N款所述的一个或多个非暂时性计算机可读介质,其中确定该扰动轨迹包括确定多个扰动轨迹,该操作进一步包括:至少部分地基于该多个扰动轨迹和该轨迹,确定该车辆和该对象之间的潜在碰撞的数量;确定该潜在碰撞的该数量达到或超过阈值数量;以及进一步地至少部分地基于该潜在碰撞的该数量,确定针对该车辆的该动作。

[0139] P.根据N至O款中任一款所述的一个或多个非暂时性计算机可读介质,该操作进一步包括:至少部分地基于潜在碰撞的该数量相对于该多个扰动轨迹的数量,确定该车辆和该对象之间碰撞的概率。

[0140] Q.根据N至P款中任一款所述的一个或多个非暂时性计算机可读介质，其中该状态数据包括与该对象相关联的加速度数据、与该对象相关联的转向角速率，并且其中确定与该对象相关联的该多个扰动轨迹包括改变该加速度数据或该转向角速率中的至少一个。

[0141] R.根据N至Q款中任一款所述的一个或多个非暂时性计算机可读介质，其中该状态数据进一步包括与该对象相关联的分类，并且其中确定该扰动轨迹至少部分地基于与该对象相关联的该分类。

[0142] S.根据N至R款中任一款所述的一个或多个非暂时性计算机可读介质，该操作进一步包括：确定与该扰动轨迹相关联的概率；至少部分地基于该概率，改变碰撞的该可能性；以及进一步地至少部分地基于该概率，确定针对该车辆的该动作。

[0143] T.根据N至S款中任一款所述的一个或多个非暂时性计算机可读介质，其中确定该对象和该车辆之间的碰撞的该可能性包括：至少部分地基于该轨迹，确定在第一时间与该车辆的预测位置相关联的第一区域；至少部分地基于该扰动轨迹，确定在该第一时间与该对象的预测位置相关联的第二区域；以及确定该第一区域和该第二区域之间的重叠。

[0144] 虽然上面描述的示例条款是关于特定的实施方式的，但应该理解，在本文的上下文中，示例条款的内容也可以通过方法、设备、系统、计算机可读介质和/或另一个实施方式来实现。此外，示例A至T中的任何一个可以单独实施，也可以与示例A至T中的任何其他一个或多个结合实施。

[0145] 结论

[0146] 虽然已经描述了本文所述技术的一个或多个示例，但在本文所述技术的范围内包括其各种改变、补充、排列组合和等同内容。

[0147] 在对示例的描述中，参考了构成本文一部分的附图，附图通过说明的方式示出了所要求保护的主题的具体示例。应当理解的是，可以使用其他示例，并且可以进行改变或变更，例如结构上的改变。这样的示例、改变或变更不一定偏离预期的所要求保护的主题的范围。虽然本文的步骤可以按照一定的顺序提出，但在一些情况下，可以改变顺序，以便在不同的时间或以不同的顺序提供某些输入，而不改变所述系统和方法的功能。所公开的程序也可以以不同的顺序执行。此外，本文的各种计算不需要按照所公开的顺序执行，并且使用计算的变更顺序的其他示例也可以很容易地实现。除了重新排序之外，计算也可以被分解成具有相同结果的子计算。

[0148] 尽管已经用针对结构特征和/或方法行为的语言描述了主题，但应当理解，在所附权利要求书所限定的主题不必受限于所描述的具体特征或行为。相反，具体特征和行为以实施权利要求的示例形式被公开。

[0149] 本文描述的组件代表可被存储在任何类型的计算机可读介质中的指令，并可在软件和/或硬件中实施。上述所有的方法和过程可以体现在软件代码中和/或由一台或多台计算机或处理器、硬件或其某种组合执行的计算机可执行指令中，并通过所述软件代码模块和/或指令实现完全自动化。一些或所有的方法也可替代地体现在专门的计算机硬件中。

[0150] 条件性语言，尤其例如“可能”、“可以”或“可”，除非另有特别说明，否则在上下文中应被理解为表示某些示例包括、而其他示例不包括某些特征、元素和/或步骤。因此，这种条件性语言一般不意味着某些特征、元素和/或步骤是以任何方式被一个或多个示例所要求的，或一个或多个示例必须包括下述逻辑，其用于决定在有或没有用户输入或提示的情

况下，某些特征、元素和/或步骤是否包括或在任何特定示例中或在任何特定示例中被执行。

[0151] 诸如“X、Y或Z中的至少一个”这样的连接性语言，除非另有特别说明，否则应理解为表示对象、术语等，可以是X、Y或Z，或者其任何组合，包括每个元素的倍数。除非明确描述为单数，否则无定冠词的表述指单数和复数。

[0152] 本文描述的流程图和/或附图中描绘的任何例程描述、元素或块应被理解为潜在代表模块、组件、部段或代码中的包括用于实现例程中特定逻辑功能或元素的一个或多个计算机可执行指令的部分。在本文描述的示例的范围内包括替代的实施方式，其中元素或功能可以被删除，或不按所示或讨论的顺序执行，包括基本同步、相反的顺序、具有附加的操作或省略操作，这取决于所涉及的功能，正如会被本领域的技术人员所理解的。

[0153] 可对上述示例进行各种变型和修改，其要素应理解为属于其他可接受的示例。所有这样的修改和变型都意图被包括在本公开的范围内，并受以下权利要求书的保护。

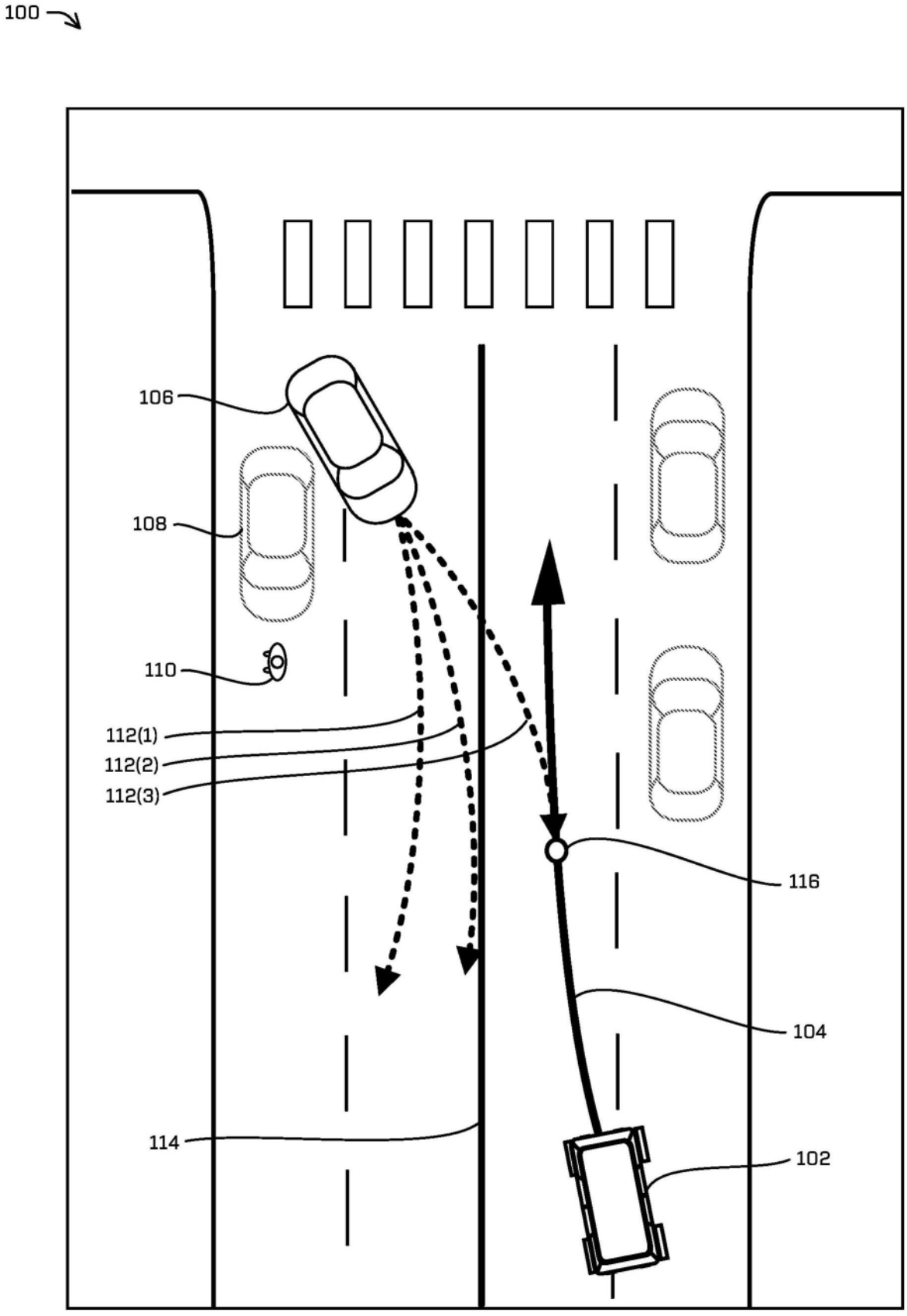



图1

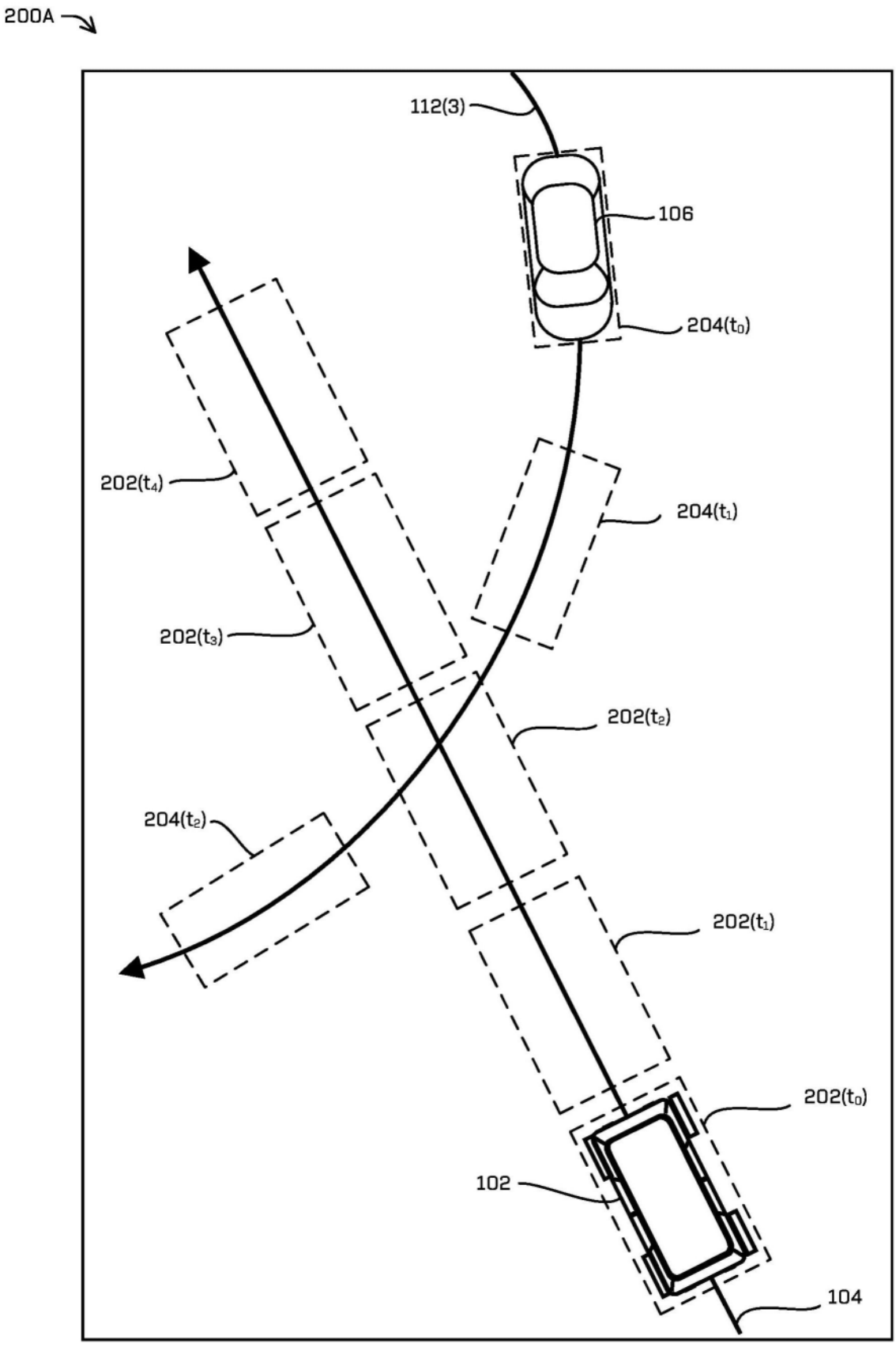

200A
112(3)
106
204(t0)
202(t4)
204(t1)
202(t3)
202(t2)
204(t2)
202(t1)
202(t0)
102
104

图2A

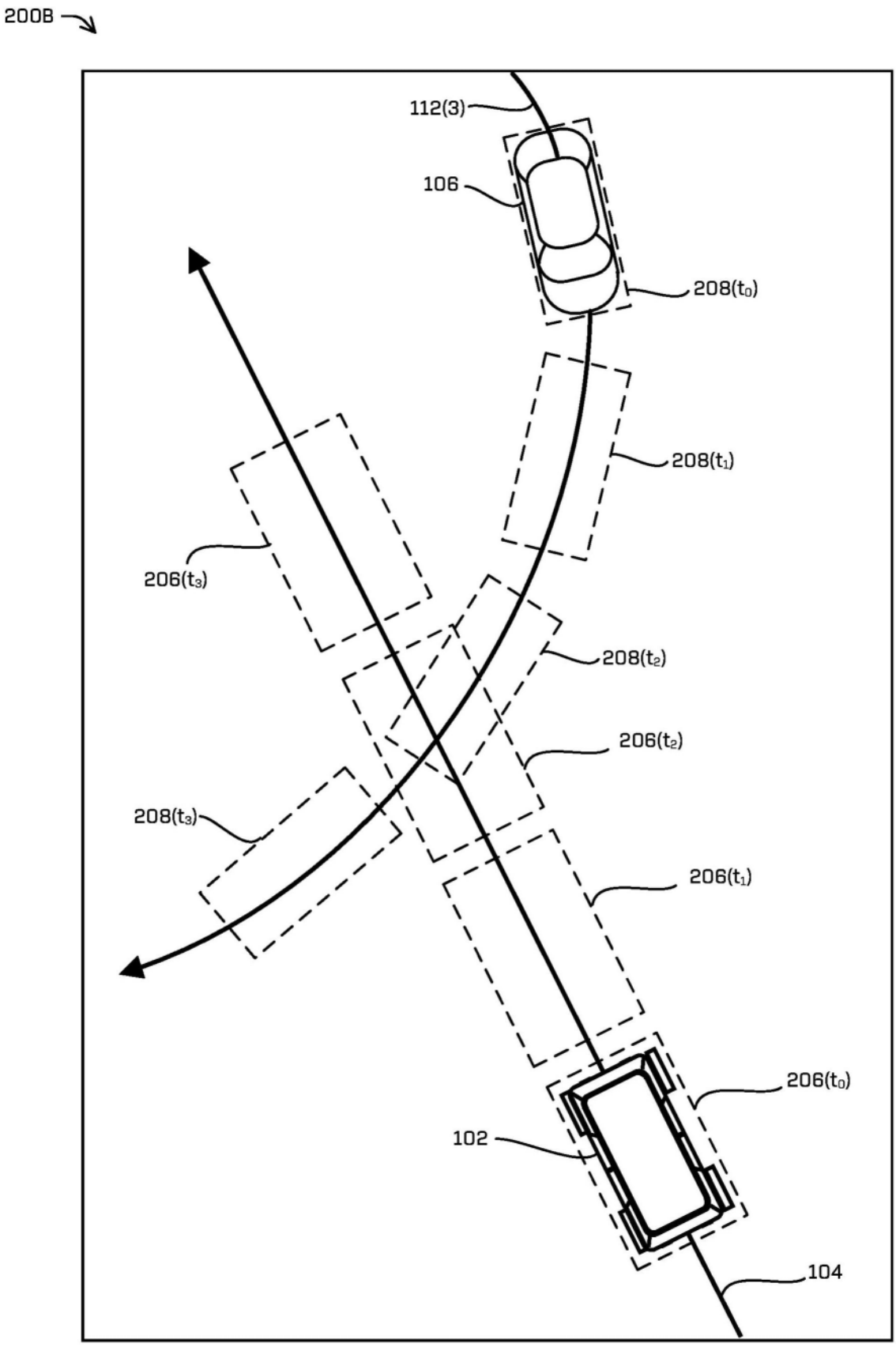

200B
112(3)
106
208(t0)
208(t1)
206(t3)
208(t2)
206(t2)
208(t3)
206(t1)
206(t0)
102
104

图2B

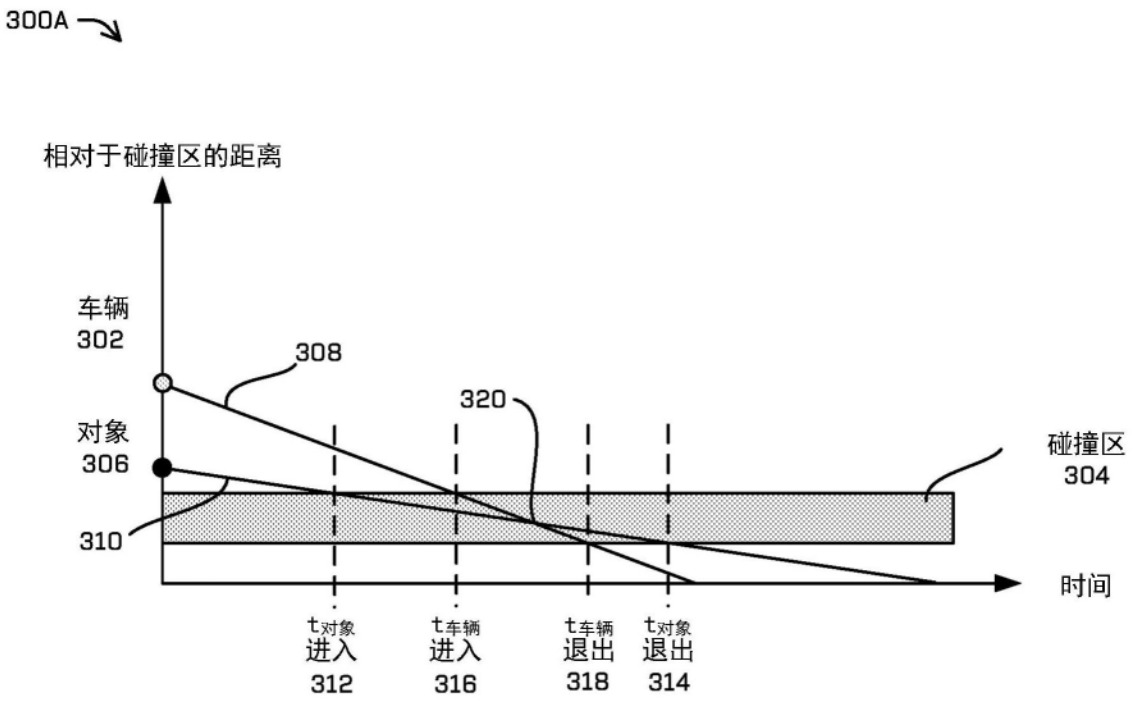

300A
相对于碰撞区的距离
车辆
302
308
320
对象
306
碰撞区
304
310
时间
t对象
进入
312
t车辆
进入
316
t车辆
退出
318
t对象
退出
314

图3A

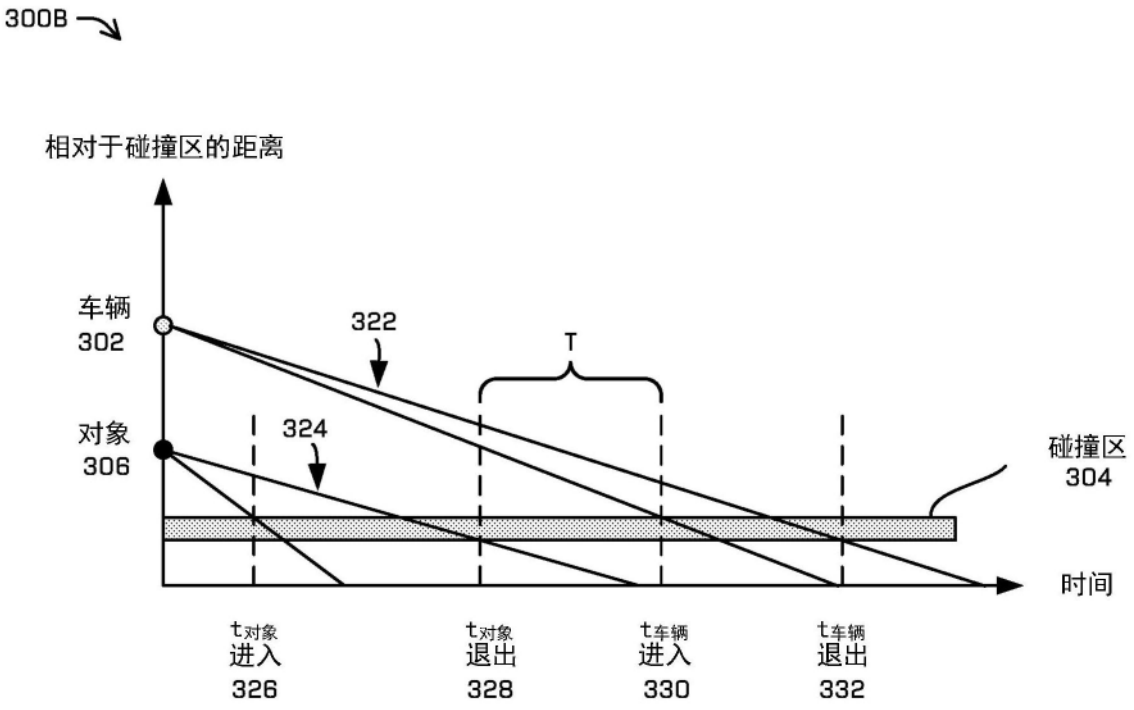

300B
相对于碰撞区的距离
车辆
302
322
T
对象
306
324
碰撞区
304
时间
t对象
进入
326
t对象
退出
328
t车辆
进入
330
t车辆
退出
332

图3B

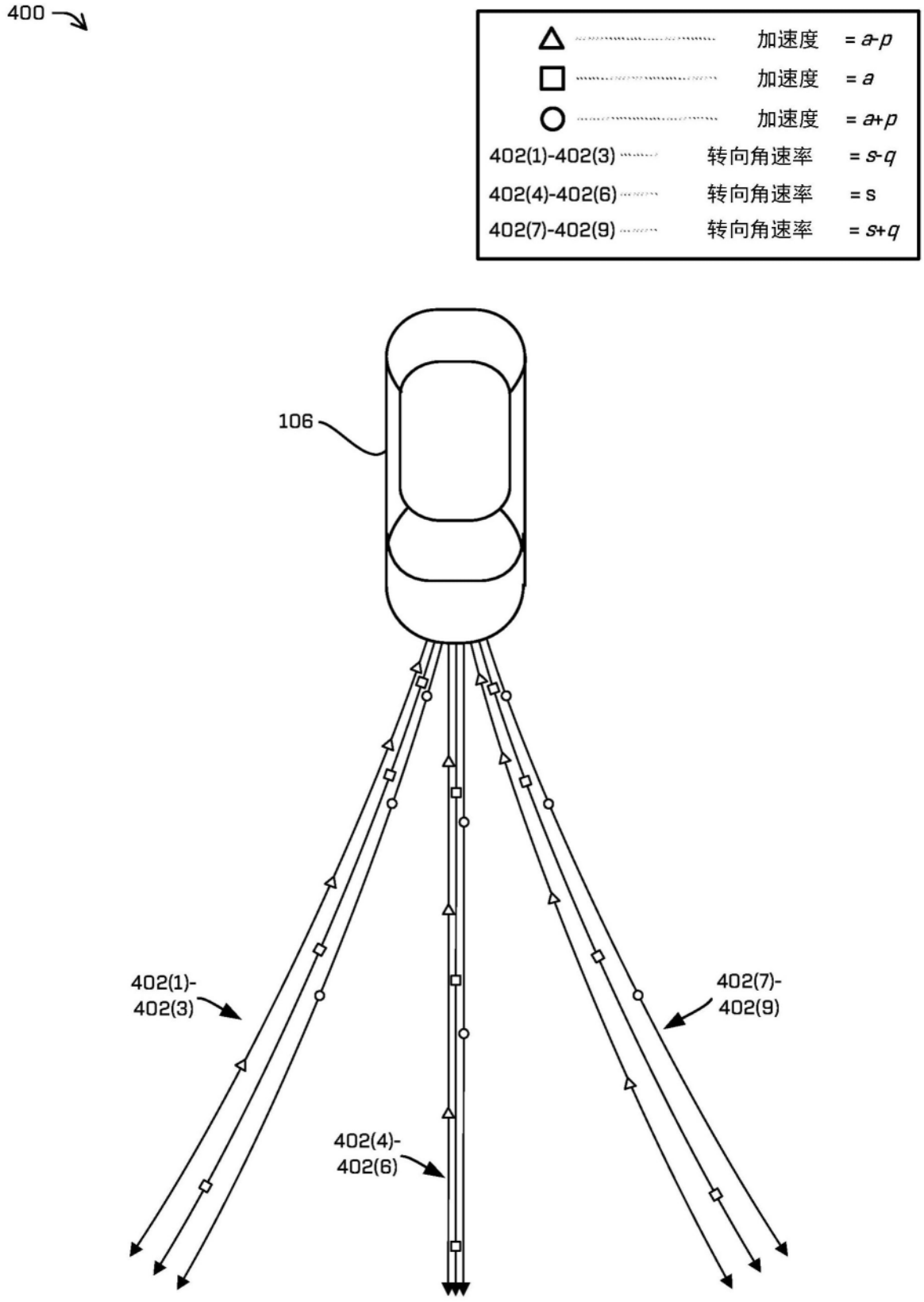

400
加速度 = a-p
加速度 = a
加速度 = a+p
402(1)-402(3) 转向角速率 = s-q
402(4)-402(6) 转向角速率 = s
402(7)-402(9) 转向角速率 = s+q
106
402(1)-
402(3)
402(7)-
402(9)
402(4)-
402(6)

图4

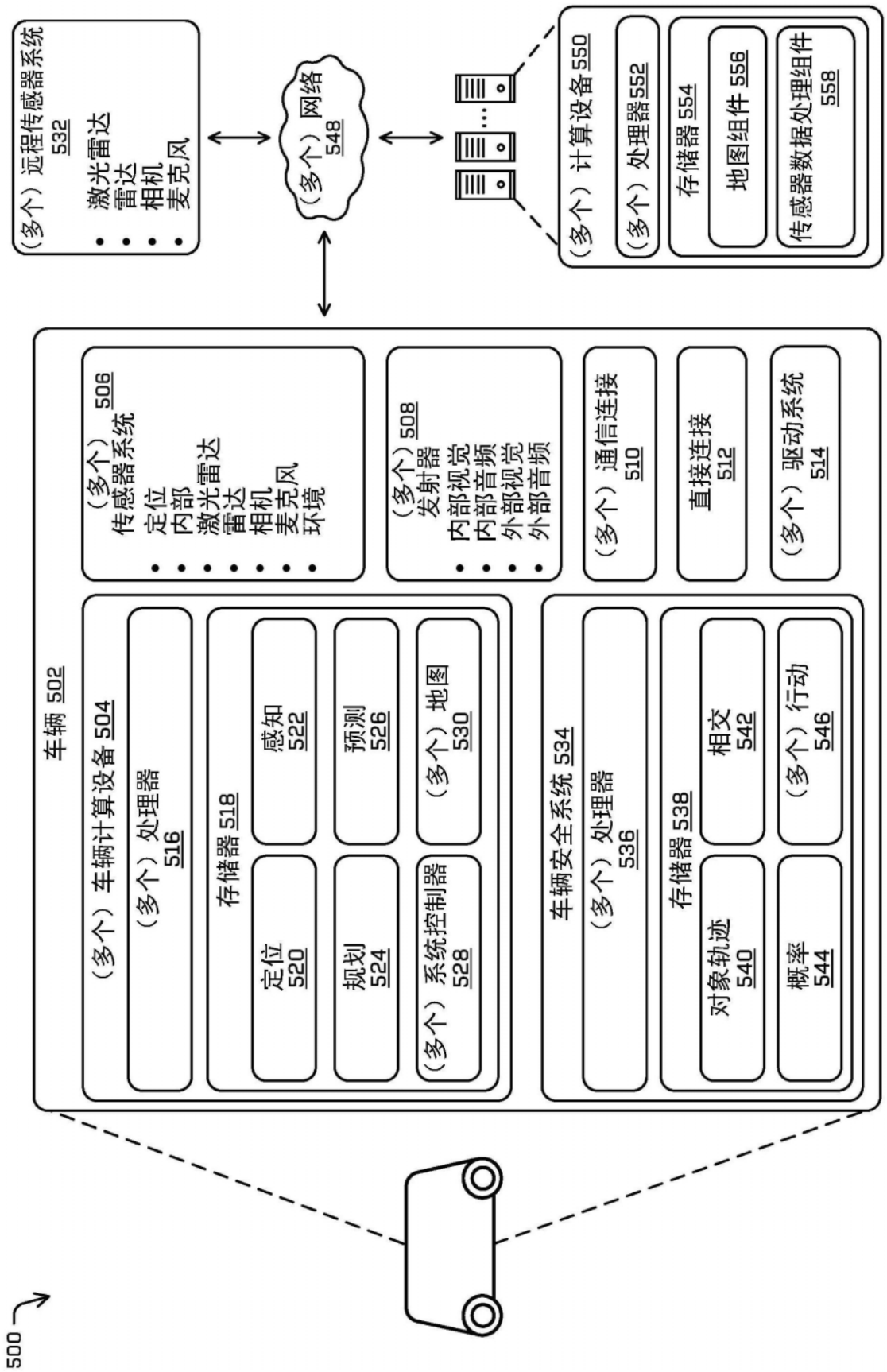

500
车辆 502
(多个) 车辆计算设备 504
(多个) 处理器 516
存储器 518
定位 520
感知 522
规划 524
预测 526
(多个) 系统控制器 528
(多个) 地图 530
(多个) 传感器系统 506
定位
内部
激光雷达
雷达
相机
麦克风
环境
(多个) 发射器 508
内部视觉
内部音频
外部视觉
外部音频
(多个) 通信连接 510
直接连接 512
(多个) 驱动系统 514
车辆安全系统 534
(多个) 处理器 536
存储器 538
对象轨迹 540
相交 542
概率 544
(多个) 行动 546
(多个) 网络 548
(多个) 远程传感器系统 532
激光雷达
雷达
相机
麦克风
(多个) 计算设备 550
(多个) 处理器 552
存储器 554
地图组件 556
传感器数据处理组件 558

图5

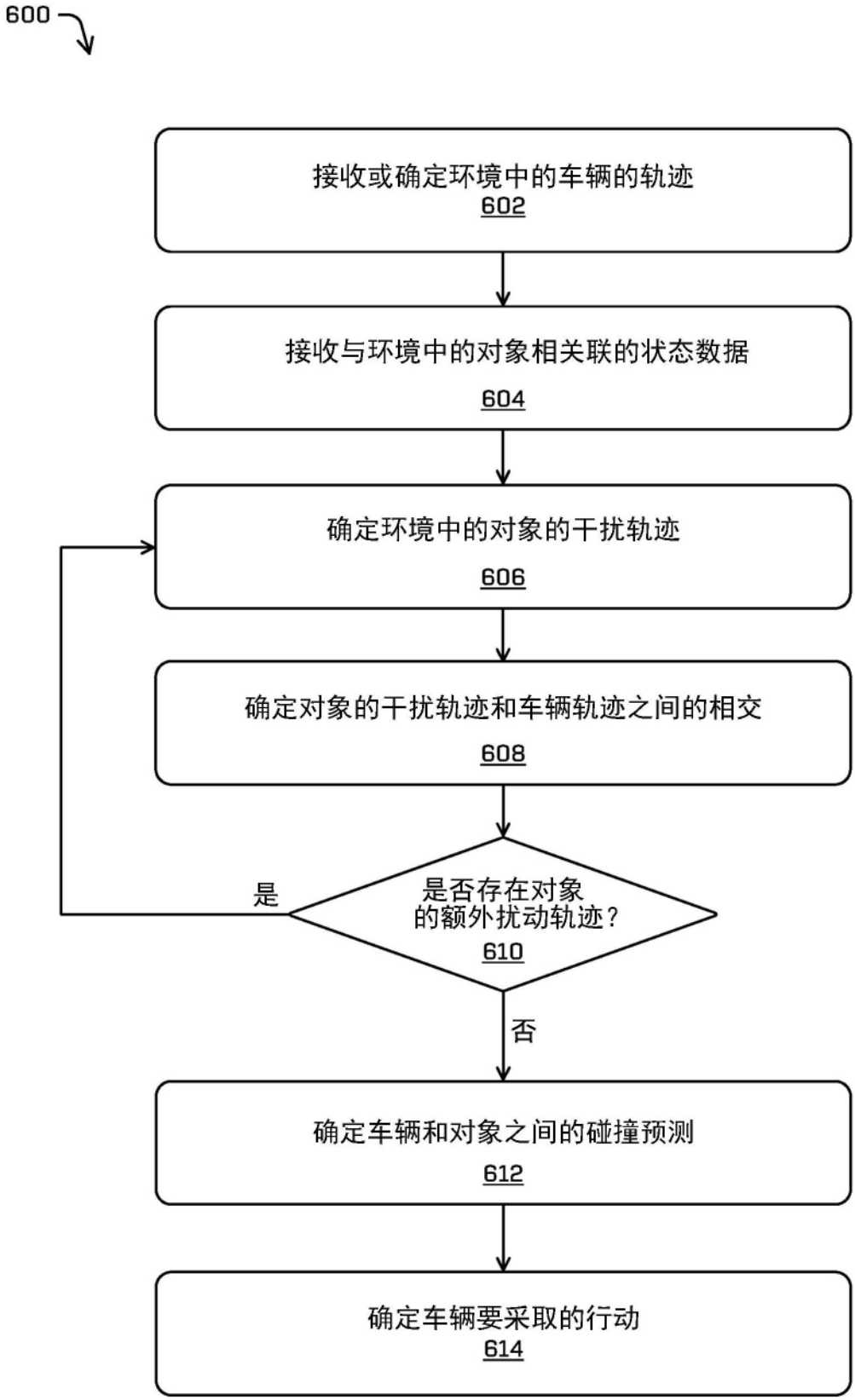

600
接收或确定环境中的车辆的轨迹
602
接收与环境中的对象相关联的状态数据
604
确定环境中的对象的干扰轨迹
606
确定对象的干扰轨迹和车辆轨迹之间的相交
608
是否存在对象
的额外扰动轨迹？
610
是
否
确定车辆和对象之间的碰撞预测
612
确定车辆要采取的行动
614

图6

加速度（a）

| 转向角速率（s） | a-3p | a-2p | a-p | a | a+1p | a+2p | a+3p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| s-3q | Y | Y | Y | Y | Y | Y | Y |
| s-2q | Y | Y | Y | Y | N | N | N |
| s-q | Y | Y | N | N | N | N | N |
| s | Y | Y | N | N | N | N | N |
| s+q | Y | N | N | N | N | N | N |
| s+2q | Y | N | N | N | N | N | N |
| s+3q | N | N | N | N | N | N | N |

图7

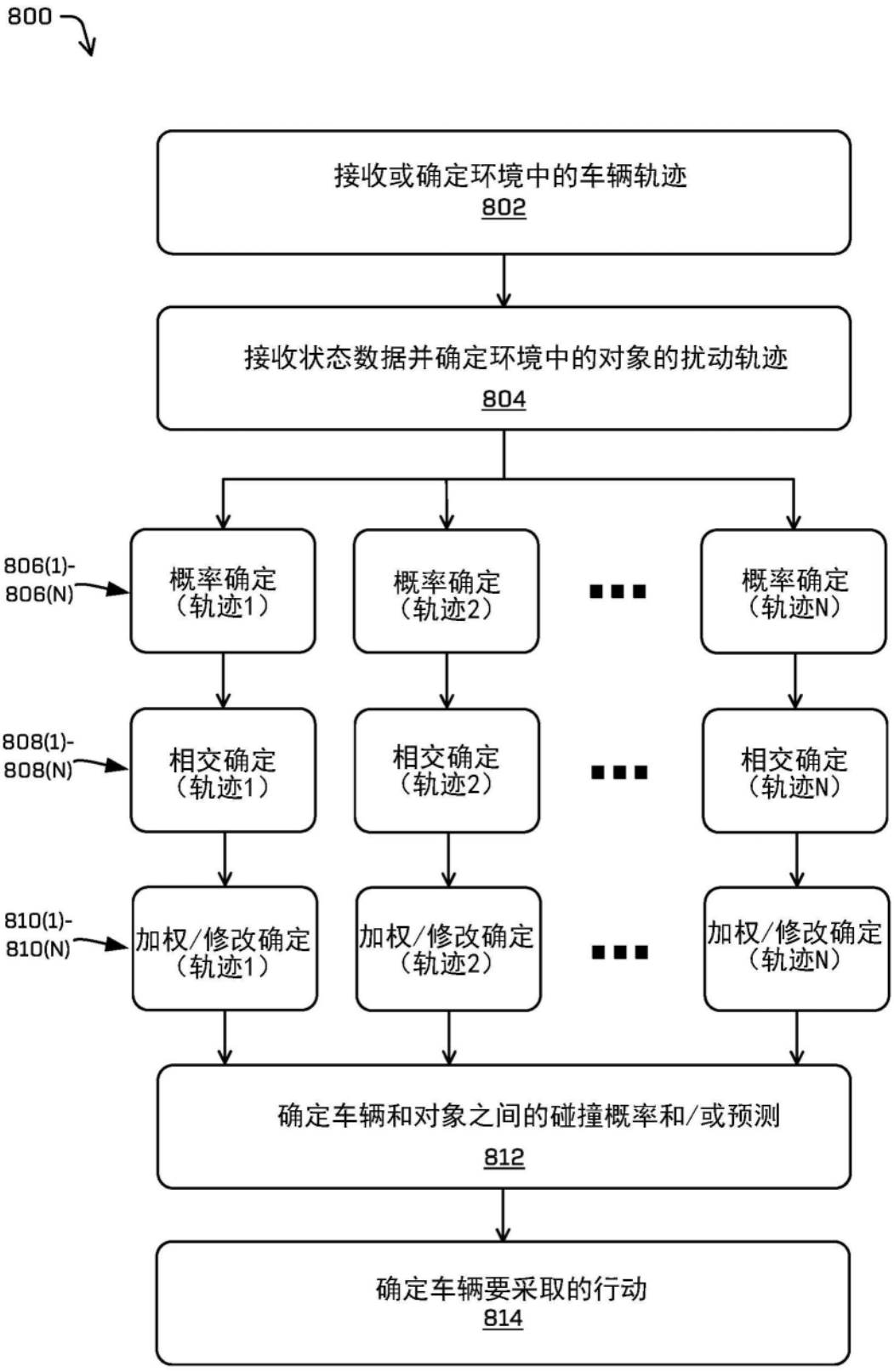

800
接收或确定环境中的车辆轨迹
802
接收状态数据并确定环境中的对象的扰动轨迹
804
806(1)-
806(N)
概率确定
（轨迹1）
概率确定
（轨迹2）
概率确定
（轨迹N）
808(1)-
808(N)
相交确定
（轨迹1）
相交确定
（轨迹2）
相交确定
（轨迹N）
810(1)-
810(N)
加权/修改确定
（轨迹1）
加权/修改确定
（轨迹2）
加权/修改确定
（轨迹N）
确定车辆和对象之间的碰撞概率和/或预测
812
确定车辆要采取的行动
814

图8