



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117320945 A

(43) 申请公布日 2023. 12. 29

(21) 申请号 202180079407.6

(22) 申请日 2021.11.03

(30) 优先权数据

17/104,994 2020.11.25 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.05.25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/057909 2021.11.03

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/115216 EN 2022.06.02

(71) 申请人 福特全球技术公司

地址 美国密歇根州迪尔伯恩市

(72) 发明人 兰德尔·舒尔

康斯坦丁·萨夫琴科

(74) 专利代理机构 北京连和连知识产权代理有限公司 11278

专利代理师 马鹏林 张元

(51) Int.Cl.

B60W 60/00 (2020.01)

B60W 50/00 (2006.01)

B60W 30/095 (2012.01)

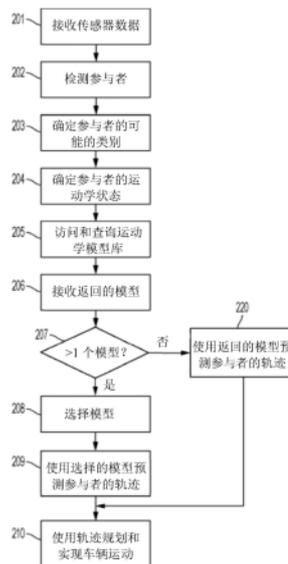
权利要求书4页 说明书8页 附图6页

## (54) 发明名称

用于确定自主车辆控制中的运动预测的运动模型的方法和系统

## (57) 摘要

本发明公开了确定自主车辆 (AV) 应该使用哪个运动学模型来预测检测到的运动参与者的运动的方法。AV 传感器中的一个或多个传感器将检测运动的参与者。AV 将为参与者分配一个或多个可能的类别, 并且处理这些信息以确定参与者的运动学状态。系统将查询运动学模型库, 以返回与每个可能的类别相关的一个或多个运动学模型。系统将应用每个返回的运动学模型来预测参与者的轨迹。然后, 系统将对照参与者的运动学状态来评估参与者的每个预报的轨迹, 以选择返回的运动学模型之一来预测参与者的路径。然后, 系统将使用预测的路径来规划 AV 的运动。



1. 一种预报在车辆的环境中运动的参与者的运动的方法,所述方法包括:
  - 通过车辆的感知系统:
    - 经由所述车辆的一个或多个传感器接收传感器数据,以及
    - 处理所述传感器数据以:
      - 检测靠近所述车辆的参与者,
      - 将一个或多个可能的类别分配给所述参与者,以及
      - 确定所述参与者的运动学状态;以及
  - 通过所述车辆的预报系统:
    - 访问运动学模型库,其中每个运动学模型与一个或多个类别相关,
    - 查询所述库以返回与所述参与者的每个所述可能的类别相关的一个或多个运动学模型,
  - 当所述库响应于所述查询而返回两个或更多个运动学模型时,应用每个返回的运动学模型来预报所述参与者的轨迹,
  - 对照所述参与者的所述运动学状态评估所述参与者的每个所述预报的轨迹以选择返回的运动学模型之一,以及
  - 使用所选择的运动学模型来预测所述参与者的路径;以及
  - 通过所述车辆的运动规划系统使用所述预测的所述参与者的路径来规划所述车辆的运动。
2. 根据权利要求1所述的方法,还包括,在为所述参与者预测所述路径之后,通过所述预报系统:
  - 从所述感知系统接收关于所述参与者的更新的信息;
  - 处理所述更新的信息以确定所述参与者的更新的运动学状态;以及
  - 当所述参与者的所述更新的运动学状态与所选择的运动学模型不对应时:
    - 选择与所述参与者的至少一个可能的类别相对应的不同的运动学模型,以及
    - 使用所述不同的运动学模型来预测所述参与者的更新的路径。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中:
  - 将每个所述返回的运动学模型应用于预报所述参与者的轨迹包括创建混合运动学模型,所述混合运动学模型包括:
    - 所述返回的运动学模型中的第一返回的运动学模型的路径跟随器,以及
    - 所述返回的运动学模型中不同的一个返回的运动学模型的运动学评估器;以及
    - 选择所述返回的运动学模型之一包括选择所述混合运动学模型。
4. 根据权利要求3所述的方法,还包括将所述混合运动学模型与所述参与者的所述可能的类别中的至少一个相关联地保存到所述库。
5. 根据权利要求1所述的方法,还包括:
  - 通过以下方式,使用所述参与者的所述预报的轨迹来创建新的运动学模型:
    - 访问观测的轨迹的数据集,
    - 使用机器学习架构来构建所述新的运动学模型,
  - 基于将来自所述返回的运动学模型的所述预报的轨迹与所述数据集中的所述观测的轨迹进行比较来创建损失函数,以及

在所述损失函数上训练所述新的运动学模型;以及  
其中选择所述返回的运动学模型之一包括选择所述新的运动学模型。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中对照所述参与者的所述运动学状态来评估所述参与者的每个所述预报的轨迹以选择所述返回的运动学模型之一包括:

确定每个预报的轨迹与相关的参考路径的偏离程度;  
识别与预报的轨迹相关的参考路径具有最小偏离程度的预报的轨迹;以及  
选择产生所述预报的轨迹的所述返回的运动学模型,所述预报的轨迹与其相关的参考路径具有最小的偏离程度。

7. 根据权利要求6所述的方法,进一步包括,在确定每个预报的轨迹的偏离程度之前:  
将对应于与所述预报的轨迹的运动学模型相关的所述参与者的类别的参考路径确定为用于每个预报的轨迹的参考路径。

8. 根据权利要求1所述的方法,还包括,当所述库响应于所述查询返回单个运动学模型时,通过所述预报系统应用所述单个运动学模型来预报所述参与者的轨迹。

9. 根据权利要求1所述的方法,进一步包含:

当将所述一个或多个可能的类别分配给所述参与者时,通过所述感知系统,使用检测到的特征来确定每个所述可能的类别的概率水平;以及

当查询所述库以返回所述一个或多个运动学模型时,通过所述预报系统,查询所述库以返回具有标准的任何运动学模型,所述标准指示所述模型可用于具有与所述参与者的概率水平之一匹配的类概率相关的任何参与者。

10. 一种自主车辆,包括:

感知系统,所述感知系统包括一个或多个配置为收集关于所述车辆所处的环境的信息的传感器;

包含运动学模型库的数据存储器,其中每个所述运动学模型与一个或多个类别相关;  
处理器;以及

编程指令,所述编程指令配置为命令所述处理器:

从所述一个或多个传感器接收指示靠近所述车辆的参与者的信息,

将一个或多个可能的类别分配给所述参与者,

处理所述信息以确定所述参与者的运动学状态,

查询运动学模型库以返回与所述参与者的每个所述可能的类别相关的一个或多个运动学模型,

当所述库响应于所述查询而返回两个或更多个运动学模型时,将每个所述返回的运动学模型应用于所述参与者的预报的轨迹,

对照所述参与者的所述运动学状态来评估所述参与者的每个预报的轨迹,以选择返回的运动学模型之一,

使用所选择的运动学模型来预测所述参与者的路径,以及

使用所述预测的所述参与者的路径来规划所述车辆的运动。

11. 根据权利要求10所述的自主车辆,还包括附加编程指令,所述附加编程指令配置为使所述处理器:

从所述一个或多个传感器接收关于所述参与者的更新的信息;

处理所述更新的信息以确定所述参与者的更新运动学状态;以及  
当所述参与者的所述更新运动学状态与所选择的运动学模型不对应时:  
选择与所述参与者的至少一个可能的类别相对应的不同的运动学模型,以及  
使用所述不同的运动学模型来预测所述参与者的更新的路径。

12. 根据权利要求10所述的自主车辆,其中:

应用每个所述返回的运动学模型以预报所述参与者的轨迹的指令包括创建混合运动学模型的指令,所述混合运动学模型包括:

所述返回的运动学模型中的第一返回的运动学模型的路径跟随器,以及  
所述返回的运动学模型中不同的一个返回的运动学模型的运动学评估器;以及  
选择所述返回的运动学模型之一的所述指令包括选择所述混合运动学模型的指令。

13. 根据权利要求12所述的自主车辆,还包括将所述混合运动学模型与所述参与者的所述可能的类别中的至少一个相关联地保存到所述库的指令。

14. 根据权利要求10所述的自主车辆,还包括附加编程指令,所述附加编程指令配置为命令所述处理器:

通过以下方式,使用所述参与者的所述预报的轨迹来创建新的运动学模型:

访问观测的轨迹的数据集,

使用机器学习架构来建立所述新的运动学模型,

基于将来自所述返回的运动学模型的所述预报的轨迹与所述数据集中的所述观测的轨迹进行比较来创建损失函数,以及

基于所述损失函数训练新的运动学模型;

其中选择所述返回的运动学模型之一的指令包括选择所述新的运动学模型的指令。

15. 根据权利要求10所述的自主车辆,其中对照所述参与者的所述运动学状态来评估所述参与者的每个所述预报的轨迹以选择所述返回的运动学模型之一的指令包括以下指令:

确定每个预报的轨迹与相关的参考路径的偏离程度;

识别与预报的轨迹相关的参考路径具有最小偏离程度的预报的轨迹;以及

选择产生所述预报的轨迹的所述返回的运动学模型,所述预报的轨迹与其相关的参考路径具有最小的偏离程度。

16. 根据权利要求15所述的自主车辆,还包括附加指令,用于在确定每个预报的轨迹的偏离程度之前:

将对应于与所述预报的轨迹的运动学模型相关的所述参与者的类别的参考路径确定为用于每个预报的轨迹的参考路径。

17. 根据权利要求10所述的自主车辆,还包括附加指令,用于当所述库响应于所述查询返回单个运动学模型时,应用所述单个运动学模型来预报所述参与者的轨迹。

18. 根据权利要求10所述的自主车辆,还包括附加指令,所述附加指令使所述处理器:

当将所述一个或多个可能的类别分配给所述参与者时,使用检测到的特征来确定每个所述可能的类别的概率水平;以及

当查询所述库以返回所述一个或多个运动学模型时,查询所述库以返回具有标准的任何运动学模型,所述标准指示所述模型可用于具有与所述参与者的概率水平之一匹配的类

概率相关的任何参与者。

19. 一种存储指令的非暂时性计算机可读介质,所述指令在由至少一个计算设备执行时配置为使所述至少一个计算设备执行操作,所述操作包括:

通过车辆的感知系统:

经由所述车辆的一个或多个传感器接收传感器数据;

处理所述传感器数据以:检测靠近所述车辆的参与者,将一个或多个可能的类别分配给所述参与者,以及确定所述参与者的运动学状态;

访问运动学模型库,其中每个运动学模型与一个或多个类别相关;

查询所述库以返回与所述参与者的每个可能的类别相关的一个或多个运动学模型;

当所述库响应于所述查询而返回两个或更多个运动学模型时,应用每个返回的运动学模型来预报所述参与者的轨迹,

对照所述参与者的所述运动学状态评估所述参与者的每个预报的轨迹以选择所述返回的运动学模型之一;

使用所选择的运动学模型来预测参与者的路径;以及

使用所述预测的所述参与者的路径来规划所述车辆的运动。

## 用于确定自主车辆控制中的运动预测的运动模型的方法和系统

[0001] 交叉引用和优先权要求

[0002] 本专利文件要求于2020年11月25日提交的美国专利申请第17/104,994号的优先权,该申请通过引用整体并入本文。

### 背景技术

[0003] 自主车辆(AV)控制系统依赖于复杂的传感器系统来检测、分类和预测环境中其他运动者的动作。无论AV是完全自主的还是半自主的,车辆的自主功能在规划车辆路径和/或启动响应其他参与者的反应措施时都会考虑其他参与者的可能轨迹。

[0004] 为了预测另一个参与者的轨迹,AV将选择适合另一个参与者的运动学模型。运动学链运动模型(通常简称为运动学模型),是描述物体运动的与力无关的数学模型。AV可以使用运动学模型来根据各种参数预测参与者随时间的位置和方向。

[0005] AV将在其机载或远程可访问的存储器中存储各种运动学模型,每个模型将与一个或多个不同类别的参与者相关。例如,行人的运动学模型通常不同于自行车的模型,自行车的模型通常不同于轿车的模型,轿车的模型通常不同于牵引车拖车的模型等。当AV感知到参与者时,它会对参与者进行分类,然后它将使用该分类来选择AV将应用于预测参与者的运动的适当的运动学模型。然而,有时特定的参与者可能属于两个或更多个类别。例如:骑自行车的人可以被归类为行人或骑自行车的;穿着旱冰鞋的人可以被归类为行人或其他人,如滑板车操作员、滑板者或骑自行车的人。如果AV没有为特定参与者选择合适的运动学模型,则AV预测该参与者的运动的能力将不那么可靠。

[0006] 本文件描述了旨在解决以上所述的问题和/或其他问题的方法和系统。

### 发明内容

[0007] 本发明公开了确定自主车辆(AV)应该使用哪个运动学模型来预测检测到的运动参与者的运动的方法。AV传感器的感知系统的一个或多个传感器将收集关于车辆所处环境的信息。AV还可以访问包含运动学模型库的数据存储器。AV的处理器将处理由传感器捕获的传感器数据,以在数据中识别指示靠近车辆的参与者的信息。系统将为参与者分配一个或多个可能的类别,并且将处理这些信息以确定参与者的运动学状态。然后,系统将访问运动学模型库,并且将查询该库以返回一个或多个与参与者的每个可能的类别相关的运动学模型。当库响应于查询而返回两个或更多个运动学模型时,系统将应用每个返回的运动学模型来预测参与者的轨迹。然后,系统将根据参与者的运动学状态来评估参与者的每个预报的轨迹,以选择返回的运动学模型之一。然后,系统将使用所选择的运动学模型来预测参与者的路径,以及AV将使用预测的参与者的路径来规划车辆的运动。

[0008] 一段时间后,系统可以从感知系统传感器接收有关参与者的更新的信息。系统然后可以处理更新的信息以确定参与者的更新的运动学状态。当参与者的更新的运动学状态不对应于所选择的运动学模型时,系统可以选择与参与者的可能的类别中的至少一个对应

的不同的运动学模型,并且系统可以使用不同的运动学模型来预测参与者的更新的路径。

[0009] 在一些实施例中,在将每个返回的运动学模型应用于参与者的预报的轨迹时,系统可以创建混合运动学模型,混合运动学模型包括返回的运动学模型中的第一返回的运动学模型的路径跟随器和不同的一个返回的运动学模型的运动学评估器。然后,当选择返回的运动学模型中之一时,系统可以选择混合运动学模型。系统然后将混合运动学模型与参与者的可能的类别中的至少一个相关联地保存到库中。

[0010] 作为创建混合运动学模型的替代方案,系统可以使用参与者的预报的轨迹来创建新的运动学模型。系统可以通过以下方式做到这一点:访问观测轨迹的数据集;使用机器学习架构来建立新的运动学模型;基于将来自返回的运动学模型的预报的轨迹与数据集中的观测的轨迹进行比较来创建损失函数;以及在损失函数上训练新的运动学模型。如果是,则当选择返回的运动学模型中之一时,系统可以选择新的运动学模型。

[0011] 在一些实施例中,当对照参与者的运动学状态评估参与者的每个预报的轨迹以选择返回的运动学模型之一时,系统可以确定每个预报的轨迹与相关的参考路径的偏离程度,识别与其相关的参考路径具有最小偏离程度的预报的轨迹,以及选择产生预报的轨迹的返回的运动学模型,该预报的轨迹与其相关的参考路径具有最小的偏离程度。可选地,在确定每个预报的轨迹的偏离程度之前,系统可以将对应于与预报的轨迹的运动学模型相关的参与者的类别的参考路径确定为每个预报的轨迹相关的参考路径。

[0012] 在某些情况下,库可以响应于查询只返回单个运动学模型。当这种情况发生时,系统将应用单个运动学模型来预报这种情况中参与者的轨迹。

[0013] 在一些实施例中,当将一个或多个可能的类别分配给参与者时,系统可以使用检测到的特征来确定每个可能的类别的概率水平。如果是这样,则当查询库以返回一个或多个运动学模型时,系统可以查询库来返回具有标准的任何运动学模型,该标准指示该模型可以用于具有与参与者的概率水平之一匹配的类概率相关的任何参与者。

## 附图说明

[0014] 图1是示出了自主车辆的示例子系统的框图。

[0015] 图2示出了为检测到的参与者选择运动学模型以及在规划自主车辆的运动时使用所选则的模型的示例过程。

[0016] 图3A和3B提供了例如图2中以更高级别示出的附加细节的模型选择过程。

[0017] 图4示出了示例过程,车辆通过该示例过程可以确定何时改变用于跟踪参与者的运动学模型。

[0018] 图5示出了自主车辆的示例硬件组件。

## 具体实施方式

[0019] 本文件中使用的单数形式“一个”和“该”包括复数形式,除非上下文另有明确规定。除非另有定义,否则本文中使用的所有技术和科学术语与本领域普通技术人员通常理解的含义相同。在本文件中使用的术语“包括”是指“包括,但不限于”。与本文件相关的附加术语的定义包含在本具体实施方式的末尾中。

[0020] 图1是与以下讨论相关的自主车辆(AV)子系统的高度概述。这种系统内的具体组

件将在本文档稍后对图5的讨论中进行描述。AV包括感知系统101,感知系统101包括捕捉关于存在于车辆的直接环境中的运动的参与者和/或其他物体的信息的传感器。示例传感器包括摄像机、激光雷达传感器和雷达传感器。这种传感器捕获的数据(如数字图像、激光雷达点云数据或雷达数据)被称为感知数据。感知系统可以包括一个或多个处理器,以及具有编程指令和/或经过训练的人工智能模型的计算机可读存储器,编程指令和/或经过训练的人工智能模型将处理感知数据以识别对象并且将分类标签和唯一标识符分配给在场景中检测到的每个对象。分类标签可以包括车辆、骑自行车的人、行人、建筑物等类别。识别对象和为对象分配分类标签的方法在本领域是众所周知的,并且可以使用任何合适的分类过程,例如对场景中检测到的对象进行边界框预测并且使用卷积神经网络或其他计算机视觉模型进行分类过程。Yurtsever等人在《自动驾驶调查:常见做法和新兴技术》(arXiv,2020年4月2日)中描述了一些这样的过程。

[0021] 车辆的感知系统101将向车辆的预报系统102传送感知数据。预报系统(也可以称为预测系统)将包括处理器和计算机可读编程指令,其被配置为处理从感知系统接收的数据并且预报感知系统检测到的其他参与者的动作。如下所述,该系统可以容纳任意数量的运动学模型以对其他参与者进行这些预测。

[0022] 车辆的感知系统以及车辆的预报系统将向车辆的运动规划系统103和控制系统104传送数据和信息,以便接收系统可以评估这些数据并且对这些数据发起任何数量的响应运动。运动规划系统103和控制系统104包括和/或共享一个或多个处理器和计算机可读编程指令,其被配置为处理从其他系统接收的数据、确定车辆的轨迹、以及向车辆硬件输出命令以根据所确定的轨迹移动车辆。这些命令可能引起的示例动作包括使车辆的制动控制系统致动、使车辆的加速控制子系统增加车辆的速度、或使车辆的转向控制子系统使车辆转向。各种运动规划技术是众所周知的,例如Gonzalez等人的“自动车辆运动规划技术综述”发表在《IEEE智能交通系统汇刊》第17卷第4期(2016年4月)。

[0023] 车辆的预报系统102(以及可选的任何其他车辆系统)将能够访问具有运动模型105库的数据存储器。运动模型105库可以容纳在车载存储器中、车辆通信连接的远程电子设备的存储器中、或者这些的组合中。运动模型库将存储任意数量的运动学模型,每个运动学模型都与一个或多个类别(即,参与者类型)相关联,如行人、骑自行车的人、汽车、牵引车拖车等。

[0024] 每个运动学模型将包括路径跟随器和运动学评估器。路径跟随器是一种算法(以软件代码实现),它使用参与者的当前或预测的状态以及理想化的参考路径来为参与者生成目标命令。例如,在预报车辆运动的情况下,目标命令可以包括转向角和目标加速度(其近似于节气门/制动器输入)。然后,这些命令被传递给运动学评估器,运动学评估器是方程系统,它采用参与者的当前或预测的未来状态,应用目标命令,然后生成新的预测的未来状态。

[0025] 每个运动学模型将接收关于参与者的观测的和推断数据,以及可以使用先验的数据生成的建议的参考路径。每个模型还可以输出参与者的预测的未来状态。

[0026] 例如,系统可以存储和使用第一运动模型,我们将其称为“模型A”。模型A可以使用已知的纯追踪算法作为路径跟随器,并且可以使用众所周知的自行车运动学模型作为运动学评估器。这些算法都是流行且广泛使用的算法,既可以单独使用也可以组合使用来规划

或预报车辆的运动。该系统可以使用模型A来预报大多数车辆和大多数骑自行车的人的运动,因此该系统可以将模型A与这些类别的参与者相关联。

[0027] 另一示例(“模型B”)是适用于公共汽车或牵引车拖车等大型车辆的运动学模型。模型B使用了与模型A不同的路径跟随算法,尤其是更准确地代表这些大型车辆转向技术的算法。(Ljungqvist等人于2019年6月25日在arXiv:1094.01651v2发表的《具有类似汽车的牵引车的通用2-拖车的路径规划和路径跟随控制框架》中公开了这种算法的示例)。模型B使用与模型A相同的运动学评估器。对于一些我们不确定哪种模型最准确的参与者,我们可以产生两组预报,一个使用模型A,一个使用模型B。如果我们根据观察到的数据评估这些模型,并且确定模型B表现更好,我们可以改变策略并且稍后只应用模型B。

[0028] 第三示例运动学模型(“模型C”)是为行人设计的。模型C的路径跟随器说明了参与者可以几乎瞬间向任何方向转弯(例如,行人没有最大转向角)这样的事实。运动学评估器类似地具有与模型A不同且更少的约束。

[0029] 如下文图2所述,当对参与者进行分类时,车辆的预测系统可以识别两个或更多个可能的类别。例如,如果车辆检测到在滑板车上的人,可能不清楚这应该被视为骑自行车的人还是行人,因此可能不清楚更合适哪种模型。在之前的解决方案中,这将迫使做出选择,最终可能无法得出可靠的预报。本文档中描述的过程允许车辆的预测系统使用模型A和模型两者提出预报,或者从一个模型切换到另一个模型。

[0030] 本文件的方法不限于以上所述的示例运动学模型。可以使用任何数量的其他运动学模型,并且如下所述,系统本身可以开发新的混合运动学模型,该新的混合模型结合了存储在其库中的运动学模型中的元素。

[0031] 图2是示出了使用诸如上述的系统元件的系统元件来预报可能在车辆的环境中运动的参与者的运动的方法的流程图。在201处,车辆的感知系统将经由车辆的一个或多个传感器接收传感器数据。如上所述,传感器数据可以包括由摄像机捕获的图像、激光雷达数据或其他数据,这些数据包括关于靠近车辆(即,在传感器的范围内)的参与者和对象的信息。在202处,系统将处理传感器数据以检测靠近车辆的参与者。系统还将向参与者分配一个或多个可能的类别(203)。系统可以通过检测参与者的一个或多个特征来做到这一点,并且当将一个或多个可能的类别分配给参与者时,使用检测到的特征来确定每个可能的类别的概率水平。分配可能的类别的示例方法包括上面在图1的上下文中描述的对象分类标签方法。此外,感知系统将确定参与者的运动学状态(204),从而产生诸如参与者的位置、速度和加速度之类的特征。系统可以通过计算感测到的数据中参与者的坐标并且使用诸如速度=位移/时间、加速度=速度的变化/时间的变化的已知方程来确定这些坐标在时间窗口上的变化来做到这一点。

[0032] 一旦评估了参与者的细节,如上所述,车辆的预报系统将访问运动学模型库,其中每个运动学模型与如上所述的一个或多个类别相关联。在205处,系统可以访问和查询库以返回与参与者的每个可能的类别相关的一个或多个运动学模型。在206处,然后库将返回一个或多个运动学模型以用于预报参与者的运动。例如,当感知系统已经确定参与者可以是多个类别之一时,每个类别都与概率水平相关,那么当查询库以返回一个或多个运动学模型时,预报系统可以请求具有标准的任何运动学模型,该标准指示该模型可以用于具有与参与者的概率水平之一匹配的类概率相关的任何参与者。可选地,预报系统可以仅考虑具

有至少阈值概率水平(例如至少30%、或至少40%、或一些其他阈值)的可能类别,以避免考虑不太可能与参与者相关的模型。

[0033] 如果库仅返回单个运动学模型以响应查询步骤(207:否),则在220处,系统可以应用单个运动学模型来预报参与者的轨迹。

[0034] 另一方面,当库响应于查询步骤(207:是)而返回两个或更多个运动学模型时,则在208处,系统可以在209处选择返回的模型中的至少一个来预报参与者的轨迹。在210处,系统然后可以使用诸如以上在图1的上下文中描述的方法和诸如以下在图4的上下文中所描述的硬件来使用参与者的轨迹来规划和实现车辆的运动。

[0035] 系统可以使用各种过程中的任何一个来选择模型(在208处)。简单的过程是选择与感知系统为参与者分配了最高概率的类别相关的模型。可替换地,或者除此之外,系统可以过滤出与相对低的类别概率相关的模型(即,小于阈值,或者与剩余的可能的模型的至少一个或多个标准偏差)。

[0036] 如果多个候选模型在过滤之后仍然存在,则在208处选择模型,系统可以应用诸如图3A中所示的过程。在用于模型选择的这个选项中,在301处,系统可以应用每个返回的模型来确定参与者的多个候选轨迹(即,每个模型可以提供一个或多个轨迹)。此外,系统可以多次应用具有不同参数的任何给定的模型,以提供多个预报从而确定最准确的参数和模型。(例如,大型卡车可能会根据其品牌和型号将其车轴放置在卡车下方的不同位置。为了考虑多个卡车车轴配置,系统使用给定的模型来预测多个可能车轴位置中每个位置的不同轨迹。)

[0037] 然后,系统可以根据参与者的运动学状态评估参与者的每个候选轨迹,以通过以下方式选择返回的运动学模型之一:(a)在302处,确定每个预报的轨迹与相关参考路径的偏离程度;(b)在303处,识别与预报的轨迹相关的参考路径具有最小偏离程度的预报的轨迹;以及(c)在303处选择返回的运动学模型,该运动学模型产生与相关的参考路径具有最小偏离程度的预报的轨迹。参考路径将是模型的输入,并且通过检查(a)车道几何形状、(b)参与者的当前状态(例如参与者在车道上的位置)和(c)道路中其他参与者或障碍物的位置来确定参考路径。不同类型的参与者可以具有不同的参考路径,并且系统可以确定与预报的轨迹的运动学模型所相关的参与者的类别相对应的参考路径。

[0038] 从多个候选模型中选择模型的另一种方法如图3B所示。在用于模型选择的该选项中,在系统处可以创建混合运动学模型,混合运动学模型包括:(a)返回的运动学模型中的第一返回的运动学模型的路径跟随器(311),和(b)返回的运动模型中的不同的一个返回的运动模型的运动学评估器(312)。为了确定系统将从中选择这些元素的模型,系统可以使用多个模型进行轨迹预测,然后观察对其进行预测的参与者。预测与参与者的实际动作最接近或最频繁匹配的模型可以是从中选择这些元素的模型。该过程可以随着时间的推移而改进,因为系统可以重复地进行预测并且将其与实际评估进行比较,这更新了混合模型,以包含随着时间的推移最一致准确、最准确的那些模型的元素。

[0039] 作为图3B中步骤311和312之一或两者的替代方案,系统可以使用机器学习模型来开发全新的路径跟随器、新的运动学评估器或全新的运动学模型。为了开发新的模型,该系统可以:(i)收集(如果还不可用的话)并且访问其他参与者的观测的轨迹的大型数据集;(ii)使用机器学习架构来构建以观测到的数据和参考路径作为输入并且提供新的预测状

态作为输出的模型；(iii) 基于将预报的轨迹与观测到的轨迹进行比较来创建损失函数或评估标准,以确定哪些轨迹是优选的；以及(iv) 使用该损失函数来训练模型。上述步骤(ii) 中的机器学习架构例如可以是但不限于长短期记忆(LSTM) 或另一人工递归神经网络(RNN) 架构。步骤(iii) 中使用的度量可以是最终位移误差计算(即,预报的轨迹与在未来的某些点处观测到的轨迹的末端之间的距离),或者其他度量。所得到的模型然后可以接受输入并且生成类似于混合模型的输出。

[0040] 在313处,系统然后将该混合(或简单地说是新的)模型与参与者的至少一个可能的类别相关联地保存到库中。在图2的步骤209中,系统还可以使用混合模型作为用于运动规划的所选则的模型。

[0041] 一旦系统已经选择了模型并且使用该模型来规划车辆运动,系统就可以继续观察关于参与者的数据,以确定是继续使用所选择的模型、选择新的模型还是生成新的混合模型。在图4中示出该过程,其中,当AV在401处沿着其规划的路径移动时,车辆的感知系统在402处继续确定参与者的更新了的运动学状态。在403处,系统可以确定参与者的更新了的运动学状态是否继续对应于所选择的模型。例如,如果系统一直在为参与者使用牵引车拖车模型,但是参与者以牵引车拖车不可能(或典型)做到的方式移动(例如急转弯),则系统可以确定牵引车拖车模型不再适合该参与者。如果参与者的更新了的运动学状态与模型一致(403:是),则在404处,系统可以简单地继续在如上所述的路径规划中使用该模型。然而,如果参与者的更新了的运动学状态与模型不一致(403:否),则在405处,系统可以访问和查询运动学模型库以在406处返回一个或多个新的模型。然后,系统可以选择新的模型(406),使用所选择的模型来预测参与者的轨迹(407),并且使用该轨迹来规划和实现车辆的运动(408),所有这些都使用如以上在图2的上下文中描述的方法。

[0042] 图5示出了用于车辆(例如AV)的示例系统架构599。车辆包括发动机或马达502以及用于测量车辆和/或其环境的各种参数的各种传感器。两种类型的车辆通用的可操作参数传感器例如包括:位置传感器536(例如加速度计、陀螺仪和/或惯性测量单元);速度传感器538;以及里程表传感器540。车辆还可以具有时钟542,系统使用时钟542来确定操作期间的车辆时间。时钟542可以被编码到车载计算设备中,它可以是单独的设备,或者多个时钟可以是可用的。

[0043] 车辆还将包括各种传感器,这些传感器用于收集有关车辆所处环境的信息。这些传感器例如可以包括:定位传感器560(例如全球定位系统(GPS)设备);对象检测传感器(例如一个或多个摄像机562);激光雷达传感器系统564;和/或雷达和/或声纳系统566。传感器还可以包括环境传感器568,例如降水传感器和/或环境温度传感器。对象检测传感器可以使车辆能够检测在任何方向上的在车辆599的给定距离范围内的运动的参与者和静止的对象,同时环境传感器收集关于车辆行驶区域内的环境条件的数据。系统还将包括一个或多个用于捕捉环境图像的摄像机562。这些传感器中的任何一个或全部、连同车辆的车载计算设备520的一个或多个处理器、以及当由处理器执行时使计算系统能够对感知数据中的对象进行分类的编程指令,可以被认为是车辆的感知系统。

[0044] 在车辆行驶过程中,信息从传感器传递到车载计算设备520。车载计算设备520分析由感知系统传感器捕获的数据,并且充当运动规划系统,执行指令以确定车辆的轨迹。轨迹包括姿态和时间参数,车辆的车载计算设备将控制各种车辆部件的操作,以使车辆沿着

轨迹移动。例如,车载计算设备520可以经由制动控制器522来控制制动;经由转向控制器124控制方向;经由节气门控制器526(在燃气动力车辆中)或马达速度控制器528(例如电动车辆中的电流水平控制器);差速齿轮控制器530(在具有变速器的车辆中);和/或其他控制器来控制速度和加速度。

[0045] 地理位置信息可以从定位传感器560传递到车载计算设备520,车载计算设备520然后可以访问与位置信息相对应的环境地图,以确定环境的已知固定特征(例如街道、建筑物、停车标志和/或停车/出发信号)。从摄像机562捕获的图像和/或从传感器(例如,激光雷达系统164)捕获的对象检测信息从这些传感器传递到车载计算设备520。对象检测信息和/或捕获的图像可以由车载计算设备520处理,以检测车辆599附近的对象。附加地或可替换地,AV可以将任何数据发送到外部服务器570以进行处理。用于基于传感器数据和/或捕获的图像进行对象检测的任何已知或将要已知的技术都可以用于本文公开的实施例中。

[0046] 在本文件中讨论的各种实施例中,描述可以说明车辆或车辆的车载计算设备可以实现编程指令,该编程指令使车辆的车载计算机设备做出决策,并且使用这些决策来控制一个或多个车辆系统的操作。然而,实施例不限于这种布置,因为在各种实施例中,分析、决策和/或可操作的控制可以全部或部分地由与车辆的车载计算设备进行电子通信的其他计算设备来处理。这种其他计算设备的示例包括与乘坐车辆的人相关的电子设备(例如智能手机),以及经由无线网络与车辆进行电子通信的远程服务器。任何这样的设备的处理器都可以执行下面将要讨论的操作。

[0047] 上述公开的特征和功能以及替代方案可以组合到许多其他不同的系统或应用中。各种组件可以用硬件或软件或嵌入式软件来实现。本领域技术人员可以做出各种目前不可预见或不可预期的替代方案、修改、变化或改进,其中的每个也旨在被公开的实施例所涵盖。

[0048] 与上述披露相关的术语包括:

[0049] 术语“车辆”是指能够承载一名或多名乘客和/或货物并且由任何形式的能量提供动力的任何移动形式的运输工具。术语“车辆”包括但不限于汽车、卡车、厢式货车、火车、自主车辆、飞机、无人机等。“自主车辆”是指具有处理器、编程指令和可由处理器控制而无需人工操作的传动系统部件的车辆。自主车辆可以是完全自主的,因为它不需要人工操作大多数或所有的驾驶条件和功能。可替代地,它可以是半自主的,因为在某些条件下或某些操作可能需要人工操作员,或者人工操作员可以超越车辆的自主系统并且控制车辆。自主车辆还包括其中自主系统增强了车辆的人工操作的车辆,例如具有驾驶员辅助转向、速度控制、制动、泊车和其他高级驾驶员辅助系统的车辆。

[0050] 术语“自我车辆”是指在环境中移动的特定车辆。当在本文件中使用时,术语“自我车辆”通常是指在环境中移动的AV,具有被编程为确定AV将移动或不移动的位置的自主车辆控制系统(AVS)。

[0051] 在本文件中,术语“街道”、“车道”、“道路”和“十字路口”以在一条或多条道路上行驶的车辆为例进行了说明。然而,实施例旨在包括其他位置的车道和十字路口,例如停车场。此外,对于设计用于室内的自主车辆(例如仓库中的自动分拣设备),街道可以是仓库的通道,车道可以是通道的一部分。如果自主车辆是无人机或其他飞行器,则术语“街道”或“道路”可能代表一条航道,车道可能是航道的一部分。如果自主车辆是船只,那么术语“街

道”或“道路”可以表示水道,车道可以是水道的一部分。

[0052] “电子设备”或“计算设备”是指包括处理器和存储器的设备。每个设备可以具有其自己的处理器和/或存储器,或者可以像在虚拟机或容器布置中那样,处理器和/或者存储器可以与其他设备共享。存储器将包含或接收编程指令,该编程指令在由处理器执行时使用电子设备根据编程指令执行一个或多个操作。

[0053] 术语“存储器”、“存储器设备”、“数据存储”、“数字存储装置”等均指存储计算机可读数据(如数据集)、编程指令或两者的非临时设备。除非另有特别说明,否则术语“存储器”、“存储器设备”、“数据存储”、“数字存储装置”等旨在包括单个设备实施例、其中多个存储器设备一起或共同存储一组数据或指令的实施例,以及这些设备内的单个扇区。

[0054] 术语“处理器”和“处理设备”是指配置为执行编程指令的电子设备的硬件组件。除非另有特别说明,否则单数术语“处理器”或“处理设备”旨在包括单个处理设备实施例和多个处理设备一起或共同执行过程的实施例。

[0055] “机器学习架构”、“机器学习模型”或“模型”是指存储在计算机可读介质上的一组算法例程和参数,其可以基于一组输入特征来预测真实世界过程的输出(例如,对象轨迹的预测、患者的诊断或治疗、基于用户搜索查询的适当推荐等),而无需明确编程。软件例程的结构(例如,子例程的数量及其之间的关系)和/或参数的值可以在训练过程中确定,训练过程可以使用正在建模的真实世界过程的实际结果。这样的系统或模型被理解为必然植根于计算机技术,并且事实上,在没有计算技术的情况下无法实现甚至存在。虽然机器学习系统利用各种类型的统计分析,但机器学习系统与统计分析的区别在于,它能够在没有明确编程的情况下进行学习,并且植根于计算机技术。

[0056] 在本文件中,当使用“第一”和“第二”等相对顺序的术语来修饰名词时,这种使用只是为了区分一个项目和另一个项目,除非特别说明,否则不需要顺序。

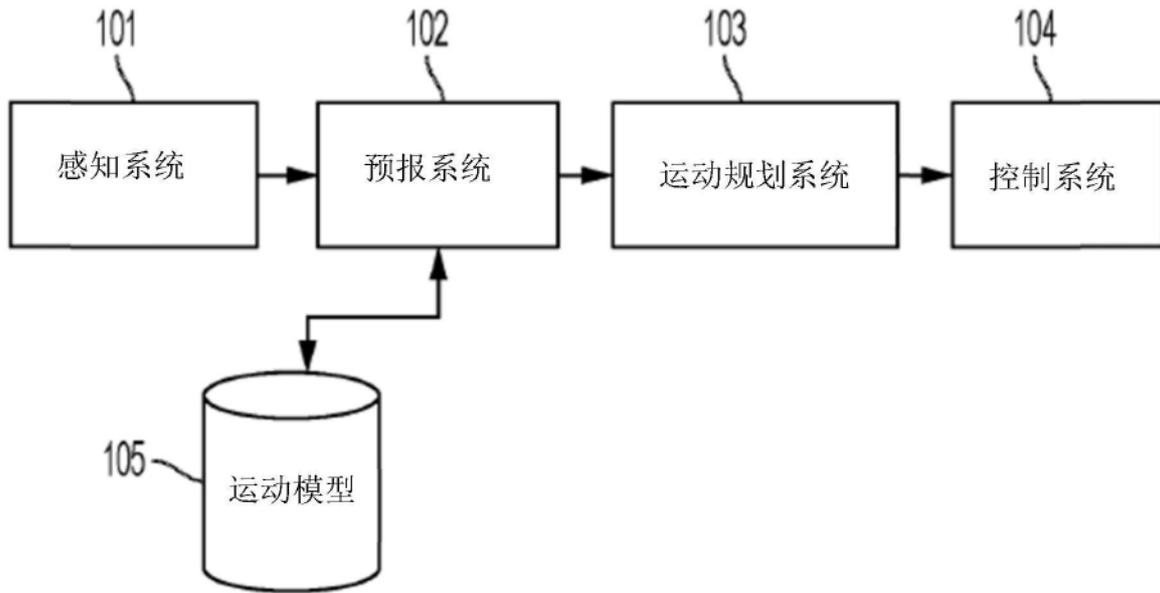


图1

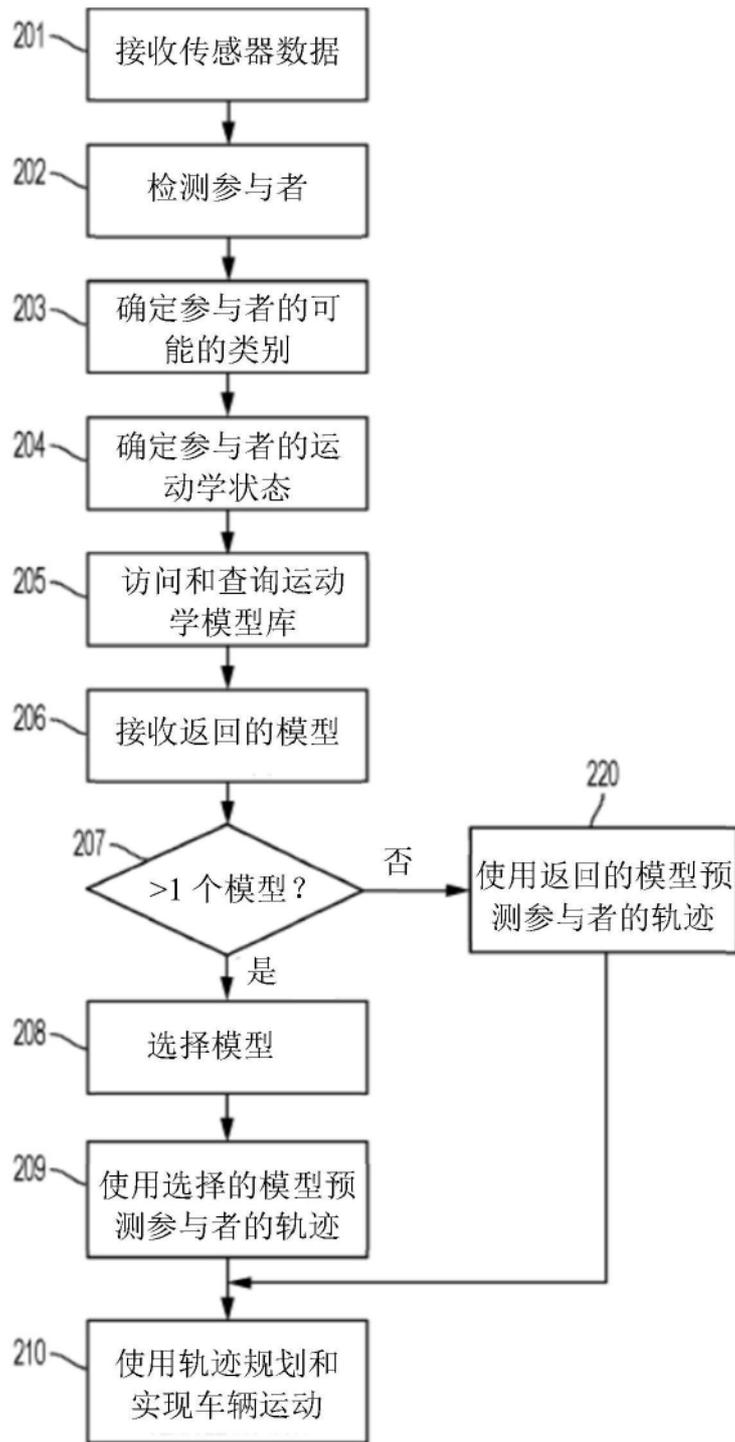


图2

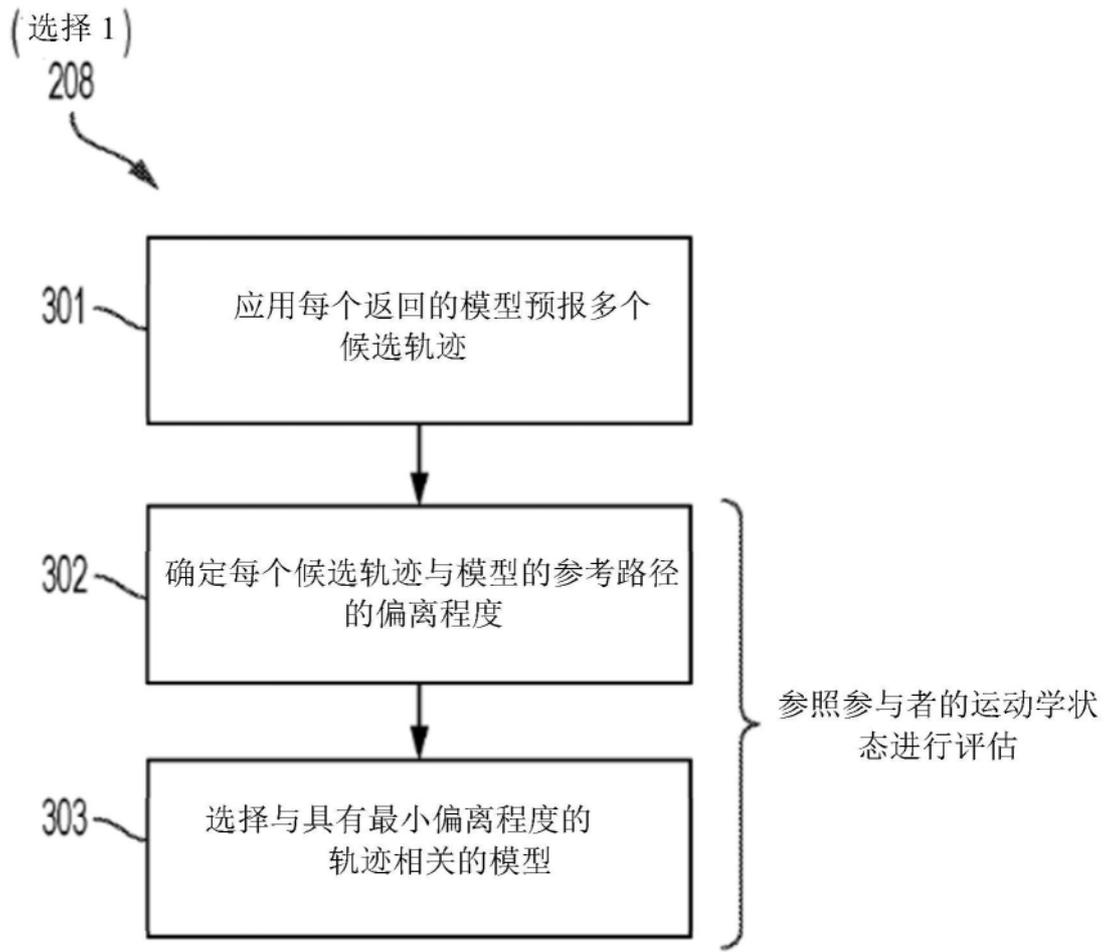


图3A

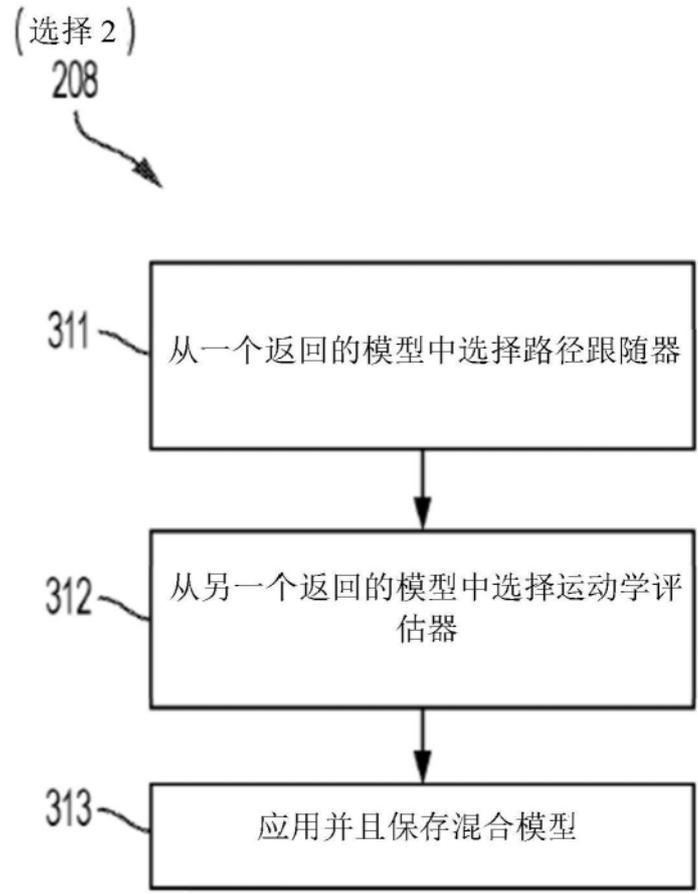


图3B

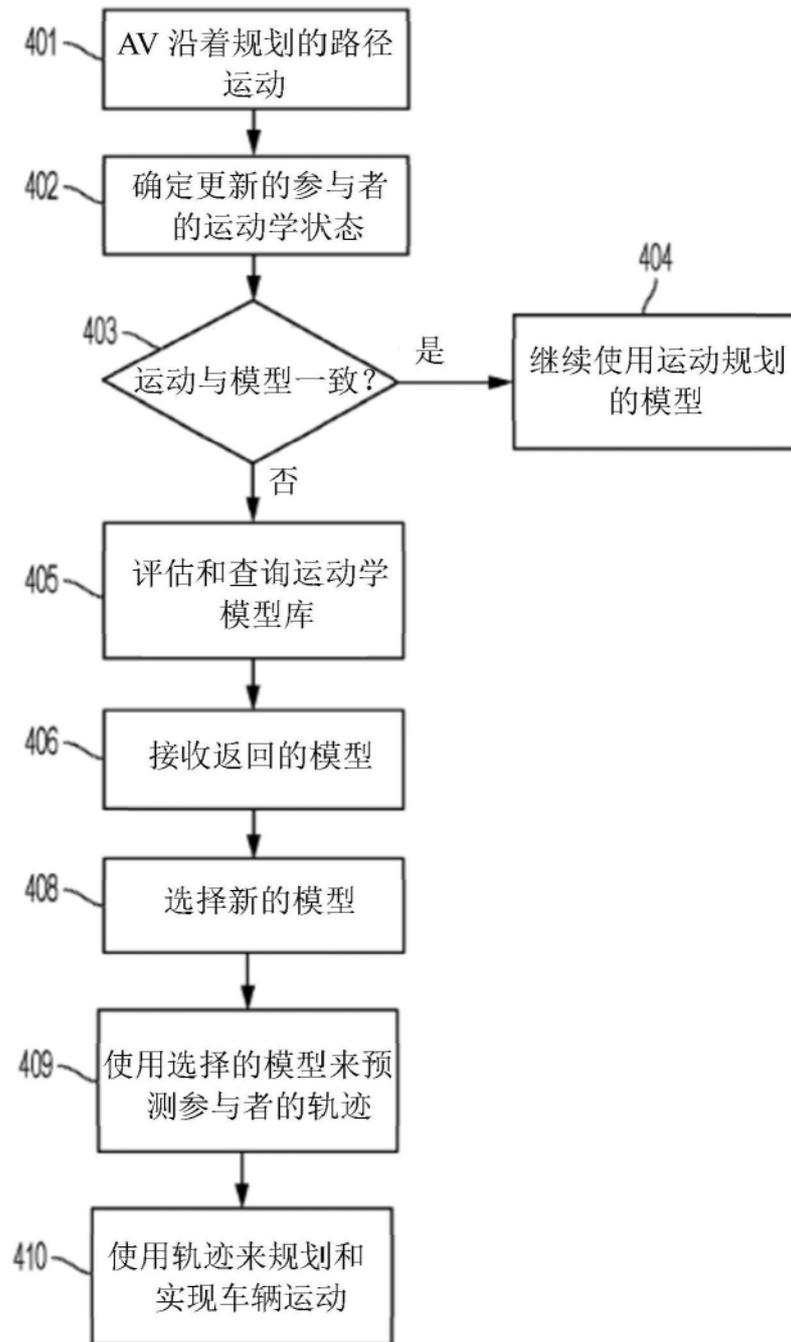


图4

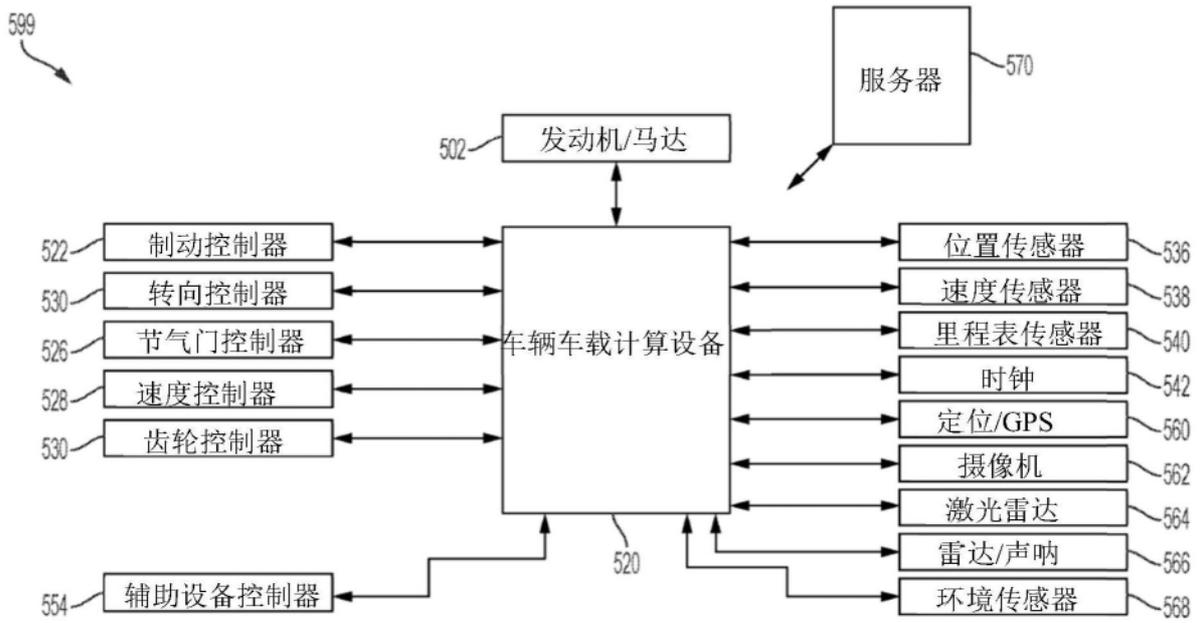


图5