



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109196432 B

(45) 授权公告日 2021.10.19

(21) 申请号 201780003108.8

(22) 申请日 2017.05.23

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109196432 A

(43) 申请公布日 2019.01.11

(30) 优先权数据
15/379,345 2016.12.14 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.03.12

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2017/033923 2017.05.23

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/111338 EN 2018.06.21

(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

(72) 发明人 罗琦 朱帆 胡森 孔旗 于翔
杨光

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理
有限责任公司 11204

代理人 马晓亚 王艳春

(51) Int.Cl.
G05D 1/02 (2020.01)

(56) 对比文件
US 2012101680 A1,2012.04.26
US 9015092 B2,2015.04.21
US 2013325775 A1,2013.12.05
US 2010198450 A1,2010.08.05
US 2004068359 A1,2004.04.08
DE 102008039950 A1,2010.03.04
CN 105700538 A,2016.06.22
CN 106066644 A,2016.11.02
CN 104766058 A,2015.07.08
CN 106114507 A,2016.11.16
WO 2013116141 A1,2013.08.08
WO 2012047977 A2,2012.04.12

审查员 黄忆君

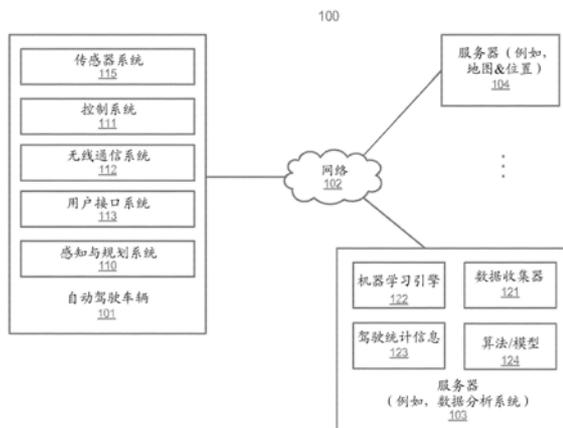
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

用于自动驾驶车辆的速度控制参数估计方法、介质和系统

(57) 摘要

在一个实施方式中,当基于目标速度发出速度控制命令(例如,油门命令、制动命令)时,响应于该速度控制命令基于ADV的预期速度和实际速度来确定第一反馈参数。通过将速度控制参数调整(SPCA)模型应用于在时间点处捕获或测量的输入参数的集合来确定第二反馈参数。输入参数的集合表示ADV在时间点处的驾驶环境。基于第一反馈参数和第二反馈参数调整ADV的速度控制器的一个或多个控制参数,其中,速度控制器配置为生成并发出速度控制命令。可以基于速度控制器的调整后的控制参数生成后续速度控制命令。



1. 一种用于操作自动驾驶车辆(ADV)的计算机实施的方法,所述方法包括:

响应于基于目标速度发出的速度控制命令,将所述自动驾驶车辆的预期速度和实际速度之间的差异确定为第一反馈参数,其中,所述预期速度基于所述目标速度通过动力传动系统参考模型来计算;

通过将基于从多个车辆捕获的驾驶统计数据离线训练的机器学习算法应用于实时获得的输入参数的集合来确定第二反馈参数,所述输入参数的集合表示所述自动驾驶车辆在时间点处的驾驶环境;

基于所述第一反馈参数、所述第二反馈参数和作为第三反馈参数的所述速度控制命令,动态地调整发出所述速度控制命令的速度控制器的控制参数,其中,所述第一反馈参数、所述第二反馈参数和所述第三反馈参数中的每个均与单独的权重因子相关联;以及

基于调整后的所述速度控制器的控制参数,生成用于后续命令循环的后续速度控制命令。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述速度控制命令表示在先命令循环的在先速度控制命令,以用于下一命令循环的下一速度控制命令。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述速度控制命令包括最大油门命令值的油门百分比。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述动力传动系统参考模型基于与所述自动驾驶车辆相关联的发动机、变速器、传动系参数来创建。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述输入参数的集合包括在所述时间点处测量的天气状况、道路状况、风阻、地图位置、车辆重量或轮胎压力中的至少一个。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述输入参数的集合还包括在所述时间点处乘坐所述自动驾驶车辆中的乘客的用户驾驶偏好。

7. 一种非暂时性机器可读介质,其中存储有指令,所述指令在由处理器执行时使所述处理器执行操作,所述操作包括:

响应于基于目标速度发出的速度控制命令,将自动驾驶车辆的预期速度和实际速度之间的差异确定为第一反馈参数,其中,所述预期速度基于所述目标速度通过动力传动系统参考模型来计算;

通过将基于从多个车辆捕获的驾驶统计数据离线训练的机器学习算法应用于实时获得的输入参数的集合来确定第二反馈参数,所述输入参数的集合表示所述自动驾驶车辆在时间点处的驾驶环境;

基于所述第一反馈参数、所述第二反馈参数和作为第三反馈参数的所述速度控制命令,动态地调整发出所述速度控制命令的速度控制器的控制参数,其中,所述第一反馈参数、所述第二反馈参数和所述第三反馈参数中的每个均与单独的权重因子相关联;以及

基于所述速度控制器的调整后的控制参数,生成用于后续命令循环的后续速度控制命令。

8. 根据权利要求7所述的机器可读介质,其中,所述速度控制命令表示在先命令循环的在先速度控制命令,以用于下一命令循环的下一速度控制命令。

9. 根据权利要求8所述的机器可读介质,其中,所述速度控制命令包括最大油门命令值的油门百分比。

10. 根据权利要求7所述的机器可读介质,其中,所述动力传动系统参考模型基于与所述自动驾驶车辆相关联的发动机、变速器、传动系参数来创建。

11. 根据权利要求7所述的机器可读介质,其中,所述输入参数的集合包括在所述时间点处测量的天气状况、道路状况、风阻、地图位置、车辆重量或轮胎压力中的至少一个。

12. 根据权利要求11所述的机器可读介质,其中,所述输入参数的集合还包括在所述时间点处乘坐在所述自动驾驶车辆中的乘客的用户驾驶偏好。

13. 一种数据处理系统,包括:

处理器;以及

存储器,联接至所述处理器以存储指令,所述指令在由所述处理器执行时使所述处理器执行操作,所述操作包括:

响应于基于目标速度发出的速度控制命令,将自动驾驶车辆的预期速度和实际速度之间的差异确定为第一反馈参数,其中,所述预期速度基于所述目标速度通过动力传动系统参考模型来计算;

通过将基于从多个车辆捕获的驾驶统计数据离线训练的机器学习算法应用于实时获得的输入参数的集合来确定第二反馈参数,所述输入参数的集合表示所述自动驾驶车辆在时间点处的驾驶环境;

基于所述第一反馈参数、所述第二反馈参数和作为第三反馈参数的所述速度控制命令,动态地调整发出所述速度控制命令的速度控制器的控制参数,其中,所述第一反馈参数、所述第二反馈参数和所述第三反馈参数中的每个均与单独的权重因子相关联;以及

基于所述速度控制器的调整后的控制参数,生成用于后续命令循环的后续速度控制命令。

14. 根据权利要求13所述的系统,其中,所述速度控制命令表示在先命令循环的在先速度控制命令,以用于下一命令循环的下一速度控制命令。

15. 根据权利要求14所述的系统,其中,所述速度控制命令包括最大油门命令值的油门百分比。

16. 根据权利要求13所述的系统,其中,所述动力传动系统参考模型基于与所述自动驾驶车辆相关联的发动机、变速器、传动系参数来创建。

17. 根据权利要求13所述的系统,其中,所述输入参数的集合包括在所述时间点处测量的天气状况、道路状况、风阻、地图位置、车辆重量或轮胎压力中的至少一个。

18. 根据权利要求17所述的系统,其中,所述输入参数的集合还包括在所述时间点处乘坐在所述自动驾驶车辆中的乘客的用户驾驶偏好。

用于自动驾驶车辆的速度控制参数估计方法、介质和系统

技术领域

[0001] 本发明的实施方式大体涉及操作自动驾驶车辆。更具体地,本发明的实施方式涉及估计用于自动驾驶车辆的速度控制的参数。

背景技术

[0002] 以自动驾驶模式运行(例如,无人驾驶)的车辆可以将乘员、尤其是驾驶员从一些驾驶相关的职责中解放出来。当以自动驾驶模式运行时,车辆可以使用车载传感器导航到各个位置,从而允许车辆在最少人机交互的情况下或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。然而,传统的运动规划操作主要从给定路径的曲率和速度来估计完成给定路径的难度,而不考虑不同类型车辆的特征差异。相同的运动规划和控制应用于所有类型的车辆,这在某些情况下可能不准确且不平稳。

[0004] 速度控制(例如,油门、制动器)动态模型在增加自动驾驶中的车辆路径跟踪精度方面是至关重要的。但是,由于速度控制机制的复杂性,所以难以用标准的建模方法对速度控制动力学进行精确建模。

发明内容

[0005] 本申请的一个方面提供了一种用于操作自动驾驶车辆(ADV)的计算机实施的方法。该方法包括:响应于基于目标速度发出的速度控制命令,基于所述自动驾驶车辆的预期速度和实际速度来确定第一反馈参数;通过将速度控制参数调整(SPCA)模型应用于实时获得的输入参数的集合来确定第二反馈参数,所述输入参数的集合表示所述自动驾驶车辆在时间点处的驾驶环境;基于所述第一反馈参数和所述第二反馈参数,动态地调整发出所述速度控制命令的速度控制器的控制参数;以及基于调整后的所述速度控制器的控制参数,生成用于后续命令循环的后续速度控制命令。

[0006] 本申请的另一方面提供了一种非暂时性机器可读介质,该机器可读介质中存储有指令,所述指令在由处理器执行时使所述处理器执行操作。所述操作包括:响应于基于目标速度发出的速度控制命令,基于所述自动驾驶车辆的预期速度和实际速度来确定第一反馈参数;通过将速度控制参数调整(SPCA)模型应用于实时获得的输入参数的集合来确定第二反馈参数,所述输入参数的集合表示所述自动驾驶车辆在时间点处的驾驶环境;基于所述第一反馈参数和所述第二反馈参数,动态地调整发出所述速度控制命令的速度控制器的控制参数;以及基于所述速度控制器的调整后的控制参数,生成用于后续命令循环的后续速度控制命令。

[0007] 本申请的又一方面提供了一种数据处理系统。该系统包括处理器和联接至所述处理器以存储指令的存储器。所述指令在由所述处理器执行时使所述处理器执行操作,所述操作包括:响应于基于目标速度发出的速度控制命令,基于所述自动驾驶车辆的预期速度和实际速度来确定第一反馈参数;通过将速度控制参数调整(SPCA)模型应用于实时获得的输入参数的集合来确定第二反馈参数,所述输入参数的集合表示所述自动驾驶车辆在时间

点处的驾驶环境;基于所述第一反馈参数和所述第二反馈参数,动态地调整发出所述速度控制命令的速度控制器的控制参数;以及基于所述速度控制器的调整后的控制参数,生成用于后续命令循环的后续速度控制命令。

附图说明

[0008] 本发明的实施方式在附图的各图中以举例而非限制的方式示出,附图中的相同参考数字指示相似元件。

[0009] 图1是示出根据本发明的一个实施方式的网络化系统的框图。

[0010] 图2是示出根据本发明的一个实施方式的自动驾驶车辆的示例的框图。

[0011] 图3是示出根据本发明的一个实施方式的与自动驾驶车辆一起使用的感知与规划系统的示例的框图。

[0012] 图4是示出根据本发明的一个实施方式的速度控制器的过程图。

[0013] 图5是示出根据本发明的一个实施方式的速度控制参数调整模型的示例的框图。

[0014] 图6是示出根据本发明的一个实施方式的调整用于操作自动驾驶车辆的速度控制器的速度控制参数的过程的流程图。。

[0015] 图7是示出根据一个实施方式的数据处理系统的框图。

具体实施方式

[0016] 将参考以下所讨论的细节来描述本发明的各种实施方式和方面,附图将示出所述各种实施方式。下列描述和附图是对本发明的说明,而不应当解释为限制本发明。描述了许多特定细节以提供对本发明各种实施方式的全面理解。然而,在某些情况下,并未描述众所周知的或常规的细节以提供对本发明的实施方式的简洁讨论。

[0017] 本说明书中对“一个实施方式”或“实施方式”的提及意味着结合该实施方式所描述的特定特征、结构或特性可以包括在本发明的至少一个实施方式中。短语“在一个实施方式中”在本说明书中各个地方的出现不必全部指同一实施方式。

[0018] 根据一些实施方式,使用速度控制参数建模机制来利用机器学习建模方法和经验建模方法来提高速度控制建模精度。车辆油门模型参数通常是在没有参数调整的情况下离线估计的,而系统模型总是随着车辆的退化而变化。在一个实施方式中,系统利用使用经验方法(例如,目标速度vs.实际速度)的方法来估计标称速度控制模型参数。此外,该系统还利用机器学习方法以基于实时捕获的各种因素或输入参数而在线调整速度控制模型来适应车辆差异和退化。

[0019] 最初,基于自动驾驶车辆(ADV)的驾驶统计信息或ADV的类型离线地识别标称速度控制模型的参数。驾驶统计信息可以包括在不同时间点和在各种驾驶条件下捕获的车辆速度、车辆加速度和/或道路摩擦等。在运行时(例如,在线),车辆将首先以离线确定的标称控制器增益和动力传动系统参考模型运行。当车辆在道路上行驶时,实时采集诸如天气、地图/道路状况、车辆净重、轮胎压力、驾驶员驾驶行为等信息作为机器学习模型的输入。机器学习模型的输出用于微调 ADV的速度控制器的速度控制参数,以产生后续速度控制命令(例如,油门命令、制动命令)。

[0020] 在一个实施方式中,当基于目标速度发出速度控制命令(例如,油门命令、制动命

令)时,响应于该速度控制命令而基于ADV的预期速度和实际速度来确定第一反馈参数。通过将机器学习模型(称为速度控制参数调整(SCPA)模型)应用于在时间点处捕获或测量的输入参数的集合来确定第二反馈参数。输入参数的集合表示在该时间点处ADV的驾驶环境。基于第一反馈参数和第二反馈参数调整ADV的速度控制器的一个或多个控制参数(例如,系数、增益),其中,速度控制器配置为生成并发出速度控制命令。可以基于速度控制器的调整后的控制参数生成后续速度控制命令。可基于从各种车辆(例如,类似的车辆)捕获的大量驾驶统计信息而离线地创建并训练SCPA模型。

[0021] 图1是示出根据本发明的一个实施方式的自动驾驶车辆网络配置的框图。参考图1,网络配置100包括可以通过网络102通信地联接到一个或多个服务器103至104的自动驾驶车辆101。尽管示出一个自动驾驶车辆,但多个自动驾驶车辆可以通过网络102联接到彼此和/或联接到服务器103至104。网络102可以是任何类型的网络,例如,有线或无线的局域网(LAN)、诸如互联网的广域网(WAN)、蜂窝网络、卫星网络或其组合。服务器103至104可以是任何类型的服务器或服务器群集,诸如,网络或云服务器、应用服务器、后端服务器或其组合。服务器103至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(MPOI)服务器或者位置服务器等。

[0022] 自动驾驶车辆是指可以被配置成处于自动驾驶模式下的车辆,在所述自动驾驶模式下车辆在极少或没有来自驾驶员的输入的情况下导航通过环境。这种自动驾驶车辆可以包括传感器系统,所述传感器系统具有被配置成检测与车辆运行环境有关的信息的一个或多个传感器。所述车辆和其相关联的控制器使用所检测的信息来导航通过所述环境。自动驾驶车辆101可以在手动模式下、在全自动驾驶模式下或者在部分自动驾驶模式下运行。

[0023] 在一个实施方式中,自动驾驶车辆101包括,但不限于,感知与规划系统110、车辆控制系统111、无线通信系统112、用户接口系统 113、信息娱乐系统114和传感器系统115。自动驾驶车辆101还可以包括普通车辆中包括的某些常用部件,诸如:发动机、车轮、方向盘、变速器等,所述部件可以由车辆控制系统111和/或感知与规划系统110 使用多种通信信号和/或命令进行控制,该多种通信信号和/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。

[0024] 部件110至115可以经由互连件、总线、网络或其组合通信地联接到彼此。例如,部件110至115可以经由控制器局域网(CAN)总线通信地联接到彼此。CAN总线是被设计成允许微控制器和装置在没有主机的应用中与彼此通信的车辆总线标准。它是最初是为汽车内的复用电气布线设计的基于消息的协议,但也用于许多其它环境。

[0025] 现在参考图2,在一个实施方式中,传感器系统115包括但不限于一个或多个摄像机211、全球定位系统(GPS)单元212、惯性测量单元(IMU)213、雷达单元214以及光探测和测距(LIDAR)单元 215。GPS系统212可以包括收发器,所述收发器可操作以提供关于自动驾驶车辆的位置的信息。IMU单元213可以基于惯性加速度来感测自动驾驶车辆的位置和定向变化。雷达单元214可以表示利用无线电信号来感测自动驾驶车辆的本地环境内的对象的系统。在一些实施方式中,除感测对象之外,雷达单元214可以另外感测对象的速度和/或前进方向。LIDAR单元215可以使用激光来感测自动驾驶车辆所处环境中的对象。除其它系统部件之外,LIDAR单元215还可以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。摄像机211可以包括用来采集自动驾驶车辆周围环境的图像的一个或多个装置。摄像机

211可以是静物摄像机和/或视频摄像机。摄像机可以是可机械地移动的,例如,通过将摄像机安装在旋转和/或倾斜平台上。

[0026] 传感器系统115还可以包括其它传感器,诸如:声纳传感器、红外传感器、转向传感器、油门传感器、制动传感器以及音频传感器(例如,麦克风)。音频传感器可以被配置成从自动驾驶车辆周围的环境中采集声音。转向传感器可以被配置成感测方向盘、车辆的车轮或其组合的转向角度。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。在一些情形下,油门传感器和制动传感器可以集成为集成式油门/制动传感器。

[0027] 在一个实施方式中,车辆控制系统111包括但不限于转向单元201、油门单元202(也被称为加速单元)和制动单元203。转向单元201 用来调整车辆的方向或前进方向。油门单元202用来控制电动机或发动机的速度,电动机或发动机的速度进而控制车辆的速度和加速度。制动单元203通过提供摩擦使车辆的车轮或轮胎减速而使车辆减速。应注意,如图2所示的部件可以以硬件、软件或其组合实施。

[0028] 回到图1,无线通信系统112允许自动驾驶车辆101与诸如装置、传感器、其它车辆等外部系统之间的通信。例如,无线通信系统112 可以与一个或多个装置直接无线通信,或者经由通信网络进行无线通信,诸如,通过网络102与服务器103至104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,以与另一部件或系统通信。无线通信系统112可以例如使用红外链路、蓝牙等与装置(例如,乘客的移动装置、显示装置、车辆101内的扬声器)直接通信。用户接口系统113可以是在车辆101内实施的外围装置的部分,包括例如键盘、触摸屏显示装置、麦克风和扬声器等。

[0029] 自动驾驶车辆101的功能中的一些或全部可以由感知与规划系统 110控制或管理,尤其当在自动驾驶模式下操作时。感知与规划系统 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、规划和路线安排程序),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,处理所接收的信息,规划从起始点到目的地点的路线或路径,随后基于规划和控制信息来驾驶车辆101。替代地,感知与规划系统110可以与车辆控制系统111集成在一起。

[0030] 例如,作为乘客的用户可以例如经由用户接口来指定行程的起始位置和目的地。感知与规划系统110获得行程相关数据。例如,感知与规划系统110可以从MPOI服务器中获得位置和路线信息,所述MPOI服务器可以是服务器103至104的一部分。位置服务器提供位置服务,并且MPOI服务器提供地图服务和某些位置的POI。替代地,此类位置和MPOI信息可以本地高速缓存在感知与规划系统110的永久性存储装置中。

[0031] 当自动驾驶车辆101沿着路线移动时,感知与规划系统110也可以从交通信息系统或服务器(TIS)获得实时交通信息。应注意,服务器103至104可以由第三方实体进行操作。替代地,服务器103至104 的功能可以与感知与规划系统110集成在一起。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检测或感测的实时本地环境数据(例如,障碍物、对象、附近车辆),感知与规划系统110可以规划最佳路线并且根据所规划的路线例如经由控制系统111来驾驶车辆101,以安全且高效到达指定目的地。

[0032] 服务器103可以是为各种客户端执行数据分析服务的数据分析系统。在一个实施方式中,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(自动驾驶车辆或由人类驾驶员驾驶的常规车辆)收集驾驶统计信息123。驾驶统计信

息123 包括指示发出的驾驶命令(例如,油门命令、制动命令、转向命令) 和由车辆的传感器在不同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。驾驶统计信息123还可例如包括描述不同时间点的驾驶环境的信息,例如,路线(包括起始位置和目的地位置)、MPOI、道路状况、天气状况等。

[0033] 基于驾驶统计信息123,机器学习引擎122出于各种目的执行或训练规则、算法和/或预测模型124的集合。在一个实施方式中,算法 /模型124可以包括用于控制自动驾驶车辆的速度的速度控制参数或增益的集合。算法/模型124还可以包括与特定类型的车辆相关联的动力传动系统参考模型。算法/模型124还可以包括(多个)机器学习模型(例如,SCPA模型)以在线使用来基于实时动态地捕获的输入参数的集合生成用于动态地调整速度控制器的速度控制参数的反馈参数。机器学习引擎还可以基于用户的驾驶统计信息生成驾驶ADV的用户的用户简档。用户的用户简档可以包括表示在不同驾驶环境下用户的驾驶偏好的信息。然后将算法/模型124和用户简档上传到ADV 以在线使用,特别是用于动态地调整ADV的一个或多个速度控制参数。

[0034] 图3是示出根据本发明的一个实施方式的与自动驾驶车辆一起使用的感知与规划系统的示例的框图。系统300可以被实施为图1的自动驾驶车辆101的一部分,包括但不限于感知与规划系统110、控制系统111和传感器系统115。参考图3,感知与规划系统110包括但不限于定位模块301、感知模块302、决策模块303、规划模块304以及控制模块305。

[0035] 模块301至305中的一些或全部可以以软件、硬件或其组合实施。例如,这些模块可以安装在永久性存储装置352中、加载到存储器351 中,并且由一个或多个处理器(未示出)执行。应注意,这些模块中的一些或全部可以通信地联接到图2的车辆控制系统111的一些或全部模块或者与它们集成在一起。模块301至305中的一些可以一起集成为集成模块。

[0036] 定位模块301(也被称为地图与路线模块)管理与用户的行程或路线相关的任何数据。用户可以例如经由用户接口登录并且指定行程的起始位置和目的地。定位模块301与自动驾驶车辆300的诸如地图和路线信息311的其它部件通信,以获得行程相关数据。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,并且MPOI服务器提供地图服务和某些位置的POI,从而可以作为地图和路线信息311的一部分高速缓存。当自动驾驶车辆300沿着路线移动时,定位模块301也可以从交通信息系统或服务器获得实时交通信息。

[0037] 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,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在驾驶员正驾驶的车辆周围将感知到的东西。感知可以包括例如采用对象形式的车道配置(例如,直线车道或弯曲车道)、交通灯信号、另一车辆的相对位置、行人、建筑物、人行横道或其它交通相关标志(例如,停止标志、让行标志)等。

[0038] 感知模块302可以包括计算机视觉系统或计算机视觉系统的功能,以处理并分析由一个或多个摄像机采集的图像,从而识别自动驾驶车辆环境中的对象和/或特征。所述对象可以包括交通信号、道路边界、其它车辆、行人和/或障碍物等。计算机视觉系统可以使用对象识别算法、视频跟踪以及其它计算机视觉技术。在一些实施方式中,计算机视觉系统可以绘制环境地图,跟踪对象,以及估算对象的速度等。感知模块302也可以基于由诸如雷达和/或LIDAR的其它传感器提供的其它传感器数据来检测对象。

[0039] 针对每个对象,决策模块303作出关于如何处置对象的决定。例如,针对特定对象(例如,交叉路线中的另一车辆)以及描述对象的元数据(例如,速度、方向、转弯角度),决策模块303决定如何与所述对象相遇(例如,超车、让行、停止、超过)。决策模块303可以根据诸如交通规则或驾驶规则312的规则集来作出此类决定,所述规则集可以存储在永久性存储装置352中。

[0040] 基于针对所感知到的对象中的每个的决定,规划模块304为自动驾驶车辆规划路径或路线以及驾驶参数(例如,距离、速度和/或转弯角度)。换言之,针对给定的对象,决策模块303决定对该对象做什么,而规划模块304确定如何去做。例如,针对给定的对象,决策模块303可以决定超过所述对象,而规划模块304可以确定在所述对象的左侧还是右侧超过。规划和控制数据由规划模块304生成,包括描述车辆300在下一移动循环(例如,下一路线/路径段)中将如何移动的信息。例如,规划和控制数据可以指示车辆300以30英里每小时(mph)的速度移动10米,随后以25mph的速度变到右侧车道。

[0041] 基于规划和控制数据,控制模块305根据由规划和控制数据限定的路线或路径通过将适当的命令或信号发送到车辆控制系统111来控制并驾驶自动驾驶车辆。所述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、制动和转弯命令)将车辆从路线或路径的第一点驾驶到第二点。

[0042] 应注意,决策模块303和规划模块304可以集成为集成模块。决策模块303/规划模块304可以包括导航系统或导航系统的功能,以确定自动驾驶车辆的驾驶路径。例如,导航系统可以确定用于实现自动驾驶车辆沿着以下路径移动的一系列速度和前进方向:所述路径在使自动驾驶车辆沿着通往最终目的地的基于车行道的路径前进的同时,基本上避免感知到的障碍物。目的地可以根据经由用户接口系统113进行的用户输入来设定。导航系统可以在自动驾驶车辆正在运行的同时动态地更新驾驶路径。导航系统可以将来自GPS系统和一个或多个地图的数据合并,以确定用于自动驾驶车辆的驾驶路径。

[0043] 决策模块303/规划模块304还可以包括防撞系统或防撞系统的功能,以识别、评估并且避免或以其它方式越过自动驾驶车辆的环境中的潜在障碍物。例如,防撞系统可以通过以下方式实现自动驾驶车辆的导航中的变化:操作控制系统111中的一个或多个子系统来采取变向操纵、转弯操纵、制动操纵等。防撞系统可以基于周围的交通模式、道路状况等自动确定可行的障碍物回避操纵。防撞系统可以被配置成使得当其它传感器系统检测到位于自动驾驶车辆将变向进入的相邻区域中的车辆、建筑障碍物等时不采取变向操纵。防撞系统可以自动选择既可使用又使得自动驾驶车辆乘员的安全性最大化的操纵。防撞系统可以选择预测使得自动驾驶车辆的乘客舱中出现最小量的加速度的避让操纵。

[0044] 在一个实施方式中,控制模块305包括速度控制器306和参数自适应模块307。速度控制器306被配置成基于由规划模块304提供的规划和控制数据来生成速度控制命令。速度控制命令可以是油门命令或制动命令。油门命令可以包括指示表示最大加速率的最大油门值的百分比的数据,也被称为油门百分比。类似地,制动命令可以由表示最大制动率的最大制动值的制动百分比表示,也被称为制动百分比。

[0045] 参数自适应模块307被配置为适应来自各种源的反馈信息。反馈信息可以包括考虑到由规划模块304规划的目标速度、响应于速度控制命令而基于动力传动系统参考模型314和ADV的实际速度的预期ADV速度。可基于车辆的驾驶统计信息或车辆的类型而离线地

创建 SCPA模型313和动力传动系统模型314。例如,SCPA模型313和动力传动系统参考模型314可以由数据分析系统103创建和训练。反馈信息或参数还可以包括通过将SCPA模型313应用于实时捕获的输入参数的集合而生成的反馈参数。输入参数的集合可以包括天气状况、道路状况、风阻、地图和兴趣点、车辆的净重和/或轮胎压力等。输入参数的集合还可以包括从与乘客相关的用户简档315获得的用户驾驶偏好。用户简档315可基于在先驾驶统计信息或特定用户或用户类型的行为来离线编译。

[0046] 基于由参数自适应模块307提供的反馈参数或数据,速度控制器 306的控制参数被调整,并且后续速度控制命令可以由速度控制器306 使用调整后的速度控制参数来生成。速度控制参数可以是速度控制器 306内的控制器的系数或增益。例如,速度控制器306可以基于比例-积分-微分(PID)控制器来建模或实施。PID控制器可以通过比例系数、积分系数和微分系数建模。这些系数可以由数据分析系统(例如数据分析系统或服务器103)基于大量驾驶统计信息离线地初始配置如下:

$$[0047] \quad u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

[0048] 其中, K_p 、 K_i 和 K_d 是PID控制器的比例系数、积分系数和微分系数。

[0049] PID是工业控制系统中常用的控制回路反馈机制(控制器)。PID 控制器连续地计算作为期望的设定点与测量的过程变量之间的差值的误差值,并且基于比例(K_p)、积分(K_i)和微分(K_d)项来施加校正。控制器试图通过将控制变量调整为由加权和确定的新值来使误差随时间推移最小化。在一个实施方式中,参数自适应模块307的输出用于动态地在线调整PID控制器的 K_p 、 K_i 和 K_d 中的至少一个。

[0050] 图4是示出根据本发明的一个实施方式的速度控制器的过程图。参照图4,基于由决策模块提供的决策数据,规划模块304生成包括目标速度(R)的规划和控制数据。目标速度被提供给速度控制器306。基于来自规划模块304的目标速度,速度控制器306生成并向车辆平台320发送速度控制命令(U),在该示例中,速度控制命令(U)是由油门百分比表示的油门命令。车辆的实际速度(Y)响应于速度控制命令而测量。另外,基于目标速度(R)使用动力传动系统参考模型314计算预期速度(Y_m)。

[0051] 动力传动系统参考模型314可基于相应车辆的发动机、变速器、传动系数数据而离线产生。其是基于车辆设计特性的车辆特定模型。动力传动系统参考模型314考虑到基于车辆特定设计的目标速度来提供预期速度。实际速度(Y)和预期速度(Y_m)之间的差值(E)(即 $E = |Y - Y_m|$)作为第一输入(称为第一反馈参数)被反馈给参数自适应模块307。

[0052] 另外,输入参数325的集合在运行时被捕获或测量,也被称为动态输入参数。输入参数325可以包括天气状况、道路状况、当前交通状况、风阻、地图位置和/或兴趣点、车辆的重量、车轮的轮胎压力等。输入参数325还可以包括当前作为车辆乘客的用户的用户驾驶偏好。用户驾驶偏好可以基于用户的在先驾驶统计信息而作为用户简档的一部分来确定。驾驶偏好可以包括转弯的平均速度、转弯半径、变更车道的速度和距离、路线选择偏好。输入参数的集合被馈送到产生第二反馈参数的SCPA模型313。如图5所示,SCPA模型313是基于在先驾驶统计信息离线地创建和建模的机器学习模型。第二反馈参数作为第二输入被提供给参数自适应模块307。

[0053] 此外,还将实际速度命令(例如,油门百分比或制动百分比)作为第三输入提供给

参数自适应模块307。实际速度命令被用作在先命令循环的在先速度控制命令,以确定当前/下一命令循环的速度控制命令。基于第一反馈参数(e)、第二反馈参数(SCPA模型的输出)和第三反馈参数(实际速度命令),参数自适应模块307生成表示对一个或多个速度控制参数(例如,PID控制器的 K_p 、 K_i 和 K_d)进行调整的自适应数据。可以基于第一、第二和/或第三反馈参数使用预定的加权公式来确定所述调整。每个反馈参数可以与特定的权重因子或权重系数相关联,该权重因子或权重系数可以由数据分析系统103离线地确定或建模。然后,速度控制器306利用该调整来调整或修改一个或多个速度控制参数。此后,速度控制器306使用调整后的速度控制参数生成后续的速度控制命令。

[0054] 图6是示出根据本发明的一个实施方式的调整用于操作自动驾驶车辆的速度控制器的速度控制参数的过程的流程图。过程600可以通过处理逻辑来执行,处理逻辑可以包括软件、硬件或其组合。例如,过程600可以由图3的控制模块305执行。参照图6,在操作601中,处理逻辑响应于基于目标速度发出的速度控制命令而基于ADV的预期速度和实际速度来确定第一反馈参数。在操作602中,处理逻辑通过将SPCA模型应用于实时获得的输入参数的集合来确定第二反馈参数。输入参数的集合表示在某时间点处ADV的驾驶环境(例如,天气状况、道路状况、风阻、地图和兴趣点、轮胎压力)。在操作603中,处理逻辑基于第一和第二反馈参数动态地调整发出速度控制命令的速度控制器的一个或多个控制参数(例如,系数、增益)。在操作604中,处理逻辑基于速度控制器的调整后的控制参数生成后续的速度控制命令。

[0055] 应注意,如上文示出和描述的部件中的一些或全部可以在软件、硬件或其组合中实施。例如,此类部件可以实施为安装并存储在永久性存储装置中的软件,所述软件可以通过处理器(未示出)加载在存储器中并在存储器中执行以实施贯穿本申请所述的过程或操作。替代地,此类部件可以实施为编程或嵌入到专用硬件(诸如,集成电路(例如,专用集成电路或ASIC)、数字信号处理器(DSP)或现场可编程门阵列(FPGA))中的可执行代码,所述可执行代码可以经由来自应用的相应驱动程序和/或操作系统来访问。此外,此类部件可以实施为处理器或处理器内核中的特定硬件逻辑,作为可由软件部件通过一个或多个特定指令访问的指令集的一部分。

[0056] 图7是示出可以与本发明的一个实施方式一起使用的数据处理系统的示例的框图。例如,系统1500可以表示以上所述的执行上述过程或方法中的任一个的任何数据处理系统,例如,图1的感知与规划系统110或者服务器103至104中的任一个。系统1500可以包括许多不同的部件。这些部件可以实施为集成电路(IC)、集成电路的部分、分立电子装置或适用于电路板(诸如,计算机系统的主板或插入卡)的其它模块或者实施为以其它方式并入计算机系统的机架内的部件。

[0057] 还应注意,系统1500旨在示出计算机系统的许多部件的高阶视图。然而,应当理解的是,某些实施例中可以具有附加的部件,此外,其它实施例中可以具有所示部件的不同布置。系统1500可以表示台式计算机、膝上型计算机、平板计算机、服务器、移动电话、媒体播放器、个人数字助理(PDA)、智能手表、个人通信器、游戏装置、网络路由器或集线器、无线接入点(AP)或中继器、机顶盒或其组合。此外,虽然仅示出了单个机器或系统,但是术语“机器”或“系统”还应当被理解为包括单独地或共同地执行一个(或多个)指令集以执行本文所讨论的任何一种或多种方法的机器或系统的任何集合。

[0058] 在一个实施方式中,系统1500包括通过总线或互连件1510连接的处理器1501、存储器1503以及装置1505至1508。处理器1501可以表示其中包括单个处理器内核或多个处理器内核的单个处理器或多个处理器。处理器1501可以表示一个或多个通用处理器,诸如,微处理器、中央处理单元(CPU)等。更具体地,处理器1501可以是复杂指令集计算(CISC)微处理器、精简指令集计算(RISC)微处理器、超长指令字(VLIW)微处理器、或实施其它指令集的处理器、或实施指令集组合的处理器。处理器1501还可以是一个或多个专用处理器,诸如,专用集成电路(ASIC)、蜂窝或基带处理器、现场可编程门阵列(FPGA)、数字信号处理器(DSP)、网络处理器、图形处理器、通信处理器、加密处理器、协处理器、嵌入式处理器、或者能够处理指令的任何其它类型的逻辑。

[0059] 处理器1501(其可以是低功率多核处理器套接口,诸如超低电压处理器)可以充当用于与所述系统的各种部件通信的主处理单元和中央集线器。这种处理器可以实施为片上系统(SoC)。处理器1501被配置成执行用于执行本文所讨论的操作和步骤的指令。系统1500还可以包括与可选的图形子系统1504通信的图形接口,图形子系统1504可以包括显示控制器、图形处理器和/或显示装置。

[0060] 处理器1501可以与存储器1503通信,存储器1503在一个实施方式中可以经由多个存储器装置实施以提供给定量的系统存储。存储器1503可以包括一个或多个易失性存储(或存储器)装置,诸如,随机存取存储器(RAM)、动态RAM(DRAM)、同步DRAM(SDRAM)、静态RAM(SRAM)或者其它类型的存储装置。存储器1503可以存储包括由处理器1501或任何其它装置执行的指令序列的信息。例如,各种操作系统、装置驱动程序、固件(例如,输入输出基本系统或BIOS)和/或应用的可执行代码和/或数据可以加载到存储器1503中并由处理器1501执行。操作系统可以是任何类型的操作系统,例如,机器人操作系统(ROS)、来自Microsoft®公司的Windows®操作系统、来自苹果公司的MacOS®/iOS®、来自Google®公司的Android®、LINUX、UNIX,或者其它实时或嵌入式操作系统。

[0061] 系统1500还可以包括I/O装置,诸如装置1505至1508,包括网络接口装置1505、可选的输入装置1506,以及其它可选的I/O装置1507。网络接口装置1505可以包括无线收发器和/或网络接口卡(NIC)。所述无线收发器可以是WiFi收发器、红外收发器、蓝牙收发器、WiMax收发器、无线蜂窝电话收发器、卫星收发器(例如,全球定位系统(GPS)收发器)或其它射频(RF)收发器或者它们的组合。NIC可以是以网卡。

[0062] 输入装置1506可以包括鼠标、触摸板、触敏屏幕(其可以与显示装置1504集成在一起)、指针装置(诸如,手写笔)和/或键盘(例如,物理键盘或作为触敏屏幕的一部分显示的虚拟键盘)。例如,输入装置1506可以包括联接到触摸屏的触摸屏控制器。触摸屏和触摸屏控制器例如可以使用多种触敏技术(包括但不限于电容、电阻、红外和表面声波技术)中的任一种,以及其它接近传感器阵列或用于确定与触摸屏接触的一个或多个点的其它元件来检测其接触和移动或间断。

[0063] I/O装置1507可以包括音频装置。音频装置可以包括扬声器和/或麦克风,以促进支持语音的功能,诸如语音识别、语音复制、数字记录和/或电话功能。其它I/O装置1507还可以包括通用串行总线(USB)端口、并行端口、串行端口、打印机、网络接口、总线桥(例如,PCI-PCI桥)、传感器(例如,诸如加速度计运动传感器、陀螺仪、磁强计、光传感器、罗盘、接近传

传感器等)或者它们的组合。装置1507还可以包括成像处理子系统(例如,摄像机),所述成像处理子系统可以包括用于促进摄像机功能(诸如,记录照片和视频片段)的光学传感器,诸如电荷耦合装置(CCD)或互补金属氧化物半导体(CMOS)光学传感器。某些传感器可以经由传感器集线器(未示出)联接到互连件1510,而诸如键盘或热传感器的其它装置可以根据系统1500的具体配置或设计由嵌入式控制器(未示出)控制。

[0064] 为了提供对诸如数据、应用、一个或多个操作系统等信息的永久性存储,大容量存储设备(未示出)也可以联接到处理器1501。在各种实施方式中,为了实现更薄且更轻的系统设计并且改进系统响应性,这种大容量存储设备可以经由固态装置(SSD)来实施。然而,在其它实施方式中,大容量存储设备可以主要使用硬盘驱动器(HDD)来实施,其中较小量的SSD存储设备充当SSD高速缓存以在断电事件期间实现上下文状态以及其它此类信息的非易失性存储,从而使得在系统活动重新启动时能够实现快速通电。另外,闪存装置可以例如经由串行外围接口(SPI)联接到处理器1501。这种闪存装置可以提供系统软件的非易失性存储,所述系统软件包括所述系统的BIOS以及其它固件。

[0065] 存储装置1508可以包括计算机可访问的存储介质1509(也被称为机器可读存储介质或计算机可读介质),其上存储有体现本文所述的任何一种或多种方法或功能的一个或多个指令集或软件(例如,模块、单元和/或逻辑1528)。处理模块/单元/逻辑1528可以表示上述部件中的任一个,例如规划模块304和/或控制模块305。处理模块/单元/逻辑1528还可以在其由数据处理系统1500、存储器1503和处理器1501 执行期间完全地或至少部分地驻留在存储器1503内和/或处理器1501 内,数据处理系统1500、存储器1503和处理器1501也构成机器可访问的存储介质。处理模块/单元/逻辑1528还可以通过网络经由网络接口装置1505进行传输或接收。

[0066] 计算机可读存储介质1509也可以用来永久性地存储以上描述的一些软件功能。虽然计算机可读存储介质1509在示例性实施方式中被示为单个介质,但是术语“计算机可读存储介质”应当被认为包括存储所述一个或多个指令集的单个介质或多个介质(例如,集中式或分布式数据库和/或相关联的高速缓存和服务器)。术语“计算机可读存储介质”还应当被认为包括能够存储或编码指令集的任何介质,所述指令集用于由机器执行并且使得所述机器执行本发明的任何一种或多种方法。因此,术语“计算机可读存储介质”应当被认为包括但不限于固态存储器以及光学介质和磁性介质,或者任何其它非暂时性机器可读介质。

[0067] 本文所述的处理模块/单元/逻辑1528、部件以及其它特征可以实施为分立硬件部件或集成在硬件部件(诸如,ASICs、FPGA、DSP或类似装置)的功能中。此外,处理模块/单元/逻辑1528可以实施为硬件装置内的固件或功能电路。此外,处理模块/单元/逻辑1528可以以硬件装置和软件部件的任何组合来实施。

[0068] 应注意,虽然系统1500被示出为具有数据处理系统的各种部件,但是并不旨在表示使部件互连的任何特定架构或方式;因为此类细节和本发明的实施方式没有密切关系。还应当认识到,具有更少部件或可能具有更多部件的网络计算机、手持计算机、移动电话、服务器和/或其它数据处理系统也可以与本发明的实施方式一起使用。

[0069] 前述详细描述中的一些部分已经根据在计算机存储器内对数据位的运算的算法和符号表示而呈现。这些算法描述和表示是数据处理领域中的技术人员所使用的方式,以将他们的工作实质最有效地传达给本领域中的其他技术人员。本文中,算法通常被认为是

导致所期望结果的自洽操作序列。这些操作是指需要对物理量进行物理操控的操作。

[0070] 然而,应当牢记,所有这些和类似的术语均旨在与适当的物理量关联,并且仅仅是应用于这些量的方便标记。除非在以上讨论中以其它方式明确地指出,否则应当了解,在整个说明书中,利用术语(诸如所附权利要求书中所阐述的术语)进行的讨论是指计算机系统或类似电子计算装置的动作和处理,所述计算机系统或电子计算装置操控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,并将所述数据变换成计算机系统存储器或寄存器或者其它此类信息存储设备、传输或显示装置内类似地表示为物理量的其它数据。

[0071] 本发明的实施方式还涉及用于执行本文中的操作的设备。这种计算机程序被存储在非暂时性计算机可读介质中。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构。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、闪存存储器装置)。

[0072] 前述附图中所描绘的过程或方法可以由处理逻辑来执行,所述处理逻辑包括硬件(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。尽管所述过程或方法在上文是依据一些顺序操作来描述的,但是应当了解,所述操作中的一些可以按不同的顺序执行。此外,一些操作可以并行地执行而不是顺序地执行。

[0073] 本发明的实施方式并未参考任何特定的编程语言进行描述。应认识到,可以使用多种编程语言来实施如本文描述的本发明的实施方式的教导。

[0074] 在以上的说明书中,已经参考本发明的具体示例性实施方式对本发明的实施方式进行了描述。将显而易见的是,在不脱离所附权利要求书中阐述的本发明的更宽泛精神和范围的情况下,可以对本发明作出各种修改。因此,应当在说明性意义而不是限制性意义上理解本说明书和附图。

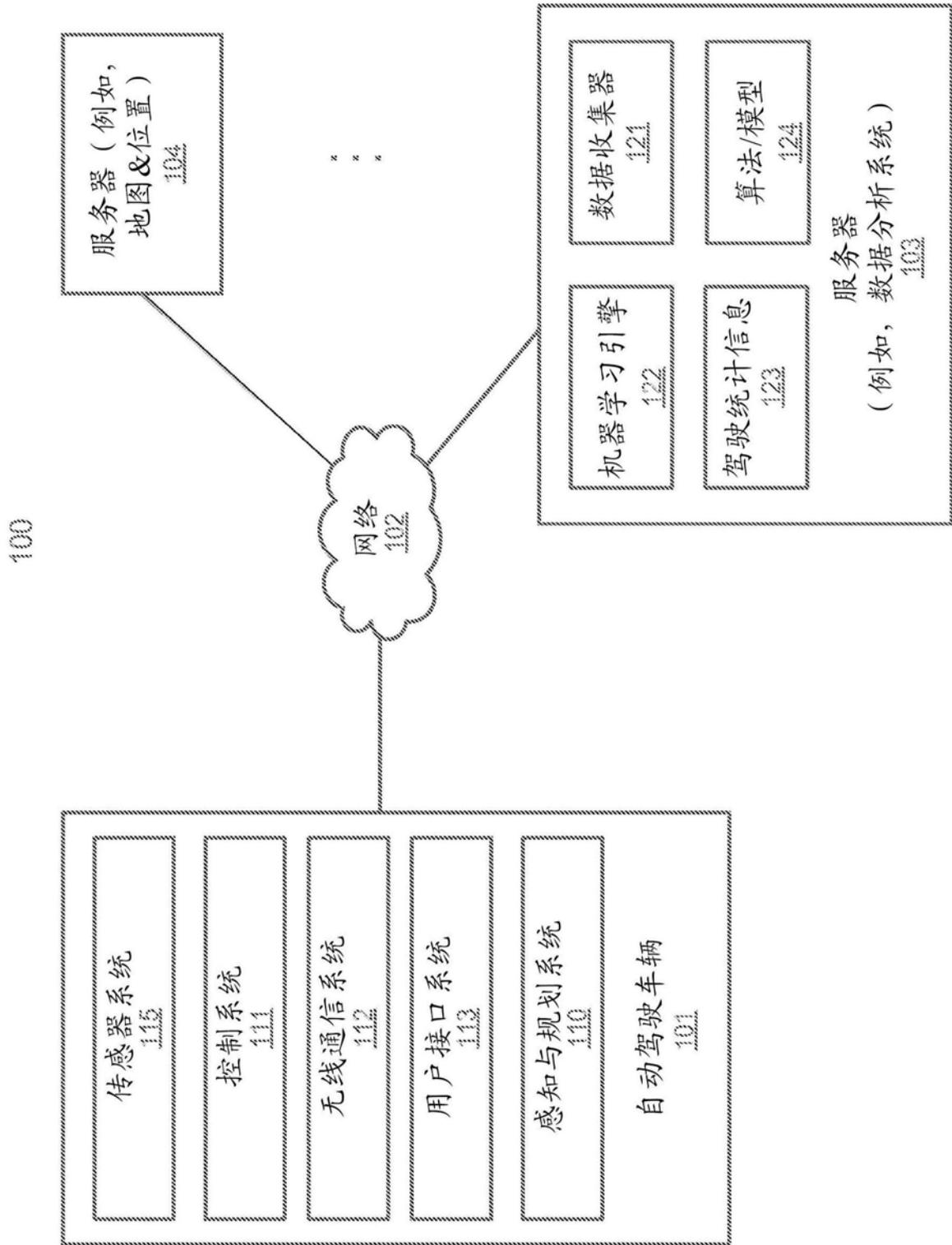


图1

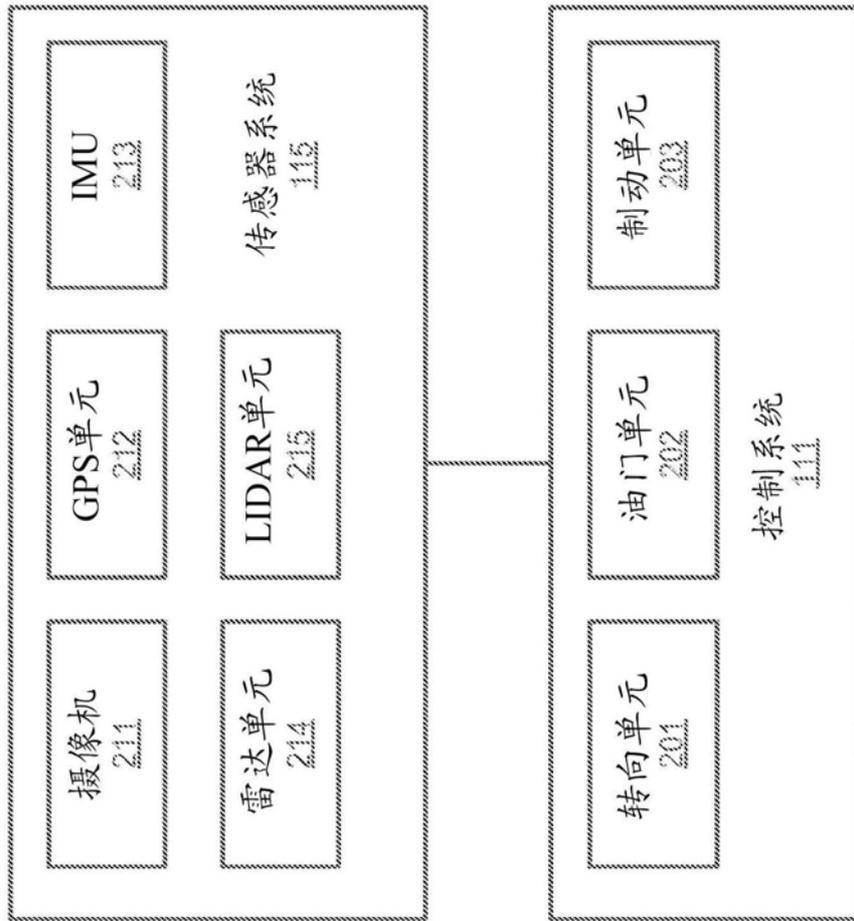


图2

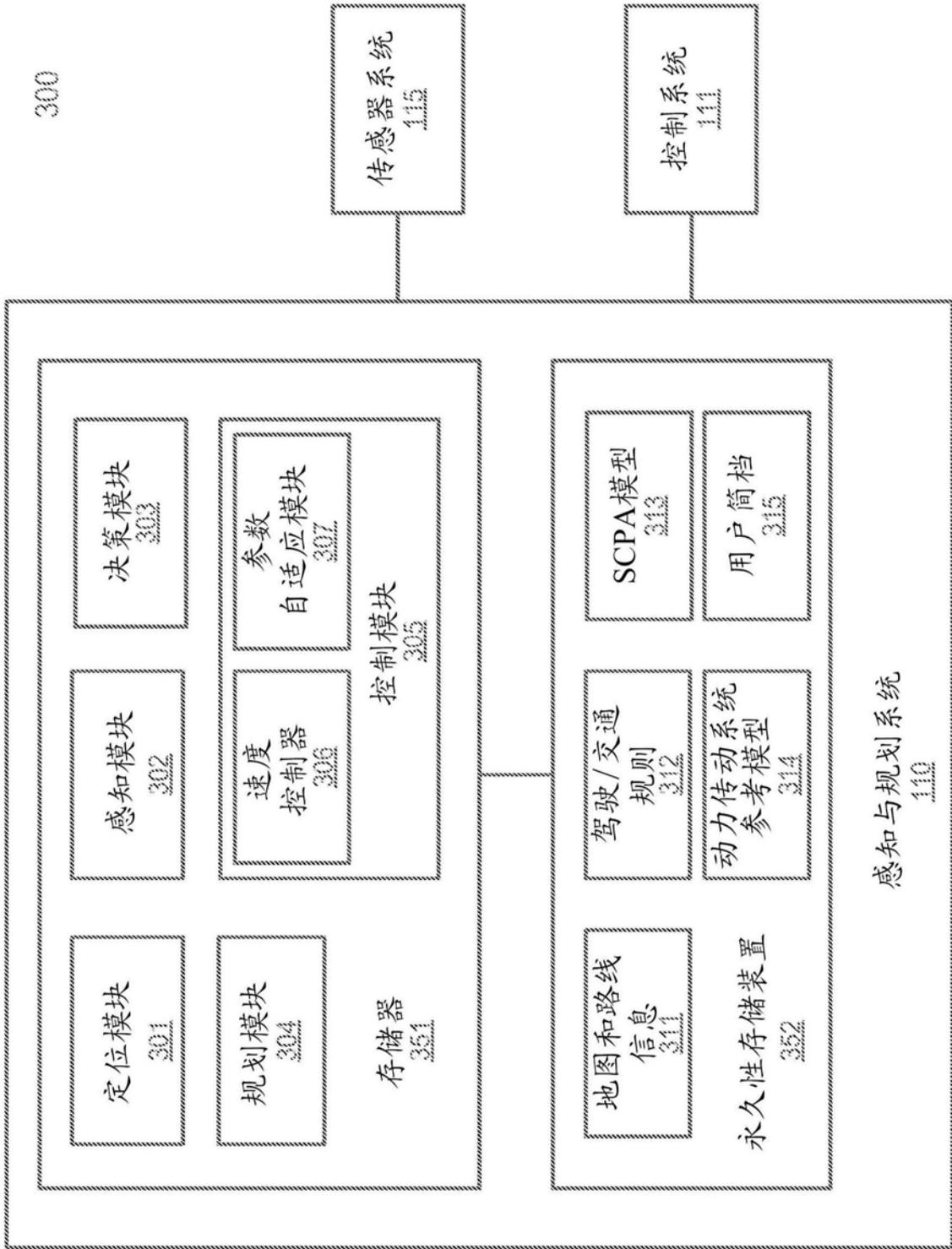


图3

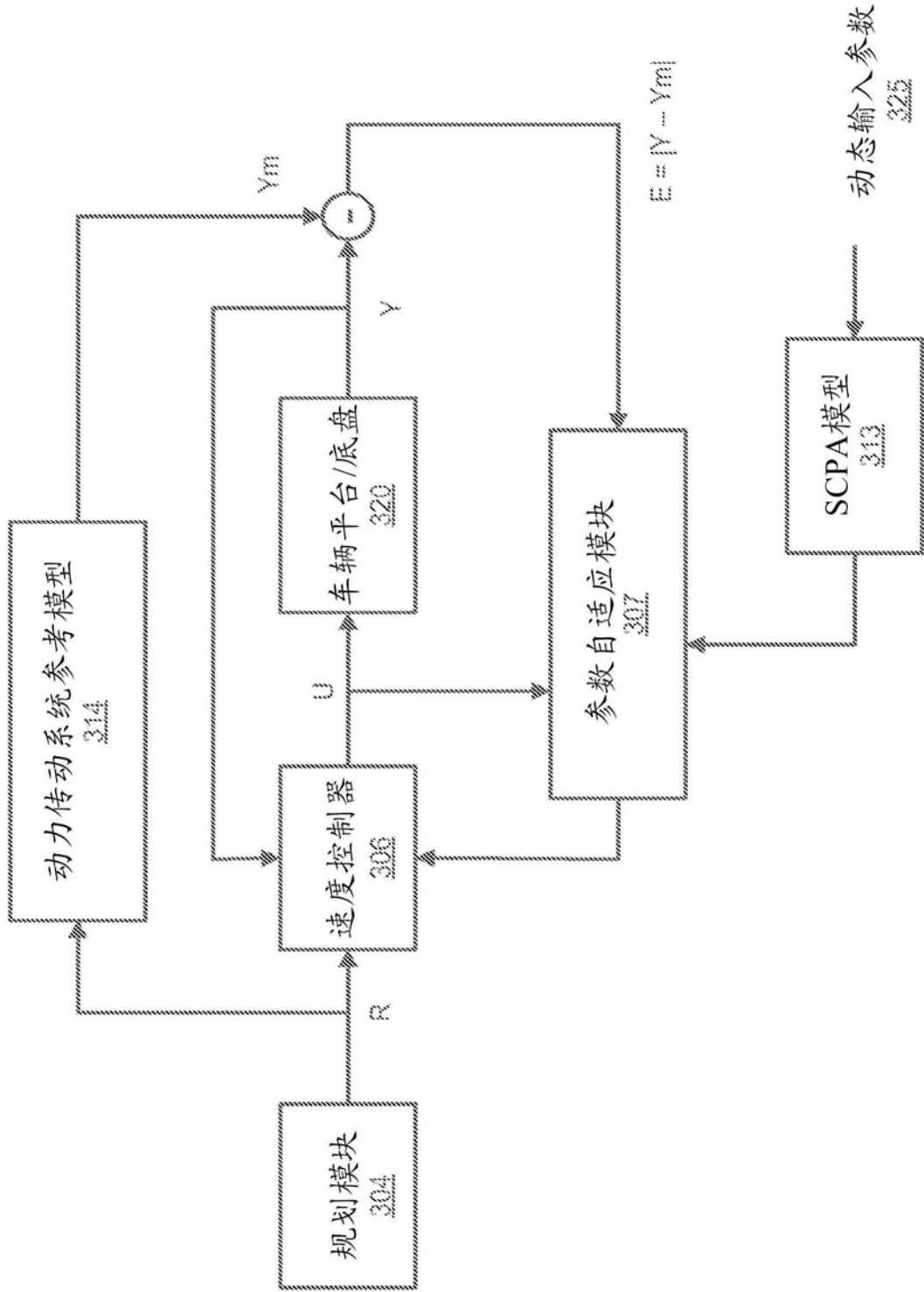


图4

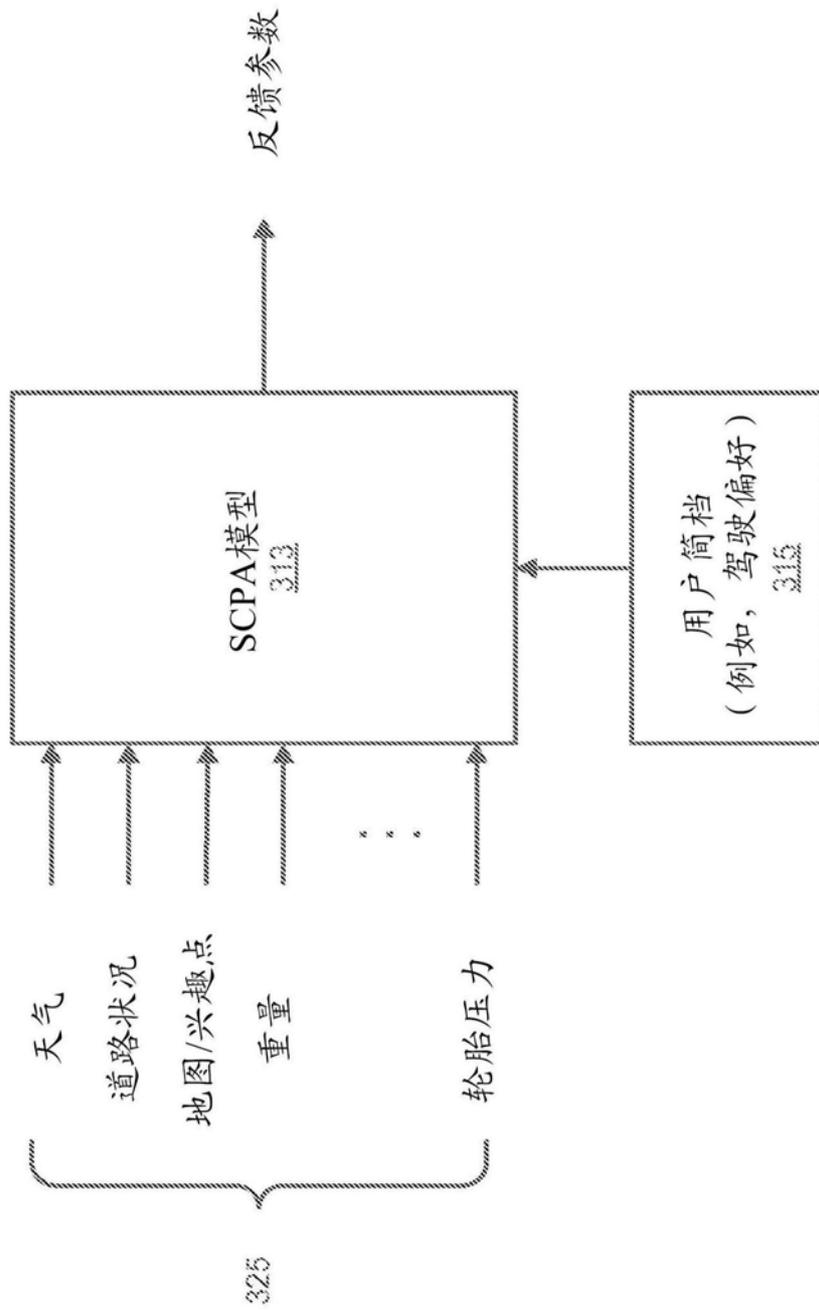


图5

600

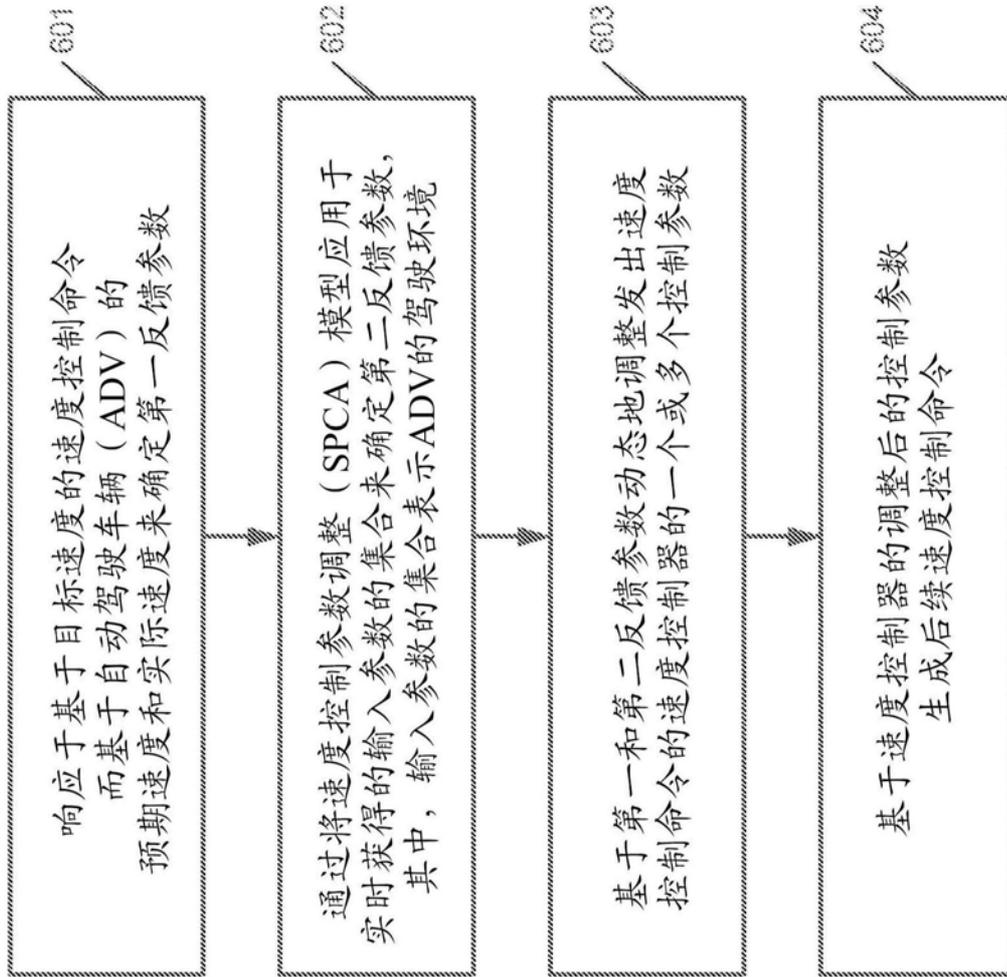


图6

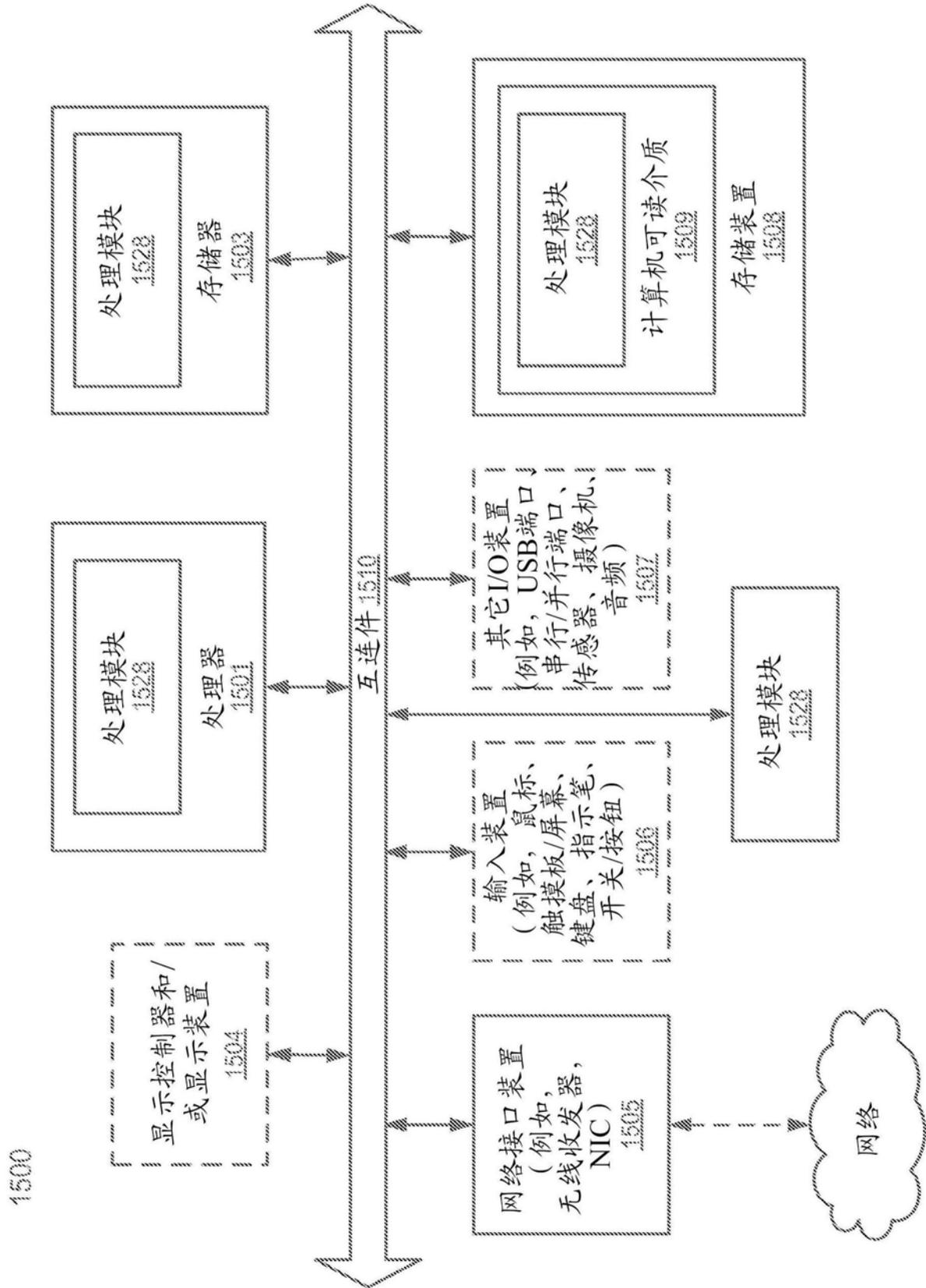


图7