



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113276834 B

(45) 授权公告日 2024.05.24

(21) 申请号 202110162103.8

(22) 申请日 2021.02.05

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113276834 A

(43) 申请公布日 2021.08.20

(30) 优先权数据
16/795,004 2020.02.19 US

(73) 专利权人 通用汽车环球科技运作有限责任公司
地址 美国密歇根州

(72) 发明人 S.A. 纳希迪
S. 卡塞埃扎德马哈巴迪 M.W. 尼尔
J.H. 霍尔布鲁克 H. 谭
B.B. 利特库希

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105
专利代理师 贺紫秋

(51) Int.Cl.
B60W 30/045 (2012.01)

(56) 对比文件
CN 101288081 A, 2008.10.15
CN 108688667 A, 2018.10.23
CN 109421742 A, 2019.03.05
CN 109693663 A, 2019.04.30
DE 102009055044 A1, 2011.06.22
US 2003163237 A1, 2003.08.28
US 2012109458 A1, 2012.05.03

审查员 赵兰兰

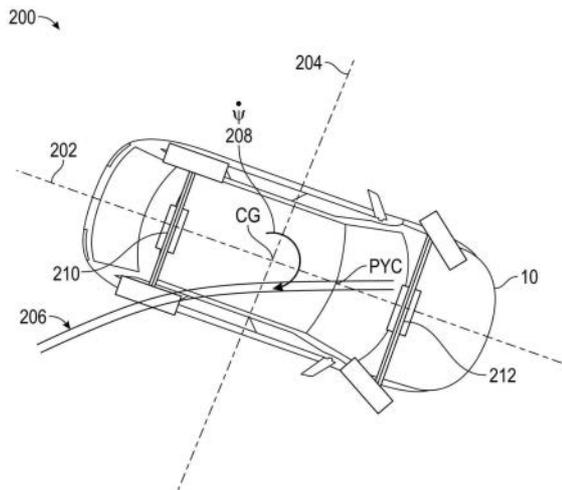
权利要求书1页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

使用感知横摆中心进行车辆综合稳定性控制的系统和方法

(57) 摘要

本发明涉及车辆、操作车辆的系统和方法。传感器用于测量车辆的动态变量。处理器从动态变量确定车辆的感知横摆中心 (PYC) 的位置, 跟踪PYC的期望位置, 并调节车辆的控制参数, 以减少PYC的位置与PYC的期望位置之间的差异。



1. 一种操作车辆的方法,包括:
从车辆的动态变量确定车辆的感知横摆中心(PYC)的位置,所述感知横摆中心是相对横向速度和加速度消失的点;
跟踪感知横摆中心的期望位置;以及
调节车辆的控制参数,以减少感知横摆中心的位置与感知横摆中心的期望位置之间的差异。
2. 根据权利要求1所述的方法,还包括通过确定横向速度等于零的位置来确定所述感知横摆中心的位置。
3. 根据权利要求1所述的方法,还包括针对车辆的横摆率计算横向速度。
4. 根据权利要求1所述的方法,还包括通过确定横向加速度等于零的位置来确定所述感知横摆中心的位置。
5. 根据权利要求1所述的方法,还包括使用递归最小二乘过程确定所述感知横摆中心的位置。
6. 一种用于操作车辆的系统,包括:
用于测量车辆的动态变量的传感器;以及
处理器,其配置为:
从动态变量确定车辆的感知横摆中心(PYC)的位置;
跟踪感知横摆中心的期望位置,所述感知横摆中心是相对横向速度和加速度消失的点;以及
调节车辆的控制参数,以减少感知横摆中心的位置与感知横摆中心的期望位置之间的差异。
7. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述处理器还配置为通过确定横向速度等于零的位置来确定所述感知横摆中心的位置。
8. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述处理器还配置为针对车辆的横摆率计算横向速度。
9. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述处理器还配置为通过确定横向速度等于零的位置来确定所述感知横摆中心的位置。
10. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述处理器还配置为使用递归最小二乘过程来确定所述感知横摆中心。

使用感知横摆中心进行车辆综合稳定性控制的系统和方法

技术领域

[0001] 本主题公开涉及转弯中控制车辆的稳定性,尤其涉及用于计算车辆的感知横摆中心并基于该感知横摆中心来控制车辆的系统和方法。

背景技术

[0002] 在使用常规方法控制车辆时,只要车辆的横向速度在可接受的范围内,控制器就维持当前命令。然而,在高性能车辆中,横向速度可能会超出此范围而进入非线性运动范围。因此,在此非线性范围内跟踪车辆的横向速度无法提供改善车辆响应的能力。因此,期望提供一种随着车辆的横向速度变化来控制车辆的稳定性的方法。

发明内容

[0003] 在一实施例中,公开了一种操作车辆的方法。从车辆的动态变量来确定车辆的感知横摆中心(PYC)的位置。跟踪PYC的期望位置。调节车辆的控制参数,以减小PYC的位置与PYC的期望位置之间的差异。

[0004] 除了本文所述的一个或多个特征之外,通过确定横向速度等于零的位置来确定PYC的位置。在一实施例中,针对车辆的横摆率计算横向速度。可以通过确定横向加速度等于零的位置来确定PYC的位置。可以使用递归最小二乘过程确定PYC的位置。调节控制参数以控制车辆的稳定性。

[0005] 在另一实施例中,公开了一种用于操作车辆的系统。该系统包括用于测量车辆的动态变量的传感器以及处理器。处理器配置为从动态变量确定车辆的感知横摆中心(PYC)的位置,跟踪PYC的期望位置,并调节车辆的控制参数,以减小PYC的位置与PYC的期望位置之间的差异。

[0006] 除了本文所述的一个或多个特征之外,处理器还配置为通过确定横向速度等于零的位置来确定PYC的位置。在一实施例中,处理器还配置为针对车辆的横摆率计算横向速度。处理器还配置为通过确定横向速度等于零的位置来确定PYC的位置。处理器还配置为使用递归最小二乘过程确定PYC。处理器还配置为调节控制参数以控制车辆的稳定性。处理器还配置为基于对控制参数的调节来确定PYC的位置。

[0007] 在又一实施例中,公开了一种车辆。车辆包括用于测量车辆的动态变量的传感器以及处理器。处理器配置为从动态变量确定车辆的感知横摆中心(PYC)的位置,跟踪PYC的期望位置,并调节车辆的控制参数,以减小PYC的位置与PYC的期望位置之间的差异。

[0008] 除了本文所述的一个或多个特征之外,处理器还配置为通过确定横向速度等于零的位置来确定PYC的位置。在一实施例中,处理器还配置为针对车辆的横摆率计算横向速度。处理器还配置为通过确定横向速度等于零的位置来确定PYC的位置。处理器还配置为使用递归最小二乘过程确定PYC。处理器还配置为调节控制参数以控制车辆的稳定性。处理器还配置为基于对控制参数的调节来确定PYC的位置。

[0009] 当结合附图考虑时,根据以下详细描述,本公开的以上特征和优点以及其他特征

和优点将显而易见。

附图说明

[0010] 其他特征、优点和细节仅通过示例的方式在下面的详细描述中出现,该详细描述参考附图,其中:

[0011] 图1示出了根据各个实施例的包括相关轨迹计划系统的车辆;

[0012] 图2示出了车辆的俯视图,其描绘了车辆的各种性能模式操作器;

[0013] 图3示出了用于以驾驶员辅助或性能模式操作车辆的控制系统架构;

[0014] 图4示出了流程图,其说明用于确定车辆的感知横摆中心并基于该感知横摆中心操作车辆的方法;

[0015] 图5示出了正在转弯的车辆的俯视图;

[0016] 图6示出了递归最小二乘过程的横向速度的视觉表示;

[0017] 图7描绘了车辆的俯视图,其示出了车辆上的各种加速度;

[0018] 图8描绘了力图,其矢量地示出了在重心和感知横摆中心上的力,导致在感知横摆中心处没有横向加速度;

[0019] 图9示出了车辆相对于期望横摆跟踪的横摆跟踪的图;以及

[0020] 图10示出了车辆的下部横向打滑的图。

具体实施方式

[0021] 以下描述本质上仅是示例性的,并不旨在限制本公开、其应用或用途。应当理解,在所有附图中,相应的附图标记表示相同或相应的部件和特征。如本文所用,术语模块是指处理电路,其可以包括:专用集成电路(ASIC)、电子电路、执行一个或多个软件或固件程序的处理器(共享、专用或组)和存储器、组合逻辑电路和/或提供所描述功能的其他合适部件。

[0022] 根据示例性实施例,图1示出了根据各个实施例的包括总体上以100示出的相关轨迹计划系统的车辆10。通常,轨迹计划系统100确定用于车辆10的自动驾驶的轨迹计划。车辆10通常包括底盘12、车身14、前轮16和后轮18。车身14布置在底盘12上并且基本包围车辆10的部件。车身14和底盘12可以共同形成框架。车轮16和18每个在车身14的相应角部附近旋转地联接至底盘12。

[0023] 在各个实施例中,车辆10是自主车辆,并且轨迹计划系统100并入车辆10。车辆10例如是被自动控制以将乘客从一个位置运送到另一个位置的车辆。车辆10在所实施例中描述为乘用车,但应当理解,也可以使用任何其他车辆,包括摩托车、卡车、运动型多用途车(SUV)、休闲车(RV)、轮船、飞机等。在示例性实施例中,车辆10是所谓的四级或五级自动化系统。四级系统表示“高度自动化”,是指自动驾驶系统对动态驾驶任务的所有方面的驾驶模式特定性能,即使人类驾驶员没有适当地响应干预要求。五级系统表示“完全自动化”,是指自动驾驶系统在可由人类驾驶员管理的所有道路和环境条件下对动态驾驶任务的所有方面的全时性能。

[0024] 如图所示,车辆10通常包括推进系统20、传动系统22、转向系统24、制动系统26、传感器系统28、致动器系统30、至少一个数据存储设备32、至少一个控制器34和通信系统36。

在各个实施例中,推进系统20可以包括内燃机、诸如牵引马达的电机和/或燃料电池推进系统。传动系统22配置成根据可选择的速比将动力从推进系统20传递至车轮16和18。根据各个实施例,传动系统22可包括有级传动比自动变速器、无级变速器或其他合适的变速器。制动系统26配置成向车轮16和18提供制动扭矩。在各个实施例中,制动系统26可以包括摩擦制动、线制动、诸如电机的再生制动系统和/或其他合适的制动系统。转向系统24影响车轮16和18的位置。尽管出于说明性目的示出为包括方向盘,但在本公开范围内预期的一些实施例中,转向系统24可以不包括方向盘。

[0025] 传感器系统28包括一个或多个感测设备40a-40n,其感测车辆10的外部环境和/或内部环境的可观察到的状况。感测设备40a-40n可以包括但不限于雷达、激光雷达、全球定位系统、光学相机、热相机、超声波传感器和/或其他传感器。相机可包括彼此隔开选定距离的两个或更多个数字相机,其中两个或更多个数字相机用于获得周围环境的立体图像以便获得三维图像。传感器系统28还可以包括用于测量车辆的运动学参数或动态变量的传感器,比如纵向速度、横向速度、纵向加速度、横向加速度、横摆角、横摆率等或者可以用于计算这些动态变量的参数。

[0026] 致动器系统30包括一个或多个致动器设备42a-42n,其控制一个或多个车辆特征,比如但不限于推进系统20、传动系统22、转向系统24和制动系统26。在各个实施例中,车辆特征还可以包括内部和/或外部车辆特征,比如但不限于门、行李箱和舱室特征,比如通风、音乐、照明等(未编号)。

[0027] 控制器34包括至少一个处理器44和计算机可读存储设备或介质46。处理器44可以是任何定制的或可商购的处理器、中央处理单元(CPU)、图形处理单元(GPU)、与控制器34相关的多个处理器中的辅助处理器、基于半导体的微处理器(形式为微芯片或芯片组)、宏处理器、其任何组合或通常用于执行指令的任何设备。例如,计算机可读存储设备或介质46可以包括只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM)和保持活动存储器(KAM)中的易失性和非易失性存储。KAM是持久性或非易失性存储器,其可以在处理器44掉电时用于存储各种操作变量。可以使用许多已知的存储设备中的任何一种来实现计算机可读存储设备或介质46,比如PROM(可编程只读存储器)、EPROM(电PROM)、EEPROM(电可擦除PROM)、闪存或能够存储数据的任何其他电、磁、光或组合存储设备,其中一些表示可执行指令,由控制器34在控制车辆10时使用。

[0028] 指令可以包括一个或多个单独的程序,每个程序包括用于实现逻辑功能的可执行指令的有序列表。当由处理器44执行时,指令从传感器系统28接收并处理信号,执行用于自动控制车辆10的部件的逻辑、计算、方法和/或算法,并且基于该逻辑、计算、方法和/或算法生成至致动器系统30的控制信号以自动控制车辆10的部件。尽管在图1中仅示出了一个控制器34,但车辆10的实施例可包括任意数量的控制器34,它们通过任何合适的通信介质或通信介质的组合进行通信,并且配合以处理传感器信号,执行逻辑、计算、方法和/或算法,并且生成控制信号以自动控制车辆10的特征。

[0029] 在各个实施例中,控制器34的一个或多个指令体现在轨迹计划系统100中,并且当由处理器44执行时,生成解决环境的运动学和动态约束的轨迹输出。在一示例中,接收的指令是输入过程传感器和地图数据。指令执行带有定制成本函数的基于图的方法,以处理城市和高速公路道路中的不同道路场景。

[0030] 通信系统36配置为与其他实体48进行无线通信,比如但不限于其他车辆(“V2V”通信)、基础设施(“V2I”通信)、远程系统和/或个人设备(关于图2更详细地描述)。在示例性实施例中,通信系统36是无线通信系统,其配置为使用IEEE 802.11标准或通过使用蜂窝数据通信经由无线局域网(WLAN)进行通信。然而,在本公开的范围还考虑了诸如专用短程通信(DSRC)信道之类的附加或替代通信方法。DSRC信道是指专门为汽车使用而设计的单向或双向短程到中程无线通信信道以及一组相应的协议和标准。

[0031] 处理器44还包括用于以两种操作模式(标准操作模式和性能操作模式)中的至少一种操作车辆的程序。在标准操作模式下,处理器44操作车辆的标准仿真模型,其在驾驶员输入和车辆动力学之间提供线性关系。标准仿真模型接收驾驶员输入,并根据驾驶员输入确定车辆的动态变量。标准仿真模型生成用于车辆的致动器的致动器命令,并且处理器44将这些命令发送到致动器,以便在车辆处生成动态变量。在标准模式下的动态变量例如可以包括车辆的横摆率、纵向速度、横向速度、纵向加速度和/或横向加速度。

[0032] 在性能操作模式中,处理器44操作车辆10的性能仿真模型。性能仿真模型通常是车辆的非线性模型,并且与标准仿真模型相比,通常需要更多的输入,以便确定车辆的动态参数。例如,标准仿真模型通常采用驾驶员方向盘角度作为输入,而性能仿真模型通常除了方向盘角度之外还采用轮胎上的牵引扭矩和轮胎上的制动扭矩,以便确定动态参数。因此,性能仿真模型除了方向盘角度之外还包括来自加速踏板和制动踏板的输入,以便限定车辆10的动态状态。性能模式还使用在标准操作模式下不使用的多个致动器,如图2所示。

[0033] 图2示出了车辆10的俯视图200,其描绘了车辆10的各种性能模式操作器。电子限滑差速器致动器(eLSD)210位于后轮之间,并且控制车辆处的左右扭矩分配。电子全轮驱动致动器(eAWD)212位于前轮之间,并控制车辆的前后扭矩分配。车辆还可以包括帮助控制在车辆10的轮胎上的法向力的主动空气致动器(未示出)以及差动制动致动器(未示出)。

[0034] 图2示出了车辆10通过转弯或旋转沿着所选轨迹206运动。例如,所选轨迹206可以包括转向过度轨迹、转向不足轨迹、法向轨迹以及非滑移和滑移轨迹。横摆率 $\dot{\psi}$ 由旋转箭头208指示。在各种操作中,轨迹包括引入车辆的各种力和力矩的车辆的转弯或旋转。

[0035] 车辆包括重心(CG),纵向对称平面202和横向对称平面204都穿过该重心。车辆10还包括感知横摆中心(PYC)。感知横摆中心是车辆在以车身为中心的坐标系内的概念点。感知横摆中心是车内驾驶员将其解释为车身即时旋转中心的点。同样,可以将感知横摆中心定义为相对横向速度和加速度消失的点。感知横摆中心的位置在操纵车辆期间瞬时改变,并且受到车辆的横摆和横向运动的影响。

[0036] 图3示出了用于以驾驶员辅助或性能模式操作车辆10的控制系统架构300。在各个方面,控制系统架构300包括在处理器44上运行的各种模块,以将驾驶员意图转换为车辆的实际运动。控制系统架构300包括目标状态确定模块304、车辆控制模块306和致动器308。目标状态确定模块304基于驾驶员输入确定车辆的期望状态。车辆控制模块306基于期望状态确定命令控制调节并操作致动器308以控制车辆10。

[0037] 控制系统架构300接收驾驶员输入302,比如方向盘角度、制动踏板位置和加速器踏板位置。驾驶员输入302被提供给目标状态确定模块304。目标状态确定模块304基于驾驶员输入计算期望状态(S_d),并将期望状态 S_d 提供给车辆控制模块306。期望状态 S_d 可以包括但不限于车辆10的期望横摆率、期望侧滑角、期望横向速度和/或期望PYC。驾驶员输入也被

提供给前馈控制模块314。

[0038] 车辆控制模块306基于期望状态 S_d 产生用于车辆的致动器调节命令(δQ)。致动器调节命令 δQ 可被添加到与求和电路320处的驾驶员输入相对应的致动器命令(Q)。致动器命令 Q 由前馈控制模块314提供。总和($Q+\delta Q$)被提供给致动器308,以提供操作车辆10的动作 Q_a 。致动器可包括例如eLSD210、eAWD212、差动制动致动器(dB)和主动空气致动器。致动器用于在车辆10处产生期望状态(例如横摆率、侧滑角、横向速度、PYC)。在各个实施例中,可以调节致动器命令以确保它们不超过车辆轮胎或道路任一者的能力。

[0039] 因此,车辆10经历期望的动态状态,比如期望横摆率和/或期望侧滑角。车辆10上的传感器316可以检测这些动态变量及其值。可替代地,传感器316可以获得可用于确定这些动态变量的测量值。另外,车辆状态估计和故障检测模块312可以估计这些动态变量的值。可以将这些动态变量的感测值和这些动态变量的估计值提供给车辆控制模块306,以帮助车辆控制模块306为车辆控制的下一时间步长确定命令致动器调节 δQ 。这些感测和估计值也可以被提供给目标状态确定模块304,以便控制期望状态 S_d 的计算。这种反馈防止由目标状态确定模块304生成的期望状态 S_d 变化太快。传感器316可以进一步将感测值和估计值提供给前馈控制模块314。

[0040] 图4示出了流程图400,其说明了用于确定车辆的感知横摆中心并且基于该感知横摆中心来操作车辆的方法。在框402,获得传感器测量。在框404,传感器测量被输入到车辆模型,以便确定车辆的各种动态或运动学参数,比如横向速度、纵向速度、横摆率、横向加速度、纵向加速度等。在框406,使用动态变量确定感知横摆中心。可以使用基于速度的估计过程(框406a)或基于加速度的估计过程(框406b)来确定感知横摆中心。在框408,计算感知横摆中心的最佳或期望位置。在框410,通过车辆控制模块306跟踪感知横摆中心的期望位置。在框412,对车辆或车辆的致动器的控制设置进行调节,以便将确定的感知横摆中心与期望的感知横摆中心对准。

[0041] 一旦进行了调节,该方法返回到框406,其中基于在控制器处进行的改变所引起的设置,再次确定感知横摆中心的位置。下面参考图5和6讨论用于确定感知横摆中心的位置的基于速度的方法(框406a)。参考图7和8讨论用于确定感知横摆中心的位置的基于加速度的方法(框406b)。

[0042] 图5示出了正在转弯的车辆的俯视图500。其中示出了重心(CG)、在CG与车辆10的前端502之间的前轴CG间隔 L_f 以及在CG与车辆10的后端504之间的后轴CG间隔 L_r 。距离 d 表示在CG与车辆10的感知横摆中心(PYC)之间的间隔距离。图5还示出了车辆的纵向速度(v_x)、横向速度(v_y)和横摆旋转(ψ)。

[0043] 其中, $\theta(i)=d$, $\eta(i)=\gamma$, $p(i)=v_y$ 。值 t 代表时间步长总数,在每个时间步长处测量横向速度和横摆率。索引 i 指示单个时间步长。遗忘因子(即 λ)可以用于增强RLS过程的灵敏度。因此,项 $\eta^T(i-1)\theta(i)$ 根据测量的横摆率和感知横摆中心的位置给出横向速度的预测值。速度项 $p(i)$ 在第 i 个测量步长处给出横向速度的测量值。方程(2)的成本函数在PYC的最佳位置处最小化。

[0044] 图6示出了递归最小二乘过程的横向速度的视觉表示600。矢量602表示速度项 $\eta^T(i-1)\theta(i)$,其位于由基于感知横摆中心的位置的所有可能值的项定义的速度平面605内。矢量604表示延伸出速度平面605之外的速度项 $y(i)$ 。矢量602和矢量604之间的差是RLS过

程的最小二乘误差606。递归最小二乘过程操作成减小该最小二乘误差606。

[0045] 图7描绘了车辆的俯视图700,其示出了车辆10上的各种加速度。车辆包括重心CG和与重心CG相距距离d的感知横摆中心PYC。在全局坐标参考系中,重心CG示出为与固定参考点705相距距离 R_{CG} 。感知横摆中心PYC示出为与固定参考点705相距距离 R_{PYC} 。当车辆经历横摆旋转 ψ 时,重心CG经历横向加速度 $a_{y,CG}$,而感知横摆中心PYC经历横向加速度 $a_{y,PYC}$ 。

[0046] 图8描绘了力图800,其矢量地示出了在重心CG和感知横摆中心PYC上的力,导致在感知横摆中心处没有横向加速度。重心CG与横摆中心(PYC)分开距离矢量 \vec{d} 802。重心CG经历由矢量 $\vec{a}_{y,CG}$ 804指示的横向加速度。横摆率 $\dot{\psi}$ 806抵消了横向速度 $\vec{v}_{y,CG}$,使得感知横摆中心的横向速度和横向加速度等于零。下面讨论用于确定PYC的基于加速度的方法的方程。

[0047] 根据刚体动力学,点P相对于参考点O的加速度可表示为:

$$[0048] \quad \vec{a}_P = \vec{a}_O + \dot{\psi} \times (\dot{\psi} \times \vec{d}) + \ddot{\psi} \times \vec{d} + 2\dot{\psi} \times \vec{V}_{rel} + \vec{a}_{rel} \quad \text{方程 (3)}$$

[0049] 其中, a_p 是点P的加速度, a_0 是点O的加速度。 V_{rel} 是相对速度, a_{rel} 是相对加速度。对于说明性实施例, V_{rel} 和 a_{rel} 均为零。通过将参考点O放置在重心CG处,方程(3)可以改写为方程(4):

$$[0050] \quad \vec{a}_P = (a_{xCG}\vec{i} + a_{yCG}\vec{j}) + \dot{\psi}\vec{k} \times (\dot{\psi}\vec{k} \times d\vec{i}) + \ddot{\psi}\vec{k} \times d\vec{i} + 2\dot{\psi}\vec{k} \times \vec{V}_{rel} \quad \text{方程 (4)}$$

[0051] 其简化为:

$$[0052] \quad \vec{a}_P = (a_{xCG} - \dot{\psi}^2 d)\vec{i} + (a_{yCG} - \ddot{\psi} d)\vec{j} \quad \text{方程 (5)}$$

[0053] 任何任意点P的加速度也可以在全局坐标参考系中写成为:

$$[0054] \quad \vec{a}_P = (R_P \ddot{\psi} + 2\dot{\psi} \dot{R}_P)\vec{i} + (\dot{v}_{yP} + R_P \dot{\psi}^2)\vec{j} \quad \text{方程 (6)}$$

[0055] 其中, R_p 是点P和固定参考点705之间的距离。通过将任意点P置于感知横摆中心(即 $R_p \rightarrow R_{PYC}$),则:

$$[0056] \quad \dot{v}_{yP} = 0 \quad \text{方程 (7)}$$

[0057] 也可以合理地假定:

$$[0058] \quad d \ll R_{CG} \quad \text{方程 (8)}$$

[0059] 在方程(7)和方程(8)的假设下,距离 R_{CG} 约等于距离 R_{PYC} ,如方程(9)所示:

$$[0060] \quad R_{CG} \sim R_{PYC} \quad \text{方程 (9)}$$

[0061] 其中横摆率如方程(10)定义:

$$[0062] \quad \dot{\psi} = v_{x,CG}/R_{CG} \quad \text{方程 (10)}$$

[0063] 则:

$$[0064] \quad R_{PYC} \dot{\psi}^2 = \dot{\psi} v_{x,CG} \frac{R_{PYC}}{R_{CG}} \sim \dot{\psi} v_{x,CG} \quad \text{方程 (11)}$$

[0065] 因此,可以得出:

$$[0066] \quad \ddot{\psi} \times d = (a_{y,CG} - \dot{\psi} \times v_{x,CG}) = \dot{v}_{y,CG} \quad \text{方程 (12)}$$

[0067] 方程(2)的递归最小二乘过程然后与方程(12)的变量一起使用,其中 $\theta(i) = d$,

$\eta(i) = \dot{\psi}$ 且 $p(i) = a_{y,CG}$,以估计距离 d ,从而确定感知横摆中心的位置。

[0068] 车辆的现有控制器可以控制车辆的横摆率和横向速度。横摆率和横向速度是定义主要车辆操纵状态 X 的要素。因此,可以创建并最小化控制器成本函数,以实现期望状态 X_{des} 和PYC位置,如方程(13)所示:

$$[0069] \quad \min_{U_0} (X - X_{des})^T \bar{Q} (X - X_{des}) + U_0^T \bar{R} U_0 \quad \text{方程 (13)}$$

[0070] 其中,

$$[0071] \quad X = \begin{Bmatrix} v_{y,CG} \\ \dot{\psi} \\ d_{PYC} \end{Bmatrix} \quad \text{方程 (14)}$$

[0072] 并且

$$[0073] \quad X_{des} = \begin{Bmatrix} v_{y,CG} \\ \dot{\psi} \\ d_{PYC} \end{Bmatrix}_{des} \quad \text{方程 (15)}$$

[0074] 图9示出了车辆相对于期望横摆跟踪的横摆跟踪的图900。横摆率沿y轴以弧度/秒为单位示出,时间沿x轴以秒为单位示出。曲线902示出了要跟踪的期望横摆率。曲线904示出了当将控制应用于车辆时的横摆率。曲线906示出了当未将控制应用于车辆时的横摆率。曲线904比曲线906更大程度地跟踪了期望横摆率(曲线902)。

[0075] 图10示出了车辆的下部横向打滑的图1000。横向速度沿y轴以米/秒为单位示出,时间沿x轴以秒为单位示出。曲线1002示出了在控制关闭情况下的横向打滑。曲线1004示出了在控制打开情况下的横向打滑。与曲线1002相比,曲线1004示出了对下部横向打滑的更大控制。

[0076] 尽管已经参考示例性实施例描述了以上公开,但本领域技术人员将理解,在不脱离其范围的情况下,可以进行各种改变,并且可以用等同物代替其要素。另外,在不脱离本公开的实质范围的情况下,可以做出许多修改以使特定情况或材料适应本公开的教导。因此,意图是本公开不限于所公开的特定实施例,而是将包括落入其范围内的所有实施例。

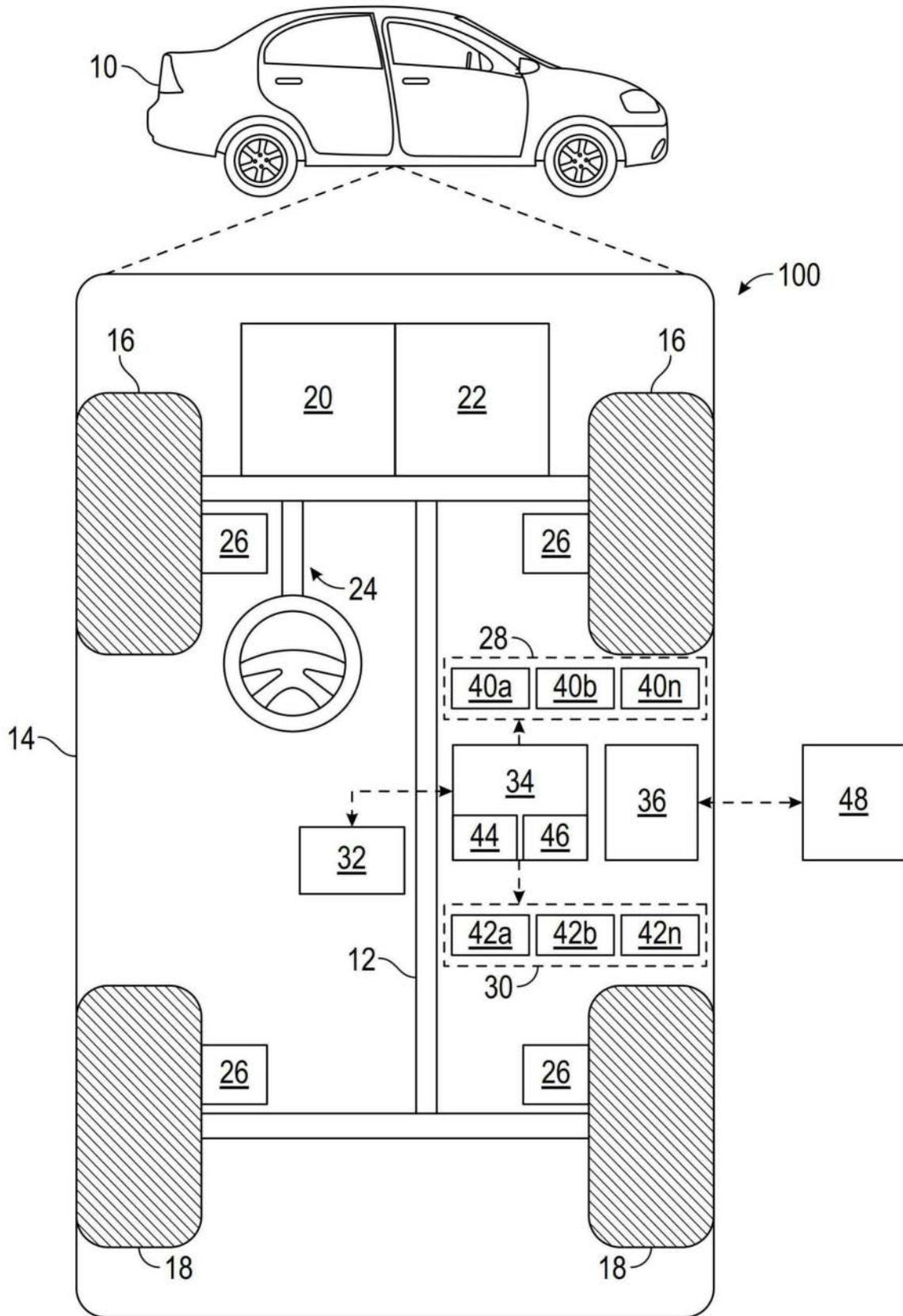


图1

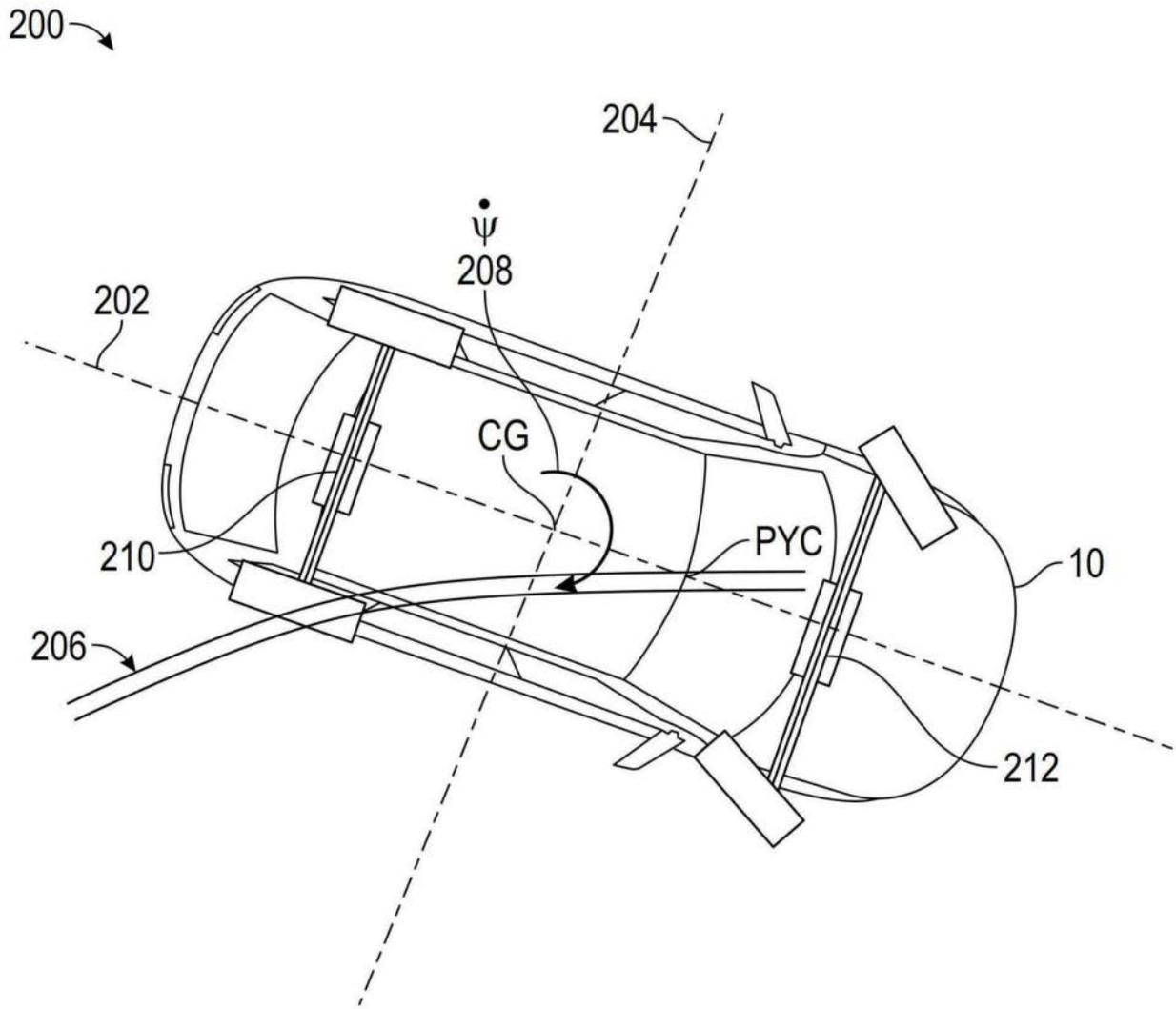


图2

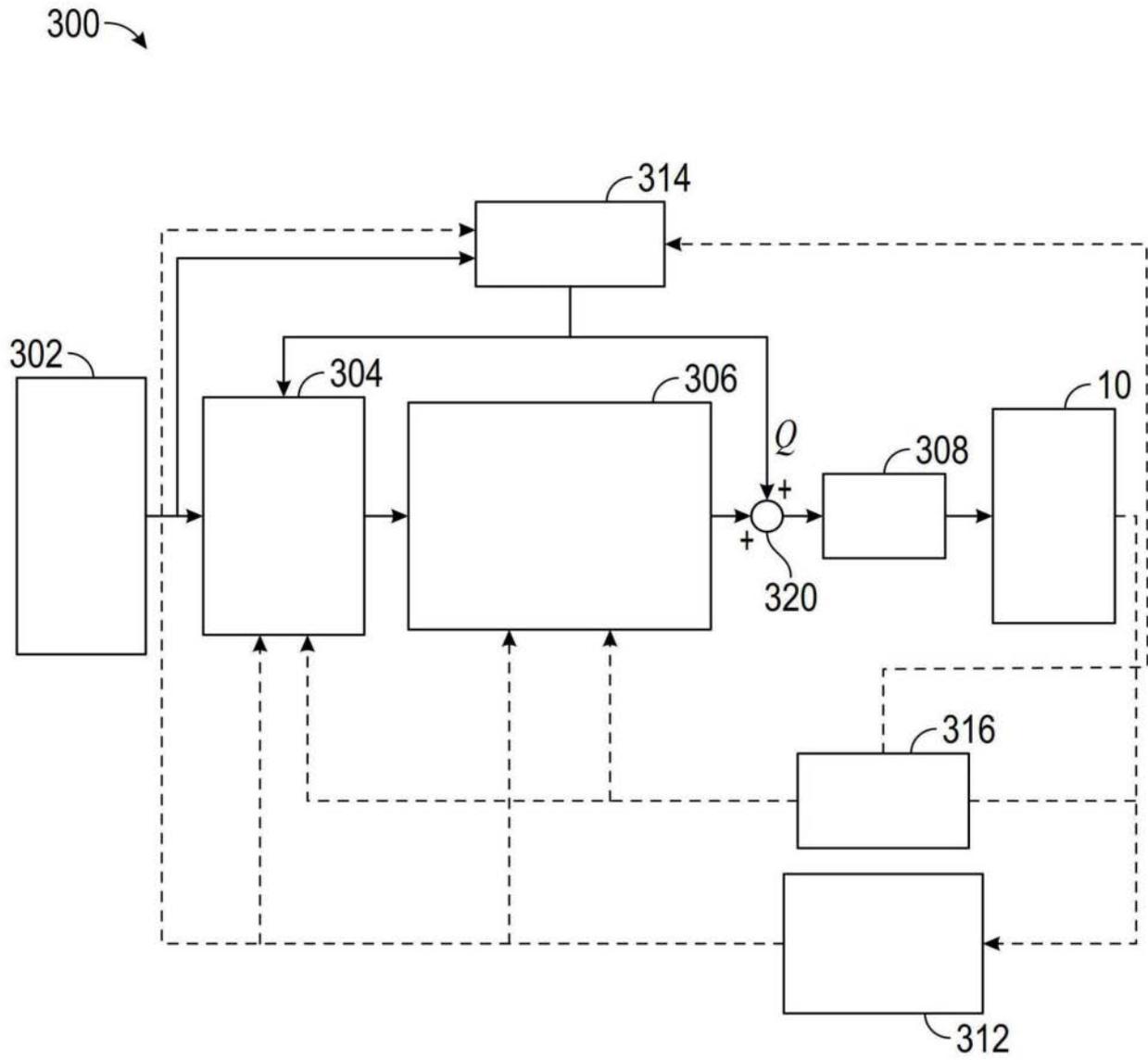


图3

400 ↗

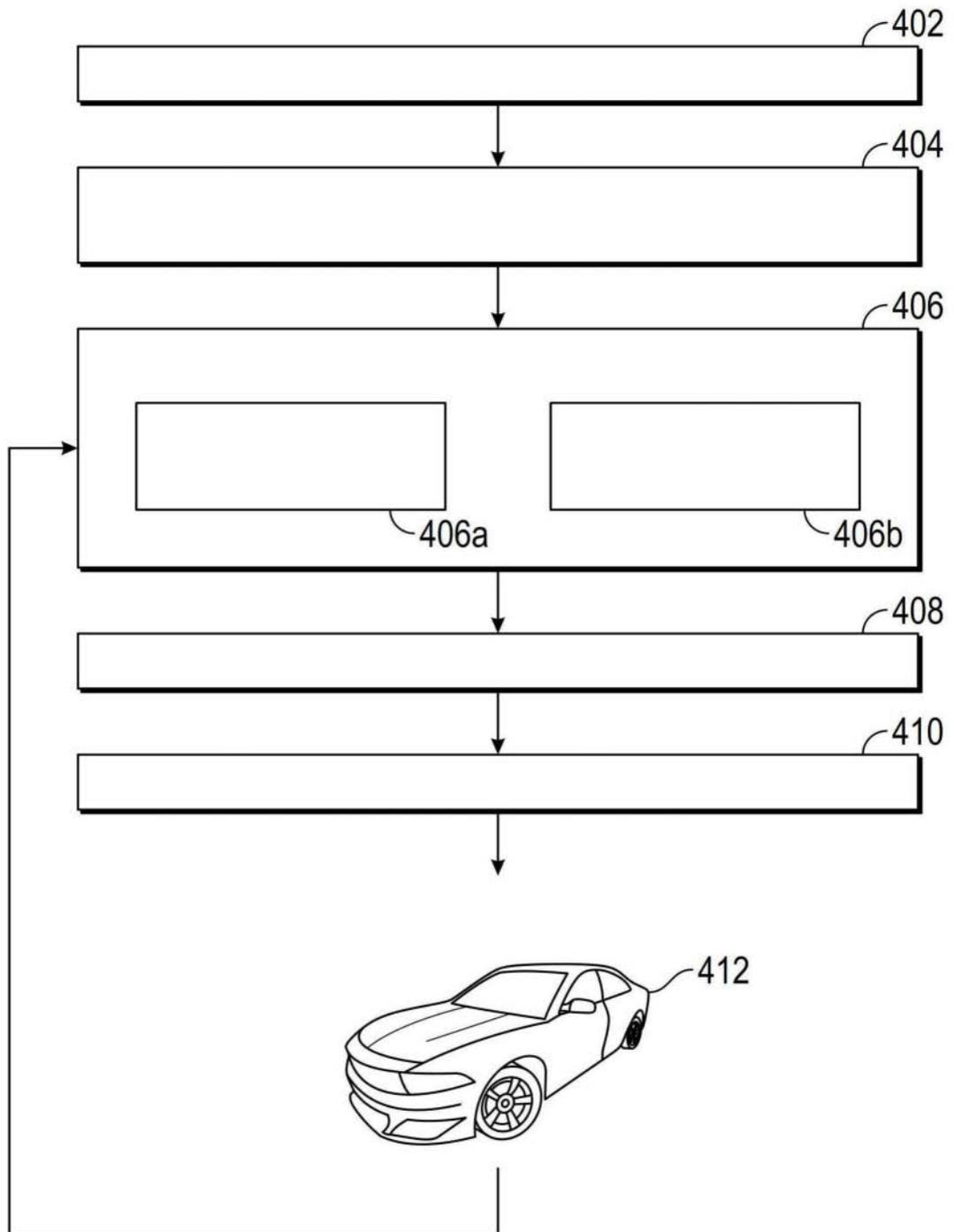


图4

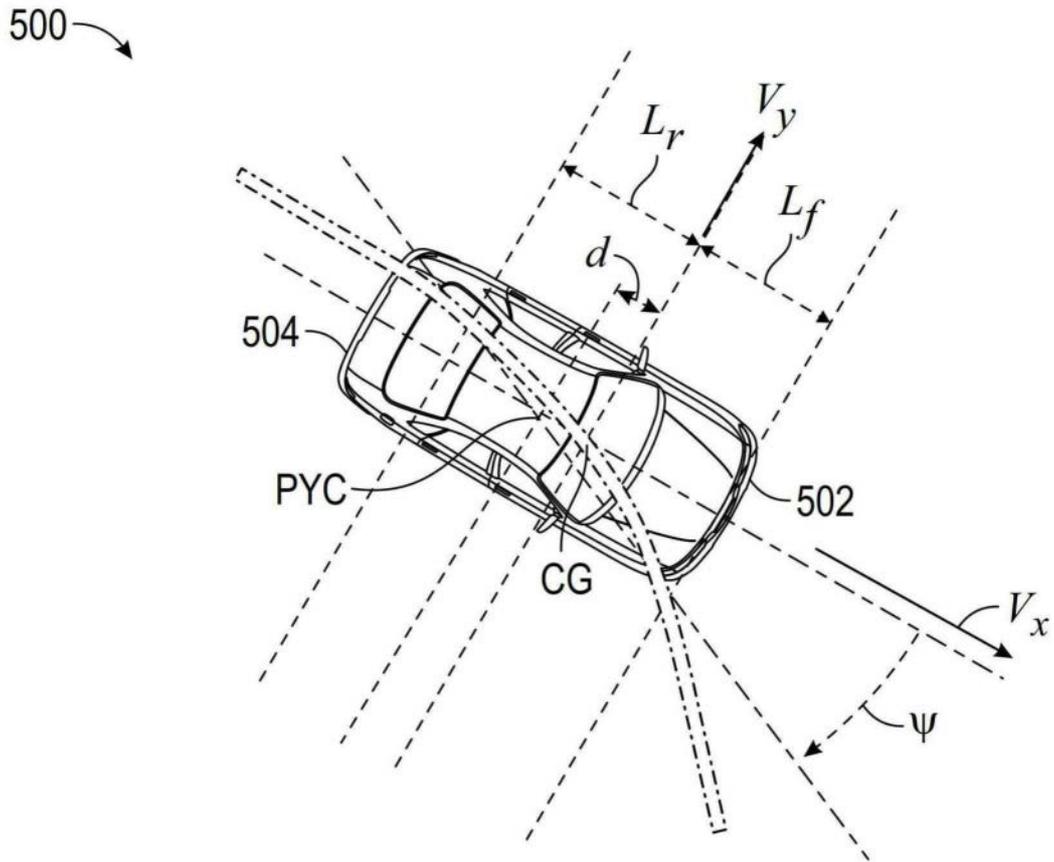


图5

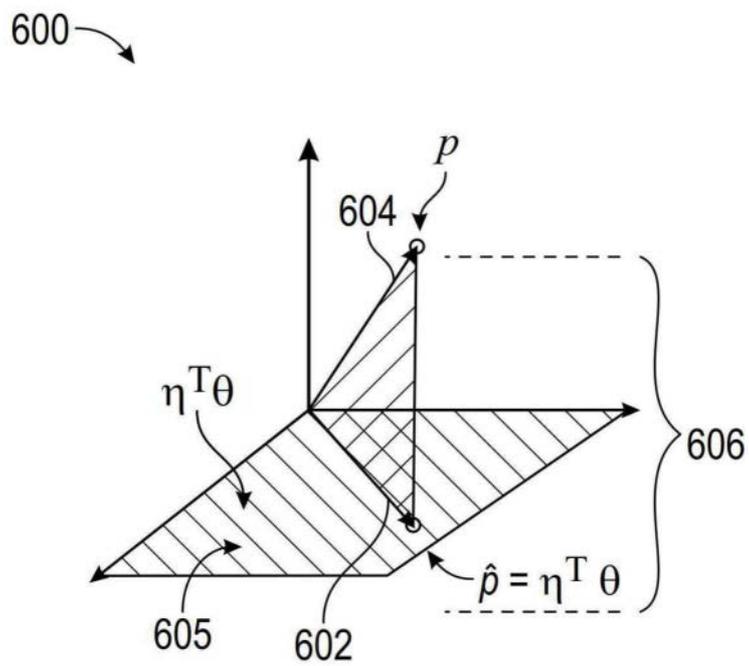


图6

700

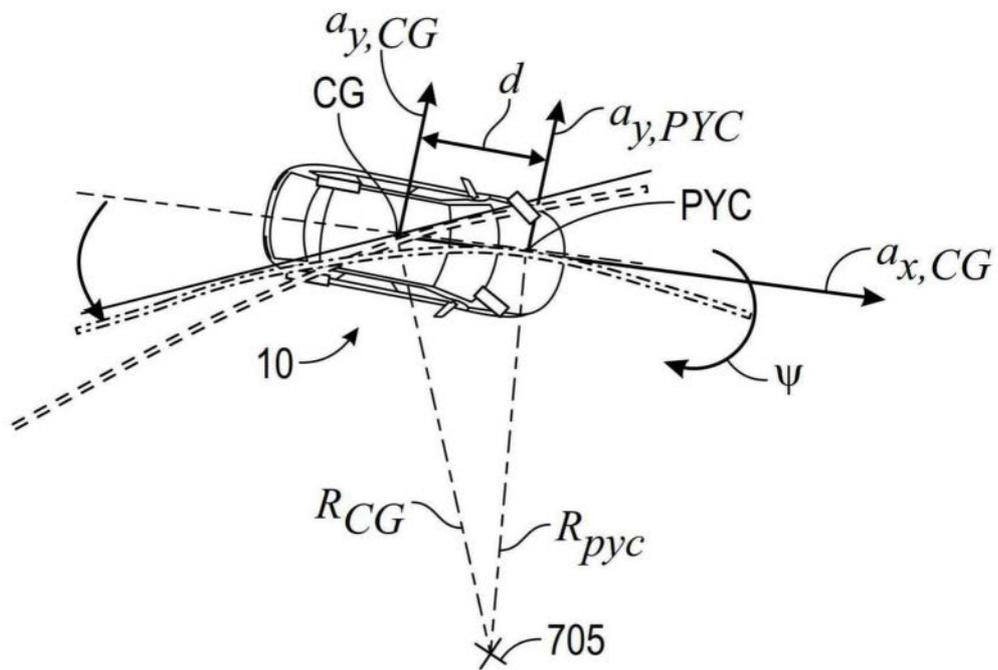


图7

800

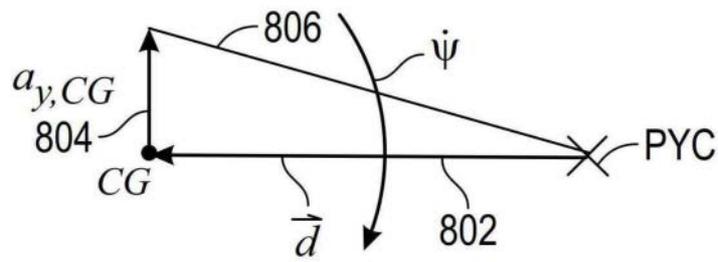


图8

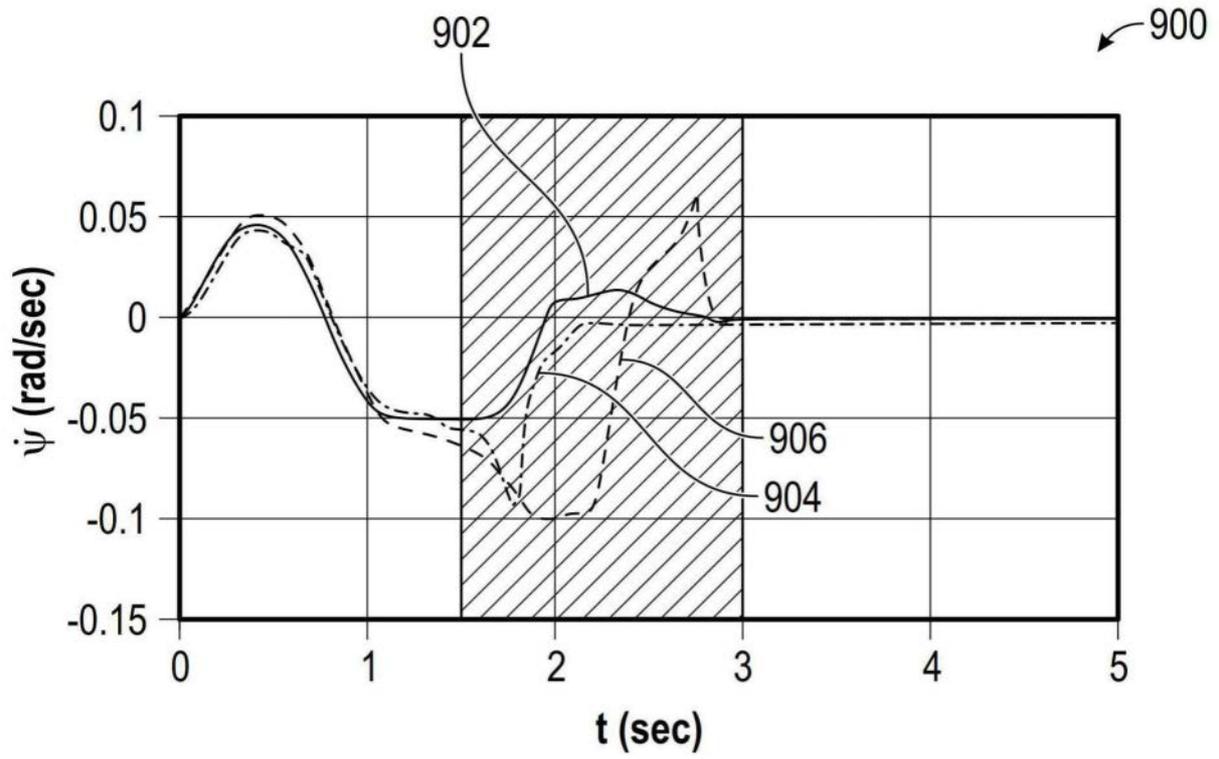


图9

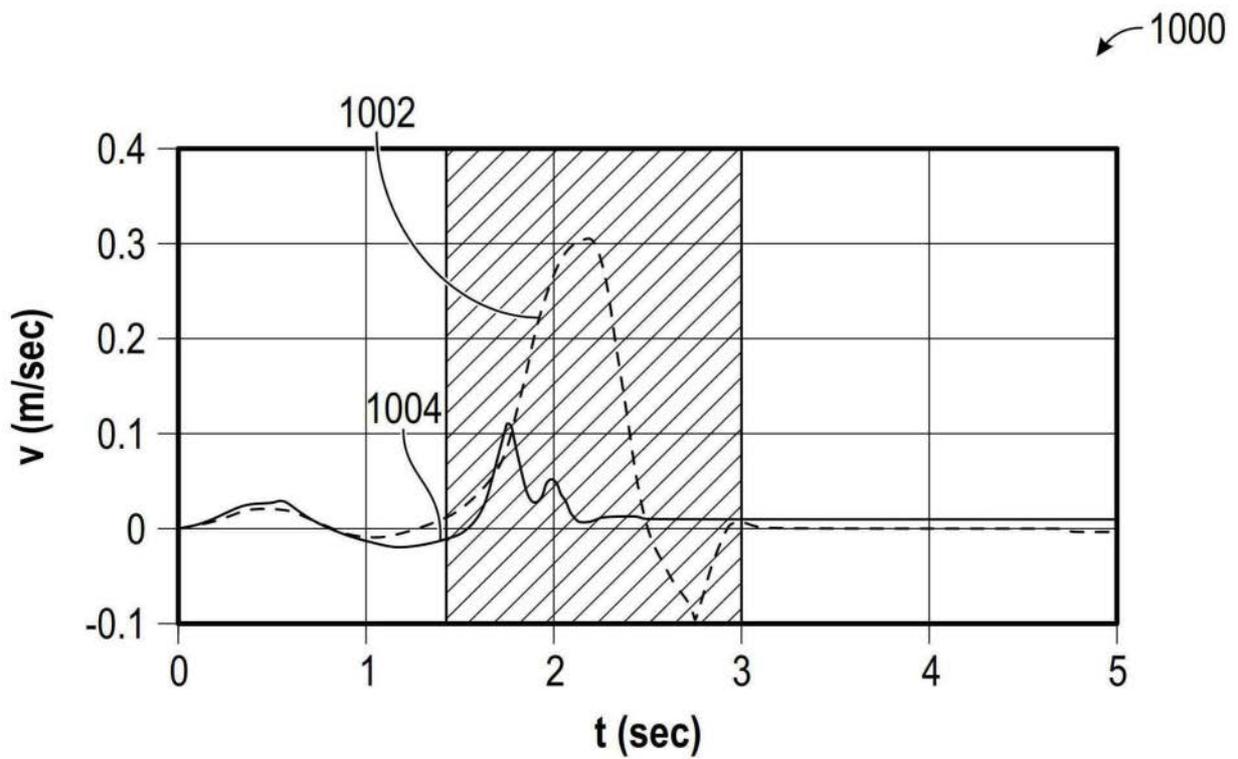


图10