



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112985435 B

(45) 授权公告日 2024.04.12

(21) 申请号 202011455183.8

G05D 1/243 (2024.01)

(22) 申请日 2020.12.10

G05D 1/242 (2024.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G05D 1/246 (2024.01)

申请公布号 CN 112985435 A

G05D 1/633 (2024.01)

G05D 1/644 (2024.01)

(43) 申请公布日 2021.06.18

G05D 1/248 (2024.01)

(30) 优先权数据

G05D 1/247 (2024.01)

16/712,035 2019.12.12 US

G05D 1/648 (2024.01)

G05D 105/22 (2024.01)

(73) 专利权人 百度(美国)有限责任公司

地址 美国加利福尼亚州桑尼维尔波尔多道 1195

(56) 对比文件

CN 103935361 A, 2014.07.23

CN 105752081 A, 2016.07.13

CN 107042825 A, 2017.08.15

CN 108268033 A, 2018.07.10

CN 109421707 A, 2019.03.05

CN 109491378 A, 2019.03.19

CN 109631921 A, 2019.04.16

CN 109937343 A, 2019.06.25

CN 110389581 A, 2019.10.29

US 2018095465 A1, 2018.04.05

(续)

(72) 发明人 潘嘉诚 许稼轩 周金运 孙宏艺

姜舒 陶佳鸣 蒋一飞 胡江滔

缪景皓

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事

务所(普通合伙) 11201

专利代理人 王萌

审查员 韩靖

(51) Int. Cl.

G01C 21/34 (2006.01)

G05D 1/43 (2024.01)

G01C 21/16 (2006.01)

G01S 19/49 (2010.01)

权利要求书1页 说明书11页 附图8页

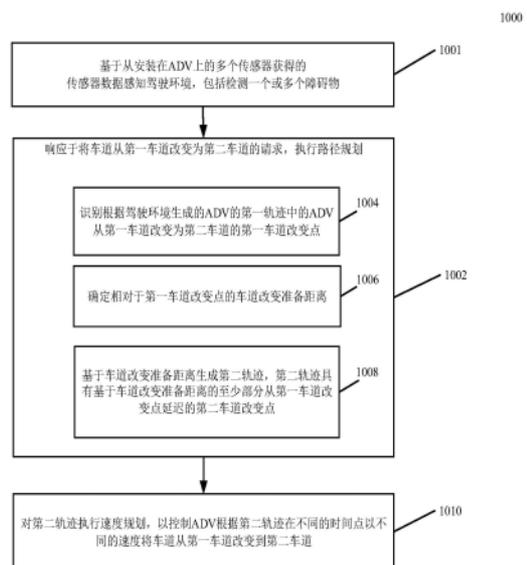
(54) 发明名称

用于操作自动驾驶车辆的方法及系统

(57) 摘要

本发明提供一种用于操作自动驾驶车辆的方法及系统。基于从安装在ADV上的多个传感器获得的传感器数据感知驾驶环境。响应于将车道从第一车道改变到第二车道的请求,执行路径规划。路径规划包括识别用于ADV在ADV的第一轨迹中从第一车道改变到第二车道的第一车道改变点,确定相对于第一车道改变点的车道改变准备距离,以及基于车道改变准备距离生成第二轨迹,其中第二轨迹具有从第一车道改变点延迟的第二车道改变点。对第二轨迹执行速度规划,以控制ADV根据第二轨迹在不同的时间点以不同的速度改变车道。

CN 112985435 B



[接上页]

(56) 对比文件

曹凯;于少伟;周芦芦.基于动态目标位置的

智能车辆控制研究.信息与控制.2008,(第04期),全文.

1. 一种用于操作自动驾驶车辆ADV的方法,所述方法包括:
基于从安装在所述ADV上的多个传感器获得的传感器数据感知驾驶环境,包括检测一个或多个障碍物;
响应于将车道从第一车道改变到第二车道的请求,执行路径规划,包括:
识别根据所述驾驶环境生成的所述ADV的第一轨迹中的用于所述ADV从所述第一车道改变到所述第二车道的第一车道改变点,
确定相对于所述第一车道改变点的车道改变准备距离,以及
基于所述车道改变准备距离生成第二轨迹,所述第二轨迹具有基于所述车道改变准备距离的至少部分从所述第一车道改变点延迟的第二车道改变点;以及
对所述第二轨迹执行速度规划,以控制所述ADV根据所述第二轨迹在不同的时间点以不同的速度将车道从所述第一车道改变到所述第二车道。
2. 如权利要求1所述的方法,其中所述第二轨迹停留在所述第一车道中并且在所述车道改变准备距离内逐渐朝向所述第二车道倾斜。
3. 如权利要求1所述的方法,其中基于所述ADV的状态和所述驾驶环境确定所述车道改变准备距离。
4. 如权利要求1所述的方法,其中根据所述第一车道和所述第二车道的当前交通状况,基于规则的集合确定所述车道改变准备距离。
5. 如权利要求4所述的方法,其中所述规则的集合包括基于所述ADV的速度或所述ADV相对于一个或多个障碍物的一个或多个距离的一个或多个车道改变规则。
6. 如权利要求1所述的方法,其中基于迭代优化算法确定所述车道改变准备距离。
7. 如权利要求6所述的方法,其中基于所述迭代优化算法生成所述第二轨迹。
8. 如权利要求1所述的方法,其中通过对描述所述ADV周围的所述驾驶环境的特征的集合应用机器学习模型确定所述车道改变准备距离。
9. 如权利要求1所述的方法,还包括基于所述车道改变准备距离生成站点-时间图。
10. 一种非暂时性机器可读介质,具有存储在其中的指令,所述指令在由处理器执行时使得所述处理器执行如权利要求1至9中任一项所述的方法的操作。
11. 一种数据处理系统,包括:
处理器;以及
存储器,耦接到所述处理器且存储指令,所述指令在由所述处理器执行时使得所述处理器执行如权利要求1至9中任一项所述的方法的操作。
12. 一种计算机程序产品,包括计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至9中任一项所述的方法的操作。

用于操作自动驾驶车辆的方法及系统

技术领域

[0001] 本公开的实施例一般涉及操作自主车辆。更特别地,本公开的实施例涉及用于自动驾驶车辆(autonomous driving vehicle,ADV)的车道改变的规划。

背景技术

[0002] 以自主模式(例如,无人驾驶)操作的车辆可以减轻乘坐者,尤其是驾驶员的一些驾驶相关责任。当以自主模式操作时,车辆可以使用车载传感器导航到各种位置,从而允许车辆以最小的人机交互或者在没有任何乘客的一些情况下行驶。

[0003] 运动规划和控制是自动驾驶中的关键操作。由于与其它障碍物的动态相互作用,ADV难以实现安全和敏捷的车道改变,尤其是在繁忙交通期间。常规的运动规划操作不考虑特定情况下的动态交互。例如,当紧邻ADV存在移动障碍物时,ADV可能需要沿着原始车道行进更长以找到用于车道改变的可能间隙,而不是直接开始车道改变。因此,可能需要改进用于ADV的车道改变的运动规划操作。

发明内容

[0004] 在第一方面中,提供一种用于操作自动驾驶车辆(ADV)的方法,所述方法包括:

[0005] 基于从安装在所述ADV上的多个传感器获得的传感器数据感知驾驶环境,包括检测一个或多个障碍物;

[0006] 响应于将车道从第一车道改变到第二车道的请求,执行路径规划,包括:

[0007] 识别根据所述驾驶环境生成的所述ADV的第一轨迹中的用于所述ADV从所述第一车道改变到所述第二车道的第一车道改变点,

[0008] 确定相对于所述第一车道改变点的车道改变准备距离,以及

[0009] 基于所述车道改变准备距离生成第二轨迹,所述第二轨迹具有基于所述车道改变准备距离的至少部分从所述第一车道改变点延迟的第二车道改变点;以及

[0010] 对所述第二轨迹执行速度规划,以控制所述ADV根据所述第二轨迹在不同的时间点以不同的速度将车道从所述第一车道改变到所述第二车道。

[0011] 在第二方面中,提供一种非暂时性机器可读介质,具有存储在其中的指令,所述指令在由处理器执行时使得所述处理器执行如第一方面所述的方法的操作。

[0012] 在第三方面中,提供一种数据处理系统,包括:

[0013] 处理器;以及

[0014] 存储器,耦接到所述处理器且存储指令,所述指令在由所述处理器执行时使得所述处理器执行如第一方面所述的方法的操作。

[0015] 根据本发明的方法及系统,简化了用于速度规划的车道改变任务,并且整体规划的轨迹安全、平滑、智能。

附图说明

[0016] 本公开的实施例通过示例的方式示出并且不限于附图中的图,在附图中相同的附图标记表示相似的元件。

[0017] 图1是示出根据一个实施例的联网系统的框图。

[0018] 图2是示出根据一个实施例的自主车辆的示例的框图。

[0019] 图3A-3B是示出根据一个实施例的与自主车辆一起使用的感知和规划系统的示例的框图。

[0020] 图4是示出根据一个实施例的车道改变模块的示例的框图。

[0021] 图5是示出根据一个实施例的用于车道改变的规划的示例的处理流程图。

[0022] 图6示出用于车道改变的路径规划。

[0023] 图7A-7C示出用于车道改变的速度规划。

[0024] 图8A-8B示出用于车道改变的站点-时间图(station-time graph,ST图)。

[0025] 图9A是示出根据一个实施例的用于规划用于ADV的车道改变的方法的示例的示意图。

[0026] 图9B示出图9A中的示例中的站点-时间图(ST图)。

[0027] 图10是示出根据一个实施例的用于基于准备距离规划车道改变以用于操作ADV的过程的示例的流程图。

具体实施方式

[0028] 将参考以下讨论的细节描述本公开的各个实施例和方面,并且附图将示出各个实施例。以下描述和附图是本公开的说明并且不应被解释为限制本公开。描述了许多具体细节以提供对本公开的各个实施例的全面理解。然而,在某些情况下,为了提供对本公开的实施例的简要讨论,没有描述公知或常规的细节。

[0029] 说明书中对“一个实施例”或“实施例”的引用意味着结合该实施例描述的特定特征、结构或特性可包括在本公开的至少一个实施例中。在说明书中的各个地方出现的短语“在一个实施例中”不一定都指同一实施例。

[0030] 根据一些实施例,在从用于ADV的原始车道到目标车道的车道改变之前,估计车道改变准备距离。然后,基于车道改变准备距离规划ADV的新路径,而不是仅操纵ADV的速度。与立即发起车道改变的先前生成的路径相比,新路径具有从先前生成的车道改变点延迟的新车道改变点,其中新路径停留在原始车道中,但仍在新车道改变点之前向目标车道倾斜。这样,简化了用于速度规划的车道改变任务,并且整体规划的轨迹安全、平滑、智能。

[0031] 根据一个实施例,基于从安装在ADV上的多个传感器获得的传感器数据感知驾驶环境,例如,检测一个或多个障碍物。响应于将车道从第一车道改变到第二车道的请求,执行路径规划。路径规划包括识别根据驾驶环境生成的ADV的第一轨迹中的用于ADV从第一车道改变到第二车道的第一车道改变点,确定相对于第一车道改变点的车道改变准备距离,以及基于车道改变准备距离生成第二轨迹,其中第二轨迹具有基于车道改变准备距离的至少部分从第一车道改变点延迟的第二车道改变点。对第二轨迹执行速度规划,以控制ADV根据第二轨迹在不同的时间点以不同的速度将车道从第一车道改变到第二车道。

[0032] 在一个实施例中,第二轨迹停留在第一车道中,并且在车道改变准备距离内逐渐

地朝向第二车道倾斜。在一个实施例中,车道改变准备距离是基于ADV的状态和驾驶环境确定的。在一个实施例中,可以根据第一车道和第二车道的当前交通状况,基于规则的集合确定车道改变准备距离。在一个实施例中,规则的集合包括基于ADV的速度或ADV相对于一个或多个障碍物的一个或多个距离的一个或多个车道改变规则。在一个实施例中,可以基于迭代优化算法确定车道改变准备距离。在一个实施例中,可以基于迭代优化算法生成第二路径轨迹。在一个实施例中,可通过对描述ADV周围的驾驶环境的特征的集合应用机器学习模型确定车道改变准备距离。在一个实施例中,可基于车道改变准备距离生成站点-时间图(ST图)。

[0033] 图1是示出根据本公开的一个实施例的自主车辆网络配置的框图。参考图1,网络配置100包括自主车辆101,自主车辆101可以通过网络102通信地耦接到一个或多个服务器103-104。尽管示出一个自主车辆,但是多个自主车辆可以通过网络102彼此耦接和/或耦接到服务器103-104。网络102可以是任何类型的网络,诸如局域网(LAN)、诸如因特网的广域网(WAN)、蜂窝网络、卫星网络、或其组合,有线或无线。服务器103-104可以是任何类型的服务器或服务器群集,诸如Web或云服务器、应用服务器、后端服务器或其组合。服务器103-104可以是数据分析服务器、内容服务器、交通信息服务器、地图和兴趣点(map and point of interest, MPOI)服务器或位置服务器等。

[0034] 自主车辆指的是能够被配置为处于自主模式的车辆,在自主模式中,车辆在驾驶员很少或没有输入的情况下导航通过环境。这种自主车辆可包括具有一个或多个传感器的传感器系统,传感器被配置为检测关于车辆操作于其中的环境的信息。车辆及其相关联的控制器使用检测的信息导航通过环境。自主车辆101可以以手动模式、全自主模式或部分自主模式操作。

[0035] 在一个实施例中,自主车辆101包括但不限于感知和规划系统110、车辆控制系统111、无线通信系统112、用户接口系统113和传感器系统115。自主车辆101还可包括在普通车辆中包括的某些常见组件,例如引擎、车轮、转向盘、变速器等,这些组件可以被车辆控制系统111和/或感知和规划系统110使用各种通信信号和/或命令(例如加速信号或命令、减速信号或命令、转向信号或命令、制动信号或命令等)控制。

[0036] 组件110-115可以经由互连、总线、网络或其组合彼此通信地耦接。例如,组件110-115可以经由控制器局域网(CAN)总线彼此通信地耦接。CAN总线是一种车辆总线标准,其被设计为允许微控制器和设备在没有主机的应用中彼此通信。它是基于消息的协议,最初被设计用于汽车内的多路电气布线,但是也用于许多其它环境中。

[0037] 现在参考图2,在一个实施例中,传感器系统115包括但不限于一个或多个相机211、全球定位系统(GPS)单元212、惯性测量单元(IMU)213、雷达单元214以及光检测和测距(light detection and range, LIDAR)单元215。GPS系统212可包括可操作以提供关于自主车辆的位置的信息的收发器。IMU单元213可基于惯性加速度感测自主车辆的位置和朝向变化。雷达单元214可以表示使用无线电信号感测自主车辆的局部环境内的对象的系统。在一些实施例中,除了感测对象之外,雷达单元214还可以额外地感测对象的速度和/或航向。LIDAR单元215可以使用激光感测自主车辆所处的环境中的对象。LIDAR单元215可包括一个或多个激光源、激光扫描器以及一个或多个检测器,以及其他系统组件。相机211可包括一个或多个设备以捕获自主车辆周围的环境的图像。相机211可以是静态相机和/或摄影机。

相机可以是机械可移动的,例如通过将相机安装在旋转和/或倾斜的平台上。

[0038] 传感器系统115还可包括其它传感器,诸如声纳传感器、红外传感器、转向传感器、油门传感器、制动传感器和音频传感器(例如麦克风)。音频传感器可以被配置为捕获来自自主车辆周围的环境的声音。转向传感器可以被配置为感测转向盘、车辆的车轮或其组合的转向角。油门传感器和制动传感器分别感测车辆的油门位置和制动位置。在一些情况下,油门传感器和制动传感器可以集成为集成的油门/制动传感器。

[0039] 在一个实施例中,车辆控制系统111包括但不限于转向单元201、油门单元202(也称为加速单元)和制动单元203。转向单元201用于调节车辆的方向或航向。油门单元202用于控制马达或引擎的速度,马达或引擎的速度转而控制车辆的速度和加速度。制动单元203通过提供摩擦力以使车辆的车轮或轮胎变慢来使车辆减速。注意,图2所示的组件可以以硬件、软件或其组合实现。

[0040] 返回参考图1,无线通信系统112允许在自主车辆101和外部系统,诸如设备、传感器、其他车辆等之间的通信。例如,无线通信系统112可以直接或经由通信网络与一个或多个设备(诸如在网络102上的服务器103-104)无线通信。无线通信系统112可以使用任何蜂窝通信网络或无线局域网(WLAN),例如使用WiFi与另一组件或系统通信。无线通信系统112可以例如使用红外链路、蓝牙等直接与设备(例如,乘客的移动设备、显示设备、车辆101内的扬声器)通信。用户接口系统113可以是在车辆101内实现的外围设备的部分,包括例如键盘、触摸屏显示设备、麦克风和扬声器等。

[0041] 自主车辆101的一些或所有功能可以由感知和规划系统110控制或管理,尤其是当以自动驾驶模式操作时。感知和规划系统110包括必要的硬件(例如,处理器、存储器、存储设备)和软件(例如,操作系统、规划和路由程序),以从传感器系统115、控制系统111、无线通信系统112和/或用户接口系统113接收信息,处理接收的信息,规划从起点到目的地点的路线或路径,然后基于规划和控制信息驾驶车辆101。可替换地,感知和规划系统110可以与车辆控制系统111集成。

[0042] 例如,作为乘客的用户可以例如经由用户接口指定行程的起始位置和目的地。感知和规划系统110获得行程相关数据。例如,感知和规划系统110可以从MPOI服务器获得位置和路线信息,MPOI服务器可以是服务器103-104的部分。位置服务器提供位置服务,以及MPOI服务器提供地图服务和某些位置的POI。可替换地,这种位置和MPOI信息可本地缓存在感知和规划系统110的永久存储设备中。

[0043] 当自主车辆101沿着路线移动时,感知和规划系统110还可以从交通信息系统或服务器(traffic information system or server,TIS)获得实时交通信息。注意,服务器103-104可以由第三方实体操作。可替换地,服务器103-104的功能可以与感知和规划系统110集成。基于实时交通信息、MPOI信息和位置信息,以及由传感器系统115检测或感测的实时局部环境数据(例如,障碍物、对象、附近车辆),感知和规划系统110可规划最佳路线,并例如经由控制系统111根据规划路线驾驶车辆101,以安全且高效地到达指定目的地。

[0044] 服务器103可以是用以执行用于各种客户端的数据分析服务的数据分析系统。在一个实施例中,数据分析系统103包括数据收集器121和机器学习引擎122。数据收集器121从各种车辆(自主车辆或者是由人类驾驶员驾驶的常规车辆)收集驾驶统计123。驾驶统计123包括指示发出的驾驶命令(例如,油门、制动、转向命令)和由车辆的传感器在不同的时

间点捕获的车辆的响应(例如,速度、加速度、减速度、方向)的信息。驾驶统计123还可包括描述不同的时间点的驾驶环境的信息,诸如路线(包括起始位置和目的地位置)、MPOI、道路状况、天气状况等。

[0045] 基于驾驶统计123,机器学习引擎122出于各种目的而生成或训练一组规则、算法和/或预测模型124。在一个实施例中,算法124可包括车道改变算法或车道改变模型以执行用于车道改变的路径规划和速度规划。车道改变算法或模型可包括识别用于ADV的第一车道改变点的算法或模型、确定车道改变准备距离的算法或模型、基于车道改变准备距离生成第二轨迹的算法或模型、以及在第二轨迹上执行速度规划以控制ADV变换车道的算法或模型。然后,算法124可以被上传到ADV上以在自动驾驶期间实时地使用。

[0046] 图3A和3B是示出根据一个实施例的与自主车辆一起使用的感知和规划系统的示例的框图。系统300可以被实现为图1的自主车辆101的部分,包括但不限于感知和规划系统110、控制系统111和传感器系统115。参考图3A-3B,感知和规划系统110包括但不限于定位模块301、感知模块302、预测模块303、决策模块304、规划模块305、控制模块306、路由模块307和车道改变模块308。

[0047] 模块301-308中的一些或全部可以以软件、硬件或其组合实现。例如,这些模块可被安装在永久存储设备352中,加载到存储器351中,并由一个或多个处理器(未示出)执行。注意,这些模块中的一些或全部可以通信地耦接到图2的车辆控制系统111的一些或全部模块或与之集成。模块301-308中的一些可以被集成在一起作为集成模块。

[0048] 定位模块301确定自主车辆300的当前位置(例如,利用GPS单元212)并管理与用户的行程或路线有关的任何数据。定位模块301(也称为地图和路线模块)管理与用户的行程或路线有关的任何数据。用户可以例如经由用户接口登录并指定行程的起始位置和目的地。定位模块301与自主车辆300的其他组件交流诸如地图和路线信息311,以获得与行程有关的数据。例如,定位模块301可以从位置服务器和地图与POI(MPOI)服务器获得位置和路线信息。位置服务器提供位置服务,以及MPOI服务器提供地图服务和某些位置的POI,它们可作为地图和路线信息311的部分被缓存。当自主车辆300沿着路线移动时,定位模块301还可以从交通信息系统或服务器获得实时交通信息。

[0049] 基于由传感器系统115提供的传感器数据和由定位模块301获得的定位信息,由感知模块302确定对周围环境的感知。感知信息可以表示普通驾驶员将感知到的驾驶员正在驾驶的周围的情况。感知可包括车道配置、交通灯信号、例如以对象形式的另一车辆、行人、建筑物、人行横道或其它交通相关标志(例如,停止标志、让路标志)等的相对位置。车道配置包括描述一个或多个车道的信息,诸如,例如车道的形状(例如,直的或弯曲的)、车道的宽度、道路中的车道数量、单向或双向车道、合并或分离车道、驶出车道等。

[0050] 感知模块302可包括计算机视觉系统或计算机视觉系统的功能,以处理和分析由一个或多个相机捕获的图像,以便识别自主车辆的环境中的对象和/或特征。对象可包括交通信号、车行道边界、其他车辆、行人和/或障碍物等。计算机视觉系统可使用对象识别算法、视频跟踪和其它计算机视觉技术。在一些实施例中,计算机视觉系统可以映射环境、跟踪对象、以及估计对象的速度等。感知模块302还可基于由诸如雷达和/或LIDAR的其他传感器提供的其他传感器数据检测对象。

[0051] 对于每个对象,预测模块303预测对象将在环境下表现什么。鉴于一组地图/路线

信息311和交通规则312,基于感知在时间点的驾驶环境的感知数据执行预测。例如,如果对象是在相反方向上的车辆并且当前驾驶环境包括十字路口,则预测模块303将预测车辆将可能直线向前移动还是转弯。如果感知数据指示十字路口没有交通灯,则预测模块303可以预测车辆在进入十字路口之前可能必须完全停止。如果感知数据指示车辆当前处于仅左转弯车道或仅右转弯车道,则预测模块303可预测车辆将更可能分别进行左转弯或右转弯。

[0052] 对于每个对象,决策模块304作出关于如何处理该对象的决策。例如,对于特定对象(例如,在交叉路线中的另一车辆)以及描述该对象的元数据(例如,速度、方向、转向角),决策模块304决定如何遇到该对象(例如,超车、让行、停止、通过)。决策模块304可根据一组规则,诸如交通规则或驾驶规则312作出这些决策,这组规则可存储于永久存储设备352中。

[0053] 路由模块307被配置为提供从起点到目的地的一条或多条路线或路径。对于例如从用户接收到的从起始位置到目的地位置的给定行程,路由模块307获得路线和地图信息311并且确定从起始位置用以到达目的地位置的所有可能的路线或路径。路由模块307可以为其确定的从起始位置用以到达目的地位置的每条路线生成地形图形式的参考线。参考线是指没有来自诸如其它车辆、障碍物或交通状况的其它者的任何干扰的理想路线或路径。也就是说,如果在道路上没有其它车辆、行人或障碍物,则ADV应该精确地或紧密地跟随参考线。然后,地形图被提供给决策模块304和/或规划模块305。决策模块304和/或规划模块305检查所有可能的路线,以鉴于由其它模块提供的其它数据(诸如来自定位模块301的交通状况、由感知模块302感知的驾驶环境和由预测模块303预测的交通状况)选择和修改最佳路线中的一个。取决于在时间点的特定驾驶环境,用于控制ADV的实际路径或路线可以接近或不同的于由路由模块307提供的参考线。

[0054] 基于对于每个感知的对象的决策,规划模块305使用由路由模块307提供的参考线作为基础规划用于自主车辆的路径或路线以及驾驶参数(例如,距离、速度和/或转向角)。也就是说,对于给定对象,决策模块304决策对该对象做什么,而规划模块305确定如何做。例如,对于给定对象,决策模块304可以决策经过对象,而规划模块305可以确定是在对象的左侧还是右侧经过。规划和控制数据由规划模块305生成,包括描述车辆300在下一个移动周期(例如,下一个路线/路径段)中将如何移动的信息。例如,规划和控制数据可指示车辆300以30英里每小时(mph)的速度移动10米,然后以25mph的速度改变到右车道。

[0055] 基于规划和控制数据,控制模块306通过根据由规划和控制数据限定的路线或路径向车辆控制系统111发送适当的命令或信号控制和驾驶自主车辆。规划和控制数据包括足够的信息以沿着路径或路线在不同的时间点使用适当的车辆设置或驾驶参数(例如,油门、制动、转向命令)将车辆从路线或路径的第一点驾驶到第二点。

[0056] 在一个实施例中,规划阶段在多个规划周期(也称为驾驶周期,诸如在100毫秒(ms)的每个时间间隔内)内执行。对于每个规划周期或驾驶周期,将基于规划和控制数据发出一个或多个控制命令。也就是说,对于每100ms,规划模块305规划下一个路线段或路径段,例如包括目标位置和ADV到达目标位置所需的时间。可替换地,规划模块305还可指定具体速度、方向和/或转向角等。在一个实施例中,规划模块305为下一预定的时间段,诸如5秒规划路线段或路径段。对于每个规划周期,规划模块305基于在先前周期中规划的目标位置规划用于当前周期(例如,下一个5秒)的目标位置。然后控制模块306基于当前周期的规划和控制数据生成一个或多个控制命令(例如,油门、制动、转向控制命令)。

[0057] 注意,决策模块304和规划模块305可以集成为集成模块。决策模块304/规划模块305可包括导航系统或导航系统的功能,以确定用于自主车辆的驾驶路径。例如,导航系统可以确定一系列速度和方向航向,以影响自主车辆沿着基本上避开感知的障碍物的路径的移动,同时大体使自主车辆沿着通向最终目的地的基于车行道的路径前进。目的地可以根据经由用户接口系统113的用户输入而被设置。当自主车辆在操作时,导航系统可以动态地更新驾驶路径。导航系统可以并入来自GPS系统的数据和一个或多个地图,以便确定用于自主车辆的驾驶路径。在一个实施例中,规划模块305包括负责改变车道的车道改变模块308,这将在下面进一步详细描述。

[0058] 图4是示出根据一个实施例的车道改变模块308的示例的框图。图5是示出根据一个实施例的用于车道改变的规划的示例的处理流程图。参考图4和图5,车道改变模块308包括但不限于车道改变点模块401、车道改变准备距离模块402、轨迹预测器模块403、交通规则模块404、迭代优化算法模块405和机器学习模块406。注意,模块401-406可以被集成到更少数量的模块或单个模块中。

[0059] 根据一个实施例,作为由感知模块302基于从安装在ADV上的各种传感器(诸如图2中所示的传感器)获得的传感器数据执行的感知过程的部分,驾驶环境被感知。例如,检测到一个或多个障碍物。基于感知信息,路径规划模块501执行路径规划。响应于将车道从第一车道改变到第二车道的请求,车道改变模块308被配置为执行用于ADV的车道改变。例如,车道改变点模块401被配置为识别根据驾驶环境生成的ADV的第一轨迹中的用于ADV从第一车道变换到第二车道的第一车道变换点。接下来,车道改变准备距离模块402被配置为确定相对于第一车道改变点的车道改变准备距离。然后,轨迹预测器模块403被配置为基于车道改变准备距离生成第二轨迹,其中第二轨迹具有基于车道改变准备距离的至少部分从第一车道改变点延迟的第二车道改变点。之后,速度规划模块502在第二轨迹上执行速度规划,以控制ADV根据第二轨迹在不同的时间点以不同的速度将车道从第一车道改变到第二车道。例如,ST图生成器503可以生成ST图用于速度规划。

[0060] 图6示出用于ADV 601的车道改变的路径规划。图7A-7C示出用于ADV 701的车道改变的速度规划。安全和敏捷的车道改变,尤其是在繁忙的交通期间,是用于自动驾驶系统的挑战性任务。当前,对于ADV(例如601,701)的车辆轨迹规划,可以有两个步骤:路径规划和速度规划。路径规划可以旨在处理静态或低速障碍物,并且生成与这些障碍物无冲突的路径。另一方面,速度规划可以旨在处理动态环境,例如移动的车辆、行人等,并操纵ADV的速度。在操作的每一帧期间,规划模块可以首先执行路径规划。然后,规划模块可以运行速度规划。

[0061] 如图6所示,在路径规划中,构建可行驶的路径边界630。例如,二次编程可用于制定问题,其中目标为车道的中心线,约束由决策的可驾驶路线边界630以及关于横向速度/加速度/急动度的一些其它限制等组成。可以确定规划路径610。

[0062] 在从原始车道(例如611、711)到目标车道(例如612、712)的车道改变或切换期间,由于ADV(例如601、701)主要处理与障碍物(例如602、603、702、703等)的动态交互,因此当前速度规划模块起主要作用。

[0063] 如图7A-7C所示,在规划ADV的路径之后,可以生成ST图720。ST图指示相对于时间行进的距离,其中s是沿着规划的路径的距离,以及t是时间。例如,ST图可作为粗略速度曲

线的部分被生成。所有障碍物(例如702、703)可以被映射到ST图720上。例如,障碍物702可映射到ST图720中的对应的特征722,以及另一障碍物703可映射到ST图720中的另一对应的特征723。然后,可以生成用于ADV的ST线。例如,对于ADV 701,可以有三个可能的ST线741、742和743。ST线742可以是优化的ST线。基于规划的路径(例如610)和ST线(例如742),可以确定ADV的详细规划的轨迹(例如601,701)。

[0064] 图8A-8B还示出作为当前运动规划的另一示例的用于车道改变的ST图。ADV 801在原始车道811上行驶,并且需要执行从原始车道811到目标车道812的车道改变。在ADV 801附近可以存在一个或多个障碍物802、803、804。ADV的路径810被规划为直接开始车道改变,如图8A所示。可以生成ST图820,如图8A所示。所有障碍物(例如,802、803、804)可以被映射到ST图820中的对应的特征(例如,822、823、824)上。然后,可以生成用于ADV 801的两条ST线841和842。然而,如图8B所示,例如由于不期望的速度加速或减速,两条ST线841和842都不是优化的ST线。在这种情况下,对于速度规划,找到用于ADV的轨迹可能是一项困难的任

务。

[0065] 在特定情况下,例如,当紧邻ADV(例如,801)存在另一障碍物(例如,802)时,ADV(例如,801)可能需要沿着原始车道(例如,811)行进更长,以加速或减速,以找到用于车道改变的可能间隙,而不是直接开始车道改变。现有的路径规划算法没有解决这个问题。因此,路径规划模块可能需要改进以解决上述问题。因此,可能需要开发一种方法改进用于ADV的当前运动规划。

[0066] 图9A示出根据一个实施例的用于规划用于ADV 901的车道改变的方法的示例。本文公开的方法旨在解决如上所述的规划用于ADV的车道改变的问题。在方法中,在规划用于ADV 901的车道改变时,在车道改变之前估计车道改变准备距离 S_{935} 。然后,由路径规划模块501基于车道改变准备距离 S_{935} 规划ADV 901的新路径930。方法通过为ADV 901规划更智能的路径而不是仅操纵ADV 901的速度而改进车道改变。这样,简化了用于车道改变的速度规划,并且ADV 901的整体规划的轨迹是安全、平滑和智能的。

[0067] 在车道改变期间,尤其是在繁忙的交通中,需要目标车道912中的目标“间隙”以将ADV 901放到其中。考虑这个目标“间隙”,ADV 901可被控制以相应地调整ADV 901的相对位置,同时向周围障碍物的驾驶员发送指示从原始车道911改变到目标车道912的意图的信号。一旦目标“间隙”可用,ADV 901就可被控制以执行车道改变,从而从原始车道911改变到目标车道912是安全的。

[0068] 在车道改变之前,可以需要车道改变准备时间 T 以准备和调整ADV 901相对于目标“间隙”的相对位置。然而,在路径规划期间,时间维度尚未在图片中。但是,车道改变准备时间 T 可被映射到路径规划中的车道改变准备距离 S_{935} 。在一个实施例中,车道改变准备距离 S_{935} 是指距原始车道改变点921的距离,如图9A中所示。例如,车道改变准备距离 S 可以是原始车道改变点921到ADV 901的中心沿着目标车道912的中心线的点之间的距离。在一个实施例中,车道改变点是指ADV开始将车道从原始车道改变至目标车道的点。例如,车道改变点可以指ADV的中心偏离ADV的路径中的车道的中心线的点。例如,原始车道改变点921可以指ADV 901的中心偏离先前生成的路径910中的原始车道911的中心线的点。

[0069] 如图9A所示,在路径规划中,例如通过路径规划模块501构造可行驶的路径边界940。例如,可以使用二次编程,目标是车道的中心线,约束由确定的可行驶路线边界940以

及对横向速度/加速度/急动度的一些其他限制等组成。可以基于准备距离S 935在可行驶路径边界940内确定新规划的路径930。

[0070] 基于ADV 901的状态和交通状况,可以确定车道改变准备距离S 935的估计。例如,安装在ADV上的传感器可以感知交通状况。在一个实施例中,可以基于ADV 901的状态和/或由安装在ADV上的传感器感知的驾驶环境确定车道改变准备距离S。例如,传感器可以检测目标车道912或原始车道911中的一个或多个障碍物。例如,驾驶环境可以包括原始车道911和目标车道912的当前交通状况。

[0071] 在一个实施例中,车道改变准备距离S 935可由根据第一车道和第二车道的当前交通状况的一组规则产生。例如,考虑障碍物902、903和904,路径规划模块501可以基于一组交通规则计算车道改变准备距离S 935,以将ADV 901纳入目标车道912中的目标“间隙”中,以避免与障碍物902、903和904碰撞。例如,该组规则可以包括基于ADV 901的速度或者ADV 901相对于一个或多个障碍物902、903和904的一个或多个距离的一个或多个车道改变规则。

[0072] 在一个实施例中,可基于迭代优化算法来确定车道改变准备距离S 935。例如,初始车道改变准备距离可以用作起点。在迭代优化算法之后,可确定车道改变准备距离S 935。

[0073] 在一个实施例中,可以通过对描述ADV周围的驾驶环境的特征的集合应用机器学习模型确定车道改变准备距离S 935。例如,机器学习模型可以用于学习车道改变准备距离与驾驶环境之间的关系,并且确定车道改变准备距离S 935。

[0074] 图9B示出ADV 901的站点-时间图(ST图)。参照图9A和图9B,可以基于车道改变准备距离S 935生成用于ADV 901的车道改变的ST图920。所有障碍物(例如,902、903、904)可映射到ST图920中的对应的特征(例如,块922、923、924)上。给定车道改变准备距离S 935,可以将目标车道912中的长度=S的组块从路径边界中移除。由于优化的路径必须在路径边界中,所以该步骤确保ADV 901的最终路径930不会在车道改变准备距离S米之前步入目标车道912,如图9A所示。ST图920中的障碍物(例如,902、903、904)的对应的特征(例如,块922、923、924)可向上和/或向右移动,如图9B中所说明。如图9B所示,可以生成优化的新轨迹(例如,941、942)。

[0075] 对于ADV 901正在向前移动的后续帧,车道改变准备距离S 935可以动态地缩小,直到它最终消失。

[0076] 对于速度规划,与立即起始车道改变的先前产生的路径910相比,新路径930具有从先前产生的车道改变点921延迟的新车道改变点931。例如,新车道改变点931可指ADV 901的中心偏离新路径930中的原始车道911的中心线的点。在一个实施例中,新路径930可停留在原始车道911中,而在车道改变准备距离S 935内向目标车道912倾斜。

[0077] 如图9B中所说明,因为所有障碍物(例如,902、903、904)的对应的特征(例如,922、923、924)基于车道改变准备距离S 935在ST图920中向上和/或向右移位,所以存在速度规划器规划安全且一致的速度分配的更多空间。因此,在ST图920中为ADV 901找到优化的ST线(例如941、942)的任务被简化。例如,ADV 901的速度规划模块502可以对新路径930执行速度规划。速度规划模块502可以根据新路径930在不同的时间点以不同的速度基于优化的ST线(例如941、942)执行速度规划。

[0078] 因此,通过此方法,整体规划的轨迹930是安全、平滑且智能的。此外,ADV 901在车道改变准备距离S 935内向目标车道912倾斜的事实是向周围障碍物的驾驶员发出ADV意图改变车道的信号。在大多数时间内,驾驶员可相应地响应并使ADV 901的车道改变更容易。

[0079] 图10是示出根据一个实施例的用于基于车道改变准备距离规划车道改变以用于操作ADV的过程1000的示例的流程图。过程1000可由ADV的处理逻辑执行,处理逻辑可包括软件、硬件或其组合。例如,过程1000可以由规划模块305执行。参照图10,在操作1001中,处理逻辑基于从安装在ADV上的多个传感器获得的传感器数据感知驾驶环境,包括检测一个或多个障碍物。在操作1002中,处理逻辑响应于将车道从第一车道变换到第二车道的请求,执行路径规划。操作1002包括操作1004、1006和1008。在执行路径规划时,在操作1004中,处理逻辑识别根据驾驶环境生成的ADV的第一轨迹中的用于ADV从第一车道变换到第二车道的第一车道变换点,在操作1006中,处理逻辑确定相对于第一车道改变点的车道改变准备距离,以及在操作1008中,处理逻辑基于车道改变准备距离生成第二轨迹,其中第二轨迹具有基于车道改变准备距离的至少部分从第一车道改变点延迟的第二车道改变点。在操作1010中,处理逻辑对第二轨迹执行速度规划,以控制ADV根据第二轨迹在不同的时间点以不同的速度将车道从第一车道改变到第二车道。

[0080] 注意,如上所示和所述的一些或所有组件可以用软件、硬件或其组合实现。例如,这些组件可以被实现为安装并存储在永久存储设备中的软件,软件可以由处理器(未示出)加载并执行在存储器中以执行贯穿本申请所述的过程或操作。可替换地,这些组件可被实现为被编程或嵌入到专用硬件中的可执行代码,专用硬件诸如集成电路(例如,专用IC或ASIC)、数字信号处理器(DSP)或现场可编程门阵列(FPGA),可执行代码可经由来自应用的对应驱动器和/或操作系统访问。此外,这些组件可以被实现为处理器或处理器内核中的特定硬件逻辑,作为经由一个或多个特定指令软件组件可访问的指令集的一部分。

[0081] 已经关于对计算机存储器内的数据位的操作的算法和符号表示呈现了前述详细描述的一些部分。这些算法描述和表示是数据处理领域的技术人员用来最有效地将他们的工作实质传达给本领域的其他技术人员的方式。算法在这里并且通常被认为是导致期望结果的自洽操作序列。这些操作是需要对物理量进行物理操纵的那些操作。

[0082] 然而,应当记住的是,所有这些和类似的术语都与适当的物理量相关联,并且仅仅是应用于这些量的方便的标记。除非特别声明,否则从以上讨论中显而易见的是,应当理解的是,在整个说明书中,使用诸如所附权利要求书中所阐述的术语的讨论指的是计算机系统或类似电子计算设备的动作和过程,所述计算机系统或类似电子计算设备将计算机系统的寄存器和存储器内的表示为物理(电子)量的数据操纵和变换成计算机系统存储器或寄存器或其它这样的信息存储、传输或显示设备内的类似地表示为物理量的其它数据。

[0083] 本公开的实施例还涉及用于执行本文的操作的装置。这种计算机程序存储在非瞬态计算机可读介质中。机器可读介质包括用于以机器(例如,计算机)可读的形式存储信息的任何机制。例如,机器可读(例如,计算机可读)介质包括机器(例如,计算机)可读存储介质(例如,只读存储器(“ROM”)、随机存取存储器(“RAM”)、磁盘存储介质、光存储介质、闪存设备)。

[0084] 在前述附图中描述的过程或方法可以由包括硬件(例如,电路、专用逻辑等)、软件(例如,体现在非暂时性计算机可读介质上)或两者的组合的处理逻辑来执行。尽管以上根

据一些顺序操作描述了过程或方法,但是应当理解的是,可以以不同的顺序执行所述的一些操作。此外,一些操作可以并行地而不是顺序地执行。

[0085] 本公开的实施例不是参考任何特别编程语言描述的。将了解,可使用各种编程语言实施如本文所述的本公开的实施例的教导。

[0086] 在前述说明书中,已经参考本公开的具体示例性实施例描述了本公开的实施例。显然,在不背离如所附权利要求书中所阐述的本公开的更宽的精神和范围的情况下,可以对其进行各种修改。因此,说明书和附图应被认为是说明性的而不是限制性的。

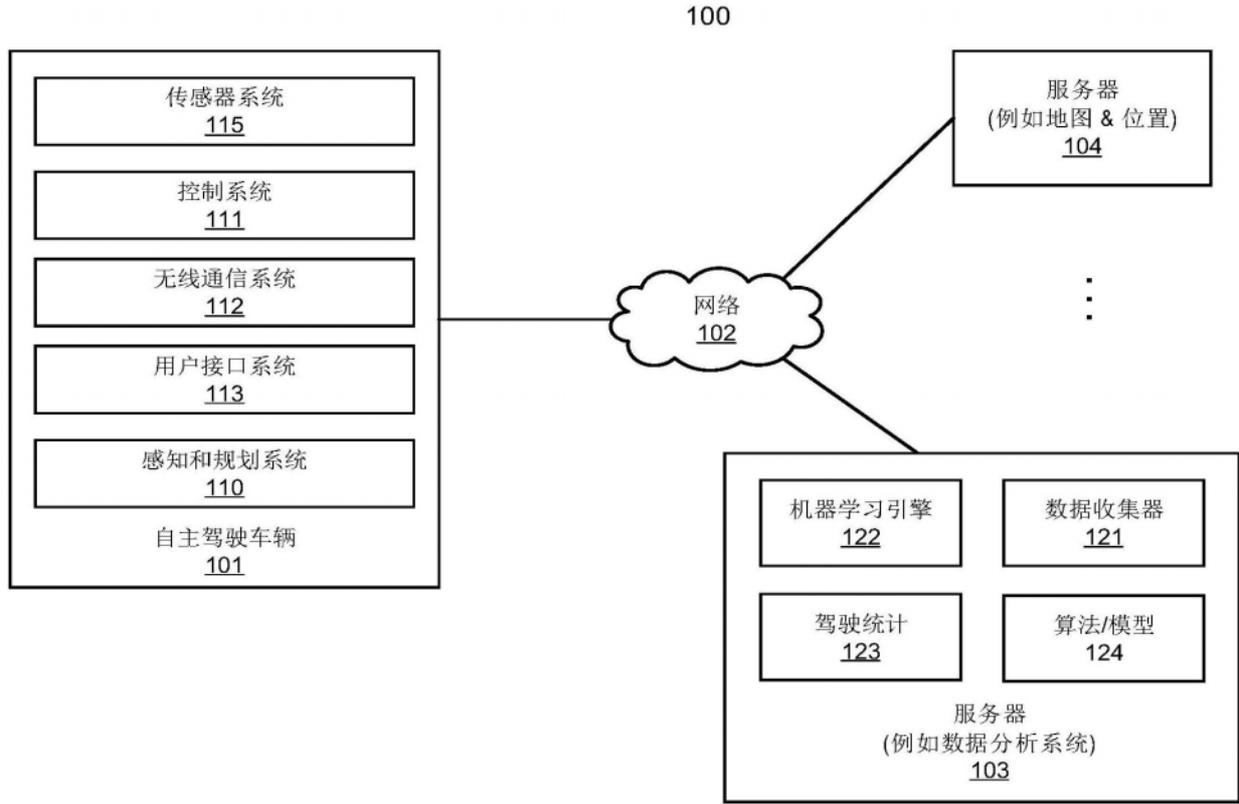


图1

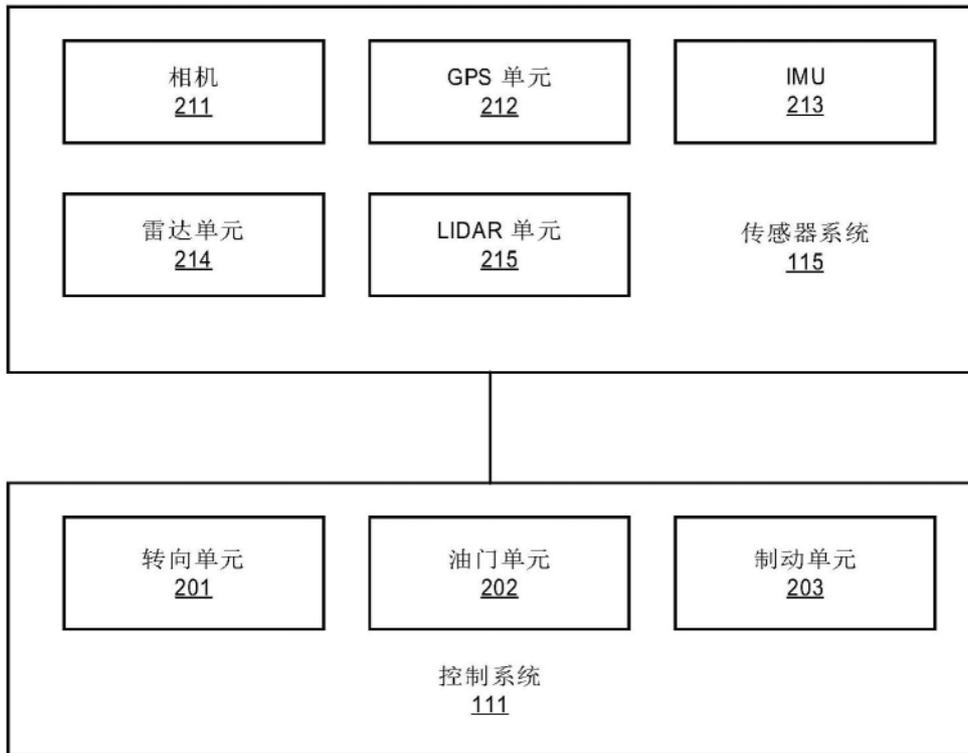


图2

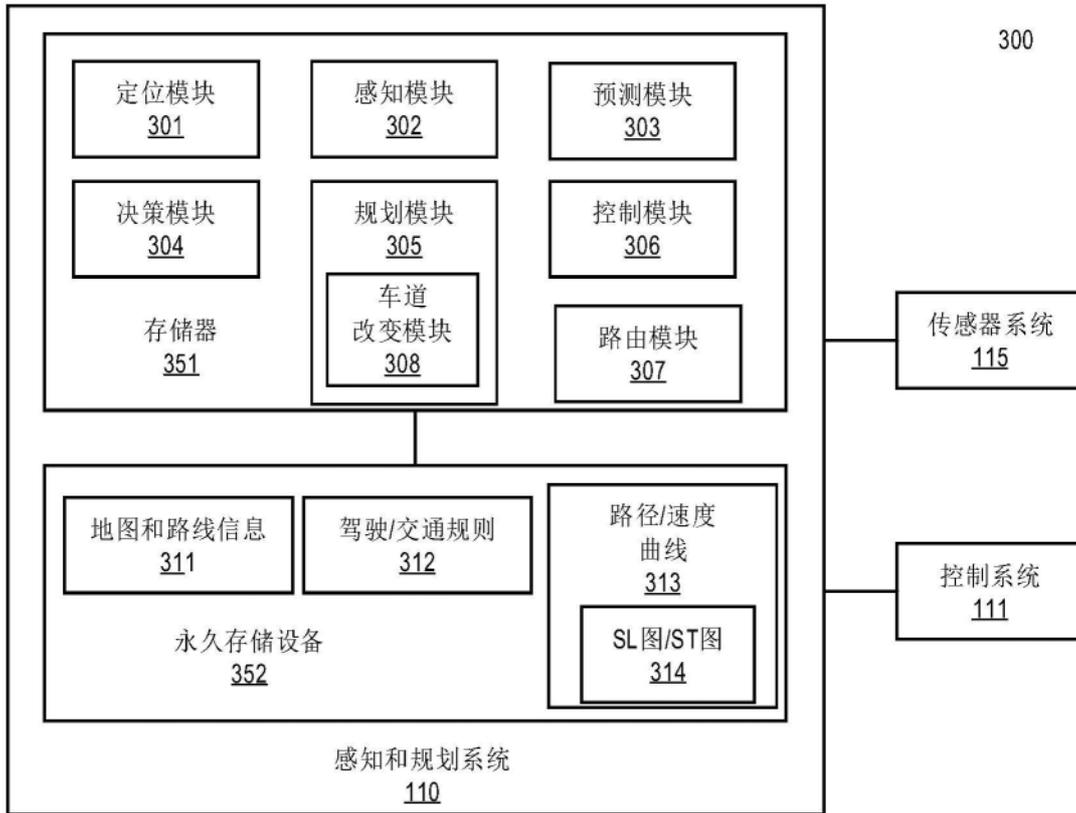


图3A

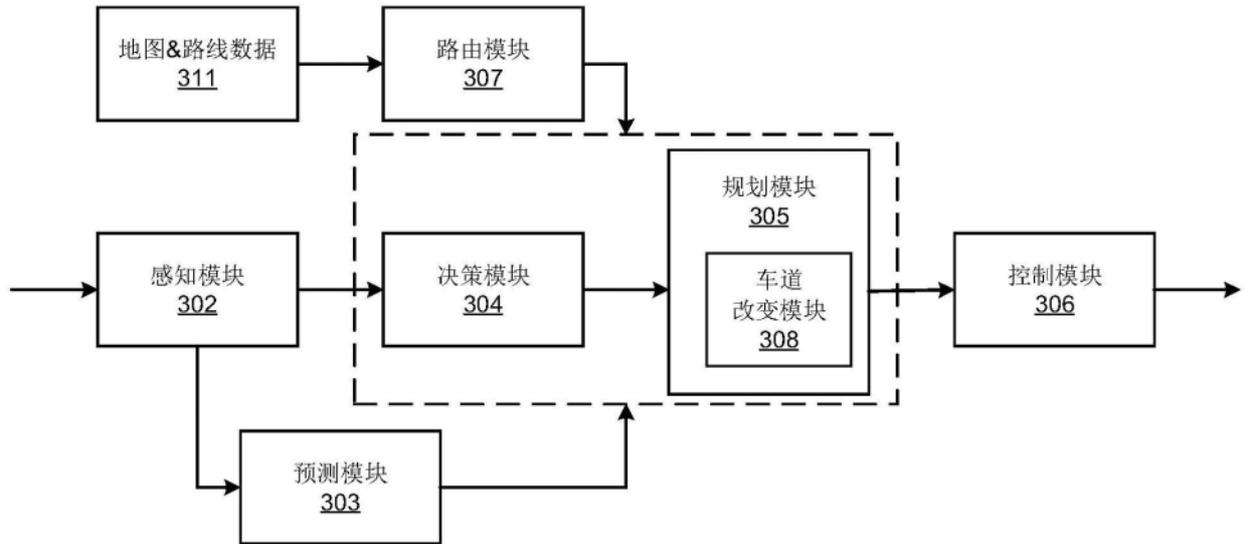


图3B

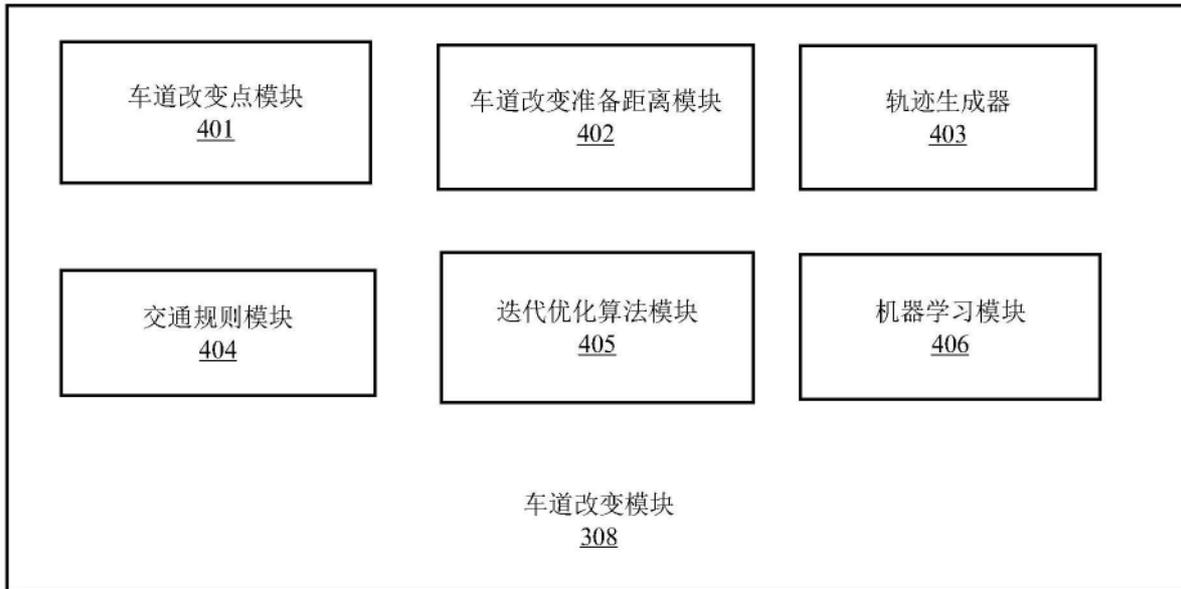


图4

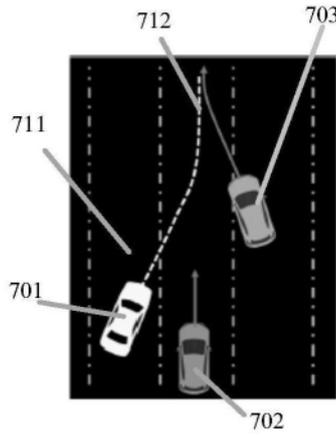


图7A

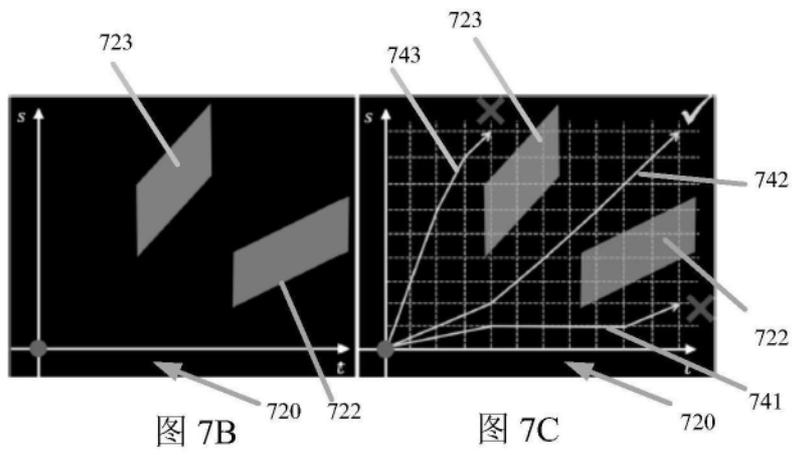


图 7B

图 7C

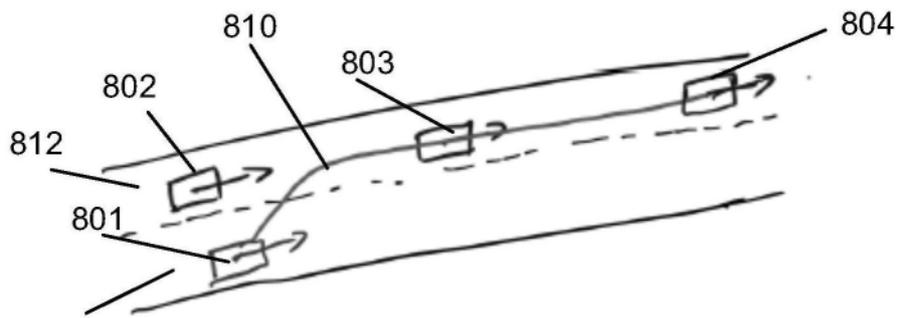


图8A

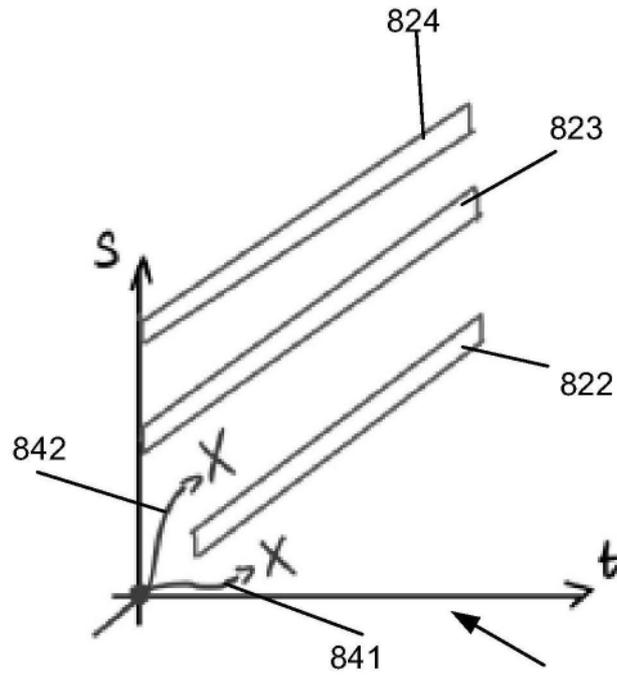


图8B

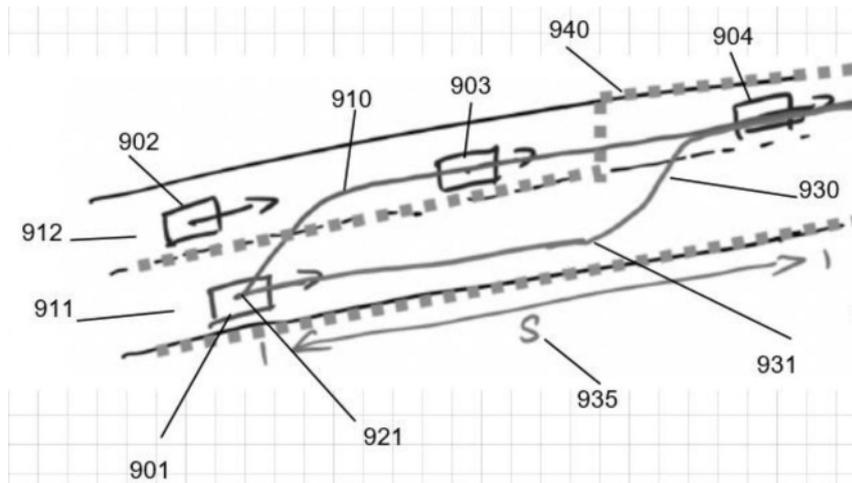


图9A

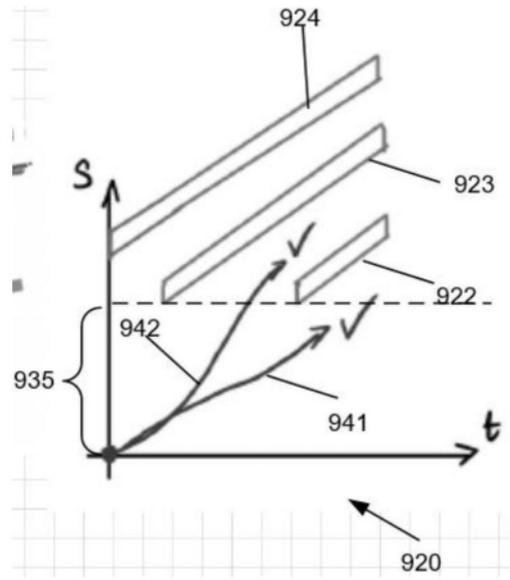


图9B

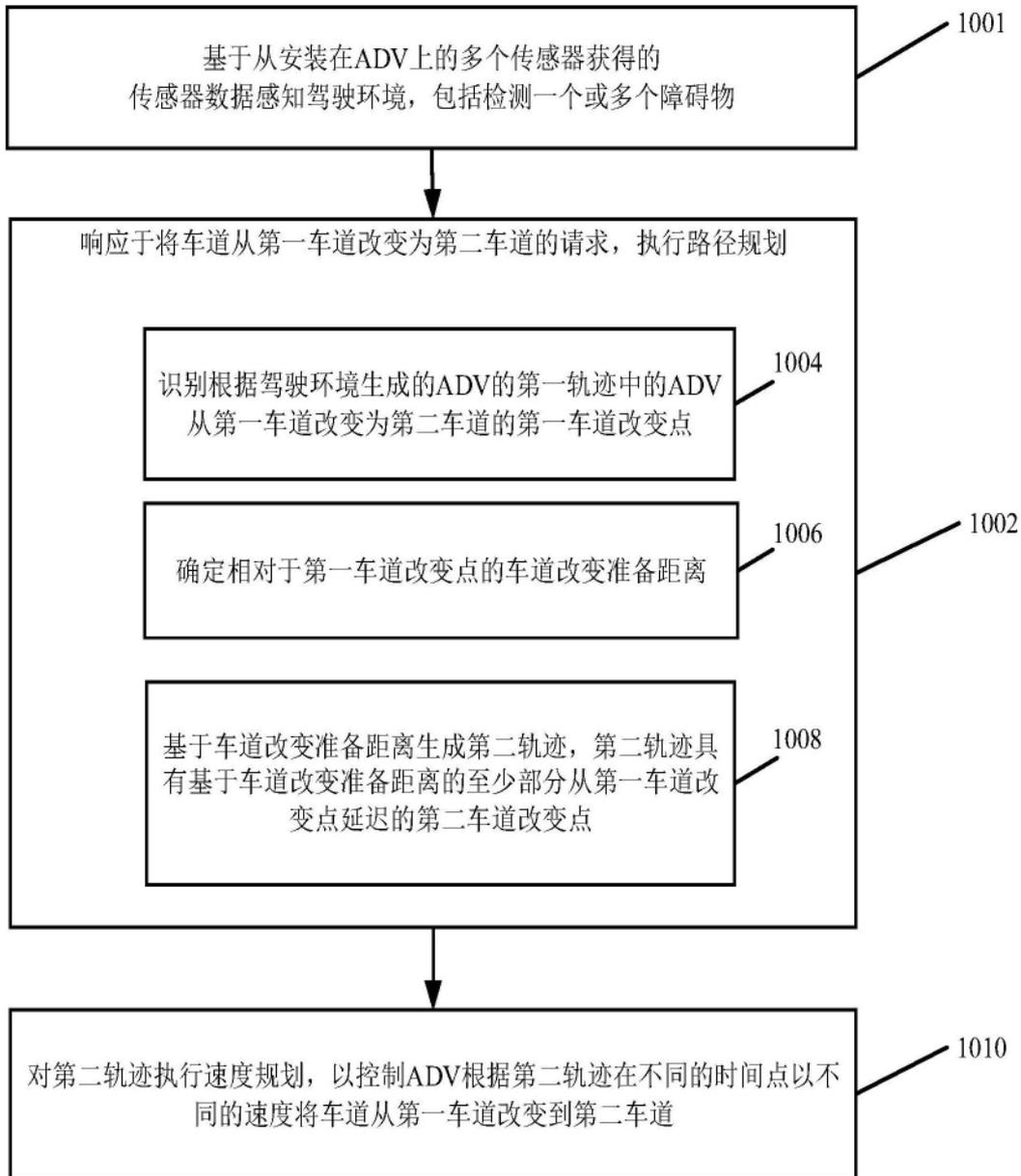


图10