



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103661393 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201310389288. 1

(22) 申请日 2013. 08. 30

(30) 优先权数据

61/695, 886 2012. 08. 31 US

13/735, 327 2013. 01. 07 US

(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 于海 陆建波 马修·艾伦·博斯

瑞恩·亚伯拉罕·麦吉

(74) 专利代理机构 北京铭硕知识产权代理有限公司 11286

代理人 鲁恭诚 薛义丹

(51) Int. Cl.

B60W 40/076 (2012. 01)

B60W 40/13 (2012. 01)

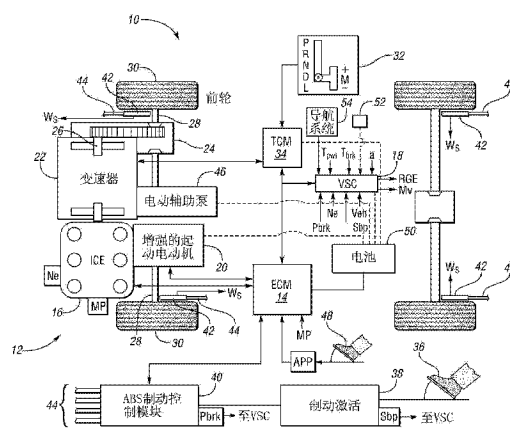
权利要求书1页 说明书41页 附图27页

(54) 发明名称

运动学道路坡度估计

(57) 摘要

本发明涉及运动学道路坡度估计。一种车辆和车辆系统设置有控制器, 控制器被配置成使用扩展卡尔曼滤波器产生指示运动学道路坡度估计的输出。所述扩展卡尔曼滤波器包括基于纵向加速度和加速度偏移量的系统输入以及基于预测的车辆速度的系统输出。加速度偏移量基于横向速度、横向偏移量及车辆俯仰角中的至少一个。控制器还被配置成产生指示运动学品质因子的输出, 所述运动学品质因子对应于运动学道路坡度估计的可用性。



1. 一种车辆,包括:

控制器,被配置成:

使用滤波器产生指示运动学道路坡度估计的输出,所述滤波器具有基于纵向加速度的系统输入和基于预测的车辆速度的系统输出;

产生指示运动学品质因子的输出,所述运动学品质因子对应于运动学道路坡度估计的可用性。

2. 根据权利要求 1 所述的车辆,其中,控制器还被配置成:

基于系统输出和测量的车辆速度之间的差,估计指示由于重力导致的加速度的状态;

基于所述状态使用运动学方程计算运动学道路坡度估计。

3. 根据权利要求 1 所述的车辆,所述车辆还包括:

惯性传感器,用于提供指示纵向加速度的信号。

4. 根据权利要求 1 所述的车辆,所述车辆还包括:

导航系统,被配置成产生指示测量的车辆垂向位移的输出,其中,所述系统输出还包括预测的垂向位移,

其中,控制器还被配置成:

基于系统输出和测量的车辆速度之间的差以及系统输出和测量的垂向位移之间的差,估计指示由于重力导致的加速度的第一状态;

基于系统输出和测量的车辆速度之间的差以及系统输出和测量的垂向位移之间的差,估计指示由于车辆俯仰角导致的加速度的第二状态;

基于第一状态和第二状态计算运动学道路坡度估计。

5. 根据权利要求 1 所述的车辆,其中,控制器还被配置成:

当车辆速度小于出口速度阈值时,锁定指示运动学道路坡度估计的输出。

6. 根据权利要求 1 所述的车辆,其中,系统输入还包括对应于车辆横向动力的加速度偏移量。

7. 根据权利要求 1 所述的车辆,其中,运动学道路坡度估计独立于车辆俯仰角。

运动学道路坡度估计

技术领域

[0001] 一个或多个实施例涉及一种车辆系统以及用于估计道路坡度和车辆质量的方法。

背景技术

[0002] 道路坡度和车辆质量是影响多个车辆控制功能的两个参数。这样的功能包括动力传动系控制、能量管理控制、变速器控制、制动控制及稳定性控制。例如,传统的车辆包括提供用于推进车辆的扭矩的内燃发动机。即使当发动机怠速运转时,发动机也通过变速器将扭矩提供给驱动车轮。这样的扭矩被称为蠕动扭矩。当车辆在斜面上停止时,该蠕动扭矩对由制动系统施加的扭矩(制动扭矩)进行补充,以使车辆保持在静止位置。如果在车辆在斜面上停止时关闭发动机,则发动机的蠕动扭矩可消失,且会需要附加制动扭矩以保持车辆的位置并防止车辆向后滚动。需要的附加制动扭矩的量基于道路坡度和车辆质量。

[0003] 微混合动力车辆可启用停止/起动策略,以用于在驱动事件期间起动和停止车辆的发动机。如果不需要功率(例如,在交通信号灯处等待时),则关闭发动机。只要需要功率,就自动重新起动发动机。通过避免不必要的发动机怠速运转,将提高车辆的燃料经济性。具有起动/停止功能的微混合动力车辆可调节制动压力,以当在车辆在斜面上停止的同时发动机关闭时保持车辆的位置。这样的微混合动力车辆估计道路坡度和车辆质量,并基于这些估计来调节制动压力。

发明内容

[0004] 在一个实施例中,一种车辆设置有控制器,控制器被配置成使用扩展卡尔曼滤波器产生指示运动学道路坡度估计的输出。所述扩展卡尔曼滤波器包括基于纵向加速度的系统输入以及基于预测的车辆速度的系统输出。控制器还被配置成产生指示运动学品质因子的输出,所述运动学品质因子对应于运动学道路坡度估计的可用性。

[0005] 在另一实施例中,一种车辆系统设置有控制器,控制器被配置成使用扩展卡尔曼滤波器产生指示运动学道路坡度估计的输出。所述扩展卡尔曼滤波器包括基于纵向加速度和加速度偏移量的系统输入以及基于预测的车辆速度的系统输出。加速度偏移量基于横向速度、横向偏移量以及车辆俯仰角中的至少一个。

[0006] 在另一实施例中,提供一种基于估计的运动学道路坡度而操作车辆的方法。使用扩展卡尔曼滤波器产生指示运动学道路坡度估计的输出,所述扩展卡尔曼滤波器具有基于纵向加速度的系统输入和基于预测的车辆速度的系统输出。产生对应于运动学道路坡度估计的可用性的运动学品质因子。

[0007] 一种车辆系统包括控制器,控制器被配置成:使用扩展卡尔曼滤波器产生指示运动学道路坡度估计的输出,所述扩展卡尔曼滤波器具有基于纵向加速度和加速度偏移量的系统输入以及基于预测的车辆速度的系统输出,其中,加速度偏移量基于横向速度、横向偏移量以及车辆俯仰角中的至少一个。

[0008] 控制器还被配置成:基于指示横摆角的输入评价车辆转弯状况;当车辆转弯状况

对应于动态驱动状况时,基于指示横向加速度的输入的积分来估计横向速度。

[0009] 控制器还被配置成:基于指示横摆角的输入评价车辆转弯状况;当车辆转弯状况对应于稳定状态状况时,从横摆角获得横向速度。

[0010] 控制器还被配置成:基于指示横摆角的输入评价车辆转弯状况;当车辆转弯状况对应于动态驱动状况时,基于指示横向加速度的输入计算车身侧倾角;基于车身侧倾角估计横向偏移量。

[0011] 控制器还被配置成:基于指示横摆角的输入评价车辆转弯状况;当车辆转弯状况对应于稳定状态状况时,基于横摆角计算车身侧倾角;基于车身侧倾角估计横向偏移量。

[0012] 控制器还被配置成:基于车辆速度和纵向加速度使用动态俯仰补偿来估计车辆俯仰角。

[0013] 控制器还被配置成:基于系统输出和测量的车辆速度之间的差,估计指示由于重力导致的加速度的状态;基于所述状态和车辆速度的导数,使用相平面增益安排规则,从预定数据选择普通悬挂阻尼效应和悬挂刚度值;基于普通悬挂阻尼效应和悬挂刚度值,使用传递函数,计算车辆俯仰角。

[0014] 控制器还被配置成:基于车辆速度、纵向加速度和垂向加速度,计算车辆俯仰角。

[0015] 控制器还被配置成:基于系统输出和测量的车辆速度之间的差,估计指示由于重力导致的加速度的状态;基于车辆速度、纵向加速度、垂向加速度以及由于重力导致的加速度,计算车辆俯仰角。

[0016] 一种基于估计的运动学道路坡度操作车辆的方法,所述方法包括:使用扩展卡尔曼滤波器产生指示运动学道路坡度估计的输出,所述扩展卡尔曼滤波器具有基于纵向加速度的系统输入和基于预测的车辆速度的系统输出;产生对应于运动学道路坡度估计的可用性的运动学品质因子。

[0017] 所述方法还包括:基于系统输出和测量的车辆速度之间的差,估计指示由于重力导致的加速度的状态;基于所述状态计算运动学道路坡度估计。

[0018] 所述方法还包括:接收指示测量的车辆垂向位移的输入,其中,系统输出还包括预测的垂向位移;基于系统输出和测量的车辆速度之间的差以及系统输出和测量的垂向位移之间的差,估计指示由于重力导致的加速度的第一状态;基于系统输出和测量的车辆速度之间的差以及系统输出和测量的垂向位移之间的差,估计指示由于车辆俯仰角导致的加速度的第二状态;基于第一状态和第二状态计算运动学道路坡度估计。

[0019] 所述方法还包括:接收指示横摆角的输入;基于横摆角估计加速度偏移量,其中,加速度偏移量包括横向速度、横向偏移量以及车辆俯仰角中的至少一个,其中,系统输入还包括加速度偏移量。

[0020] 这样,通过使用EKF估计运动学道路坡度(其提供积分式滤波策略),车辆系统优于现有的方法。这样的积分策略不会放大信号上的噪声,因此,这样的积分策略提供改进的估计精度同时相对快速地收敛。通过使用输入补偿的加速度偏移量估计运动学道路坡度以提高精度,来消除由车辆横向动力导致的偏移量和不确定性及其耦合效应,车辆系统另外优于现有的方法。

附图说明

- [0021] 图 1 是根据一个或多个实施例的具有用于估计道路坡度和车辆质量的车辆系统的车辆的示意图；
- [0022] 图 2 是图 1 的车辆被示出为位于以一定坡度倾斜的道路上的侧视图；
- [0023] 图 3 是图 1 的车辆的仰视图；
- [0024] 图 4 是示出根据一个或多个实施例的如由图 1 的车辆系统执行的用于仲裁道路坡度估计的方法的示意性框图；
- [0025] 图 5A 至图 5E 是示出由图 4 的方法控制的道路坡度估计的时间图；
- [0026] 图 6 是示出根据一个或多个实施例的用于仲裁道路坡度估计的方法的流程图；
- [0027] 图 7 是示出车辆速度和加速度的时间图；
- [0028] 图 8 是示出根据一个或多个实施例的用于评价加速度计收敛状态的方法的流程图；
- [0029] 图 9 是示出根据一个或多个实施例的用于锁定静态道路坡度输出的方法的流程图；
- [0030] 图 10A 至图 10C 是示出如由图 9 的方法控制的车辆速度、加速度和道路坡度估计的时间图；
- [0031] 图 11 是示出根据一个或多个实施例的用于运动学道路坡度估计的方法的示意性框图；
- [0032] 图 12 是示出根据一个或多个实施例的用于估计运动学道路坡度的方法的流程图；
- [0033] 图 13A 至图 13D 是示出如由图 12 的方法控制的车辆速度、加速度和道路坡度估计的时间图；
- [0034] 图 14 是示出根据一个或多个实施例的用于确定车辆驱动状况的方法的流程图；
- [0035] 图 15 是示出根据一个或多个实施例的用于估计车辆横向速度的方法的流程图；
- [0036] 图 16 是示出根据一个或多个实施例的用于估计车身侧倾角的方法的流程图；
- [0037] 图 17 是根据一个或多个实施例的用于选择悬挂参数的方法的视图；
- [0038] 图 18 是示出根据一个或多个实施例的用于车辆质量估计的方法的示意性框图；
- [0039] 图 19 是示出根据一个或多个实施例的用于估计车辆质量的方法的流程图；
- [0040] 图 20 是示出根据一个或多个实施例的用于使车辆质量估计参数复位的方法的流程图；
- [0041] 图 21 是示出根据一个或多个实施例的用于更新车辆质量估计参数的方法的流程图；
- [0042] 图 22 是示出车辆质量估计的时间图；
- [0043] 图 23 是示出车辆质量估计的另一时间图；
- [0044] 图 24 是示出车辆质量估计的又一时间图；
- [0045] 图 25 是示出根据一个或多个实施例的用于估计估计器品质的方法的流程图；
- [0046] 图 26A 至图 26C 是示出如由图 25 的方法控制的车辆速度、加速度和道路坡度估计的时间图；
- [0047] 图 27A 至图 27G 是示出如由图 25 的方法控制的车辆速度和品质因子的时间图。

具体实施方式

[0048] 根据需要,在此公开本发明的具体实施例;然而,应该理解到,公开的实施例仅仅是本发明的示例,本发明可以以多种和可选的形式实施。附图并不一定按照比例绘制;可夸大或最小化一些特征以示出特定部件的细节。因此,在此公开的具体结构和功能性细节不被解释为限制,而仅作为用于教导本领域的技术人员以多种方式使用本发明的代表性基础。

[0049] 参照图 1,示出了根据一个或多个实施例的用于估计道路坡度和车辆质量的车辆系统,该车辆系统总体上由标号 10 指示。车辆系统 10 被描述为在车辆 12 内。车辆系统 10 包括控制器,例如彼此通信的发动机控制模块(ECM)14、内燃发动机(ICE)16 及车辆系统控制器(VSC)18。VSC18 接收对应于车辆速度(V_x)、加速度(a)、横摆角(r)及扭矩(T_{pwt} , T_{brk})的输入,然后响应于所述输入而提供对应于道路坡度估计(RGE)和估计的车辆质量(Mv)的输出。

[0050] 示出的实施例将车辆 12 描述为微混合动力车辆,微混合动力车辆是一种由发动机 16 推进的车辆,且发动机 16 反复地起动和停止以节省燃料。增强的起动电动机 20 结合到发动机的曲轴。起动电动机 20 接收电功率并将输出扭矩提供给曲轴以用于起动发动机 16。虽然在上下文中示出和描述了微混合动力车辆 12,但是应该理解到,车辆系统 10 的实施例可在其他类型的车辆(例如,传统的动力传动系车辆、由电机驱动而不存在发动机辅助的电池电动车辆(BEV)以及由电动机和发动机驱动的混合动力电动车辆(HEV))上实施。

[0051] 车辆 12 包括变速器 22,以用于调节发动机 16 的输出扭矩。来自发动机 16 的扭矩通过变速器 22 经变速器输出轴 26 传递到差速器 24。半轴 28 从差速器 24 延伸到一对驱动轮 30,以提供驱动扭矩来推进车辆 12。

[0052] 车辆 12 包括换档杆 32,以用于手动选择变速器的档位。换档杆 32 包括传感器(未示出),以用于提供对应于选择的变速器档位(例如,PRNDL)的输出信号。变速器控制模块(TCM)34 与换档杆 32 和变速器 22 通信,以用于基于换档杆的选择来调节变速器的速比。可选地,换档杆 32 可机械地连接到变速器 22,以用于调节变速器的速比。

[0053] 车辆 12 包括制动系统,制动系统包括制动踏板 36、增压器和主缸,在图 1 中,增压器和主缸总体上由制动激活模块 38 指示。制动系统还包括 ABS 制动控制模块 40,ABS 制动控制模块 40 通过一系列液压管路 44 连接到车轮制动组件 42 和制动激活模块 38,以实施摩擦制动。车轮制动组件 42 布置在每个车轮 30 处,且可被构造为卡钳或鼓式制动组件。每个车轮制动组件 42 包括传感器(未示出),以用于提供车轮速度信号(W_s)。在一个或多个实施例中,ABS 制动控制模块 40 基于车轮速度信号将计算的车辆速度信号(V_x)提供给 VSC18。

[0054] 制动系统还包括传感器,以用于提供对应于当前制动特性的信息。制动系统包括位置开关,以用于提供对应于制动踏板位置(例如,踩下或松开)的制动踏板状态(S_{bp})信号。在其他实施例中,制动系统包括位置传感器(未示出),以用于测量踏板位置。制动系统还包括一个或多个压力传感器,以用于提供对应于制动系统内实际制动压力值(例如,制动管路压力、主缸压力或车轮组件处的压力)的制动压力(P_{brk})信号。

[0055] 车辆 12 包括加速踏板 48,加速踏板 48 带有位置传感器,以用于提供对应于驾驶员请求推进的加速踏板位置(APP)信号。ECM14 基于 APP 信号控制发动机 16 的节气门。

[0056] 车辆 12 包括能量储存装置,例如电池 50。电池 50 将电能供应到车辆控制器和起

动电动机 20 以及用于变速器 22 的换档的电动辅助泵 46, 如总体上由图 1 中的虚线指示的。车辆 12 可包括单个电池 50 (例如, 传统的低电压电池) 或包括包含高电压电池的多个电池。另外, 车辆 12 可包括其他类型的能量储存装置, 例如电容器或燃料电池。

[0057] 车辆 12 还包括一个或多个惯性传感器 52, 惯性传感器 52 提供对应于车辆加速度 (a) 的输出。在一个实施例中, 惯性传感器 52 提供对应于纵向加速度的输出。在另一实施例中, 惯性传感器 52 提供对应于纵向加速度、横向加速度和垂向加速度的输出, 在图 1 中, 所有这样的加速度总体上由变量 a 指示。在一个或多个实施例中, 惯性传感器 52 还提供对应于横摆角 (r) 的输出。在其他实施例中, 传感器 52 是倾角仪 (未示出), 该倾角仪提供对应于与车辆俯仰角相关的道路坡度的输出。

[0058] 车辆 12 包括导航系统 54, 以用于从驾驶员接收目的地信息。导航系统 54 还与在车辆外部的多个系统 / 网络通信。例如, 导航系统 54 可包括用于 (通过蜂窝网络、硬线连接或射频 (RF) 波) (未示出) 与卫星 (例如, GPS) 通信的收发器和计算机。这样的网络在由 Pleet 等人的第 12/744, 092 号美国申请中详细描述, 该申请通过引用被包含于此。导航系统 54 确定车辆 12 的当前位置和由驾驶员选择的目的地之间的距离, 并将该距离和与车辆 12 相关的速度、加速度以及海拔信息、车辆 12 的目标目的地或其他相关的 GPS 路点一起提供给 VSC18。

[0059] VSC18 与其他车辆系统、传感器和控制器通信, 以用于协调它们的功能。如在示出的实施例中所示, VSC18 从各种车辆传感器和控制器接收多个输入信号 (例如, S_{bp} 、 P_{brk} 、发动机速度 (N_e)、车辆速度 (V_x)、动力传动系扭矩 (T_{pt})、制动扭矩 (T_{br})、 a 和 r)。虽然 VSC18 被示出为单个控制器, 但是 VSC18 可包括多个控制器, 所述多个控制器可用于根据总的车辆控制逻辑或软件控制多个车辆系统。包括 VSC18 的车辆控制器通常包括任意数量的微处理器、ASIC、IC、存储器 (例如, FLASH、ROM、RAM、EPROM 和 / 或 EEPROM) 及软件代码, 它们彼此共同作用以执行一系列操作。控制器还包括预定数据或“查找表”, 所述“查找表”基于计算和测试数据并存储在存储器内。VSC18 利用通用总线协议 (例如, CAN 和 LIN) 通过一个或多个有线车辆连接或无线车辆连接与其他车辆系统和控制器 (例如, ECM14、TCM34 等) 通信。

[0060] 参照图 2 和图 3, 车辆 12 被示出为多个力、加速度和力矩作用在车辆 12 上。车辆 12 被示出为参考以车辆的重心 (CG) 为中心的坐标系。坐标系包括纵轴 (x)、横轴 (y) 和竖轴 (z)。参照图 2, 车辆 12 位于斜面上。斜面的坡度 (道路坡度) 由符号 α_r 表示。另外, 车辆相对于道路坡度的俯仰角由符号 θ 表示。车辆的重量由 Mg 表示, Mg 被示出为作用在车辆 12 的 CG 上, 其中, M 是估计的车辆质量, g 表示由于重力而导致的加速度 ($9.8m/s^2$)。车辆 12 的纵向速度由符号 V_x 表示, 且根据一个或多个实施例, V_x 基于车轮速度信号 (在图 1 中示出的 W_s) 确定。车辆 12 的纵向加速度和垂向加速度分别由变量 $\dot{a}_x$ 和 $\dot{a}_z$ 表示, 其中, 上标字母 (s) 指示由传感器 (例如, 在图 1 中示出的惯性传感器 52) 提供的信号。参照图 3, 横摆角围绕竖轴 (z) 作用且由字母 r 表示。惯性传感器 52 安装在车辆 12 上从 CG 偏移一定距离的位置, 车辆系统 10 基于该偏移量计算 CG 处的加速度值。在图 3 中, 传感器 52 和 CG 之间的纵向偏移量由 l_d 表示, 传感器 52 和 CG 之间的横向偏移量由 l_c 表示。

[0061] 图 4 描述了根据一个或多个实施例的用于道路坡度估计仲裁的方法 410 的简化框图。根据一个或多个实施例, 使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。在其他实施例中, 在其他车辆控制器中实现方法 410, 或者方法 410 分布在多个车辆控制器中。车辆系统包括

用于估计道路坡度的多个算法,其中,每个算法适合于不同的车辆状况。方法 410 基于当前车辆状况选择道路坡度估计算法。

[0062] 在信号处理框 412 处,VSC 接收输入。所述输入包括车辆状态和传感器信号(例如, a_x^s 、 a_y^s 、 a_z^s 、 r)、获得的或计算的值(例如, V_x 、 T_{pwt} 、 T_{brk} 、 F_{pwt} 、 F_{brk})及品质因子,所有这样的输入总体上由输入 414 表示。在一些实施例中,车辆系统从导航系统接收对应于车辆速度和加速度的输入,所述输入总体上由输入 418 表示。

[0063] 在框 420 处,VSC 使用分别由子框 422、424 和 426 表示的静态估计算法、运动学估计算法和动态估计算法来估计道路坡度(RGE)。RGE 值被提供给 RGE 仲裁和诊断框 428,RGE 仲裁和诊断框 428 基于多个车辆状况选择一个估计(RGE_{st} 、 RGE_{kin} 或 RGE_{dyn})作为输出(RGE_{out})提供给其他车辆系统。

[0064] 静态 RGE 算法 422 基于纵向加速度输入(a_x^s)估计道路坡度。静态 RGE 适合于车辆静止状况,例如,当微混合动力车辆在斜面上停止时的发动机起动/停止功能。当车辆在斜面上停止(如图 2 所示)时,由于车辆悬挂系统内的挠度(该挠度由车辆俯仰角(θ)表示),导致纵向加速度值(a_x^s)存在偏差。静态 RGE 算法对车辆俯仰角进行补偿,如参照图 7 至图 10C 详细描述。一般来说,静态 RGE 是三种 RGE 估计算法中最精确的算法,其原因是静态 RGE 算法的估计涉及最少估计输入且静态 RGE 算法最直接地获得估计结果。然而,静态 RGE 算法仅在车辆静止状况下可用。

[0065] 运动学 RGE 算法 424 基于对应于车辆的运动学特性(包括车辆速度、加速度和横摆角之间的关系)的输入来估计 RGE。该算法使用卡尔曼滤波器处理所述输入,如参照图 11 至图 13D 详细描述。运动学 RGE 算法 424 适合于正常车辆运动状况(例如, $V_x > 5\text{kph}$),其原因是在车辆速度低时一些基本计算的精度低。另外,卡尔曼滤波器是动态滤波器,通常不可能获得良好的估计,直到估计状态收敛为止。瞬态时间取决于初始状态、真实道路坡度状态以及估计状况(例如:信号频率分量丰富度和信噪比等)之间的差异。

[0066] 动态 RGE 算法 426 基于对应于车辆速度、车轮扭矩(制动扭矩和动力传动系输出扭矩)以及作用在车辆上的其他拖曳力(例如,气动阻力、滚动阻力和道路坡度负荷)的输入来估计 RGE。车辆系统包括用于估计车辆质量的算法,该算法包括在框 426 中且参照图 18 至图 24 详细描述。一般来说,与静态 RGE 和运动学 RGE 相比,动态 RGE 的品质状况更低,其原因是动态 RGE 在进行估计时涉及更多的信号,且每个信号中的噪声和误差将传送到最终 RGE 输出中。然而,动态 RGE 不依赖纵向加速度信号(a_x^s),因此,动态 RGE 的信号覆盖范围不同于静态估计和运动学估计的信号覆盖范围。例如,在传感器出故障的情况下,可能不能获得纵向加速度信号(a_x^s),然后,动态 RGE 是唯一可用的估计。

[0067] 在框 430 处,车辆系统执行驱动状态监测和估计算法调节。估计算法调节包括对框 424 的 RGE_{kin} 算法进行前馈输入补偿,这参照图 14 至图 17 详细描述。

[0068] 在框 432 处,车辆系统评价车辆操作状况(例如,车辆稳定性、振荡和速度),并将对应的判断提供给框 428。在框 434 处,车辆系统针对每种 RGE 算法确定品质因子(QF_{st} 、 QF_{kin} 、 QF_{dyn})以及总的 RGE 品质因子(QF_{RGE})。在一个或多个实施例中, QF_{RGE} 与 RGE_{out} 一起提供给其他车辆系统。参照图 25 至图 27G 详细描述这样的品质评价。一般来说,品质因子评价估计的信息的可用性和精度。品质因子从 0 至 3 的范围内选择,其中,品质值 3 指示全品质,品

质值 2 指示品质存在一些降低,品质值 1 指示品质差,品质值 0 指示估计在当前不可用。

[0069] 图 5A 至图 5E 示出了图 4 的用于仲裁道路坡度估计的方法 410 的效果。图 5A 至图 5E 包括在实际道路坡度已知的道路上在共同的时间段内获得的测量数据的 5 个图形。图 5A 示出了车辆速度(V_x)和静态道路坡度估计(RGE_{st})。图 5B 示出了车辆速度(V_x)和运动学道路坡度估计(RGE_{kin})。图 5C 示出了车辆速度(V_x)和道路坡度估计输出(RGE_{out})。图 5D 示出了道路坡度估计输出(RGE_{out})和实际道路坡度(α_r)。图 5E 示出了 RGE_{out} 和 α_r 之间的百分比误差。

[0070] 图 5A 至图 5C 示出了在车辆多次停止的驱动循环期间,方法 410 如何在静态道路坡度估计和运动学道路坡度估计之间进行仲裁。在图 5A 至图 5C 中的每个图中示出了车辆速度(V_x)。在示出的实施例中,车辆停止三次,这三次停止由标号 512、514 和 516 指示。

[0071] 如图 5A 描述的,当车辆停止或者静止时,静态道路坡度估计(RGE_{st})可用。在第一次停止 512, RGE_{st} 指示道路坡度约为 20%,如标号 518 表示的。在第二次停止 514, RGE_{st} 指示道路坡度约为 0%,如标号 520 表示的,以及在第三次停止 516, RGE_{st} 指示道路坡度约为 -12%,如标号 522 表示的。根据一个或多个实施例,当车辆运动时,静态道路坡度估计不可用, RGE_{st} 波形等于零。

[0072] 如图 5B 描述的,当车辆运动时或者在正常车辆运动期间,运动学道路坡度估计(RGE_{kin})可用。在第一次停止 512 之前, RGE_{kin} 指示道路坡度从约 0% 增加到 20%,如标号 524 表示的。在第一次停止 512, RGE_{kin} 不可用, RGE_{kin} 锁止 / 锁定到最后那个 RGE_{kin} 值,如标号 526 表示的。在第一次停止 512 和第二次停止 514 之间, RGE_{kin} 从约 20% 减小到 0%,如标号 528 表示的。在第二次停止 514 和第三次停止 516 之间, RGE_{kin} 从约 0% 减小到 -12%,如标号 530 表示的。在第三次停止 516 之后, RGE_{kin} 从 -12% 增加到 0%,如标号 532 表示的。

[0073] 如图 5C 描述的,如参照图 4 描述的道路坡度估计输出(RGE_{out})通常在静止状况下选择 RGE_{st} 以及在车辆运动时选择 RGE_{kin} 。图 5D 示出了 RGE_{out} 和实际道路坡度(α_r)。图 5E 描述了 RGE_{out} 和 α_r 之间的百分比误差(误差)。对于本示例,误差约为 $\pm 4\%$ 。

[0074] 表 A 描述了与用于估计道路坡度的算法相关的输入和车辆状况的比较,如下所示:

[0075]

RGE 算	估计输入			估计的可用性			
	车 辆 速	加 速	车 轮 扭 矩 &	静	速 度 极	正 常 运	收 敛 阶

[0076]

法	度	度	力	止	低	动	段
静态		X		X			是*
运动学	X	X				X	是
动态	X		X	X		X	是

[0077] 表 A 的第 1 列示出了三种道路坡度估计算法：静态、运动学和动态。第 2 列至第 4 列描述了每种算法所使用以进行估计的原始输入。例如，车辆系统基于车辆加速度估计静态道路坡度。车辆系统基于车辆速度和加速度估计运动学道路坡度，车辆系统基于车辆速度和车轮扭矩 / 力估计动态道路坡度。如参照图 1 描述的，这些输入可以是测量值或者获得的值。另外，在一些实施例中，对于对应的道路坡度估计，车辆系统除了使用在图 5 中描述的输入之外还使用其他输入。

[0078] 第 5 列至第 8 列描述了每种道路坡度估计算法可用的车辆状况。例如，当车辆静止时，静态道路坡度估计算法可用。当车辆正常运动（例如，车辆速度大于 5mph）时，运动学道路坡度估计算法可用。当车辆静止时或者在正常车辆运动期间，动态道路坡度估计算法可用。虽然表 1 的第 6 列指示在车辆速度极低（例如，小于 5mph）时没有估计算法可用，但是车辆系统仍然在这样的状况期间提供精确的道路坡度估计，如下面参照图 25 至图 26C 描述的。

[0079] 第 7 列描述了每种估计算法的收敛阶段。收敛阶段涉及在车辆状况之间过渡（例如，从静止过渡到速度极低，过渡到正常运动）期间车辆系统使用每种算法估计道路坡度所花费的时间的量。

[0080] 参照图 6，示出了根据一个或多个实施例的用于仲裁道路坡度估计的方法，该方法总体上由标号 610 指示。根据一个或多个实施例，使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。在其他实施例中，在其他车辆控制器中实现方法 610，或者方法 610 分布在多个车辆控制器中。在一个或多个实施例中，方法 610 的操作对应于参照图 4 描述的方法 410 的操作。车辆系统包括用于估计道路坡度的多种算法，其中，每种算法适合于不同的车辆状况。方法 610 基于估计状态、估计准备和估计品质因子选择道路坡度估计算法。

[0081] 用于每种 RGE 算法（静态、运动学和动态）的估计状态因子被限定为布尔变量（“真” / “假”），且由变量（ $STATUS_{st}$ ， $STATUS_{kin}$ ， $STATUS_{dyn}$ ）表示。估计状态因子指示是否满足估计条件以及估计功能是否在对应的 RGE 通道（ RGE_{st} 、 RGE_{kin} 和 RGE_{dyn} ）更新其状态。状态值“真”指示估计方法主动监测车辆动态状态（例如， V_x 、 a_x^s 、 a_y^s 、 a_z^s 和 r ），且正在更新道路坡度信息及其估计通道。

[0082] 用于每种 RGE 算法（静态、运动学和动态）的估计准备因子也被限定为布尔变量（“真” / “假”），且由变量（ $READY_{st}$ 、 $READY_{kin}$ ， $READY_{dyn}$ ）表示。估计准备通常指示 RGE 功能的当前有用性。更具体地说，静态估计准备（ $READY_{st}$ ）指示 RGE_{st} 是否已经针对于当前车辆位置提供道路坡度估计。运动学估计准备值（ $READY_{kin}$ ）和动态估计准备值（ $READY_{dyn}$ ）分别指

示在品质因子大于 2（降低的品质或全品质）的情况下，它们的估计状态在超过阈值时间段的时间范围内持续有效。在存在不合格的估计状况时，在这样的状况下累积的时间未超过另一时间阈值，使得估计状态未偏离降低的边界。

[0083] 用于 RGE 输出和每种 RGE 算法（静态、运动学和动态）的估计品质因子对应于 0 至 3 之间的值，且由变量（ QF_{RGE} 、 QF_{st} 、 QF_{kin} 、 QF_{dyn} ）表示。估计品质因子评价估计的道路坡度信息的可用性和精度。 QF_{RGE} 是普通 RGE 输出信号品质评价，其基于选择的 RGE 算法的品质因子，且在更新事件之后根据车辆的动态状况被进一步处理。参照图 25 至图 26C 详细描述这样的品质评价。对于来自各个通道的评价的品质因子 QF_{st} 、 QF_{kin} 和 QF_{dyn} ，值 3 指示全品质，值 2 指示估计仍然可用，但是当前值可能在指定的精度范围之外。

[0084] 在操作 612 处，车辆系统评价静态 RGE 功能的当前估计状态，以确定 $STATUS_{st}$ 是否等于“真”。如果在操作 612 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 614。在操作 614 处，车辆系统评价静态 RGE 功能的当前估计准备，以确定 $READY_{st}$ 是否等于“真”。如果在操作 614 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 616。在操作 616 处，车辆系统评价静态 RGE 功能的当前估计品质，以确定 QF_{st} 是否等于 3（全品质）。如果在操作 616 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 618，并通过将 RGE 输出设置为等于 RGE_{st} 来选择静态道路坡度估计。如果在操作 612 处确定是否定的，则车辆系统进行到操作 620。

[0085] 在操作 620 处，车辆系统评价运动学 RGE 功能的当前估计状态，以确定 $STATUS_{kin}$ 是否等于“真”。如果在操作 620 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 622。在操作 622 处，车辆系统评价运动学 RGE 功能的当前估计准备，以确定 $READY_{kin}$ 是否等于“真”。如果在操作 622 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 624。在操作 624 处，车辆系统评价运动学 RGE 功能的当前估计品质，以确定 QF_{kin} 是否等于 3（全品质）。如果在操作 624 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 626，并通过将 RGE 输出设置为等于 RGE_{kin} 来选择运动学道路坡度估计。

[0086] 静态道路坡度估计和运动学道路坡度估计优于 RGE_{dyn} ，其原因是：由于在 RGE_{dyn} 进行估计时需要附加信号导致 RGE_{dyn} 的品质状况低，且每个信号中的噪声将传送到最终 RGE 输出中。因此，即使静态品质因子和运动学品质因子小于 3，车辆系统仍然可选择 RGE_{st} 或 RGE_{kin} ，而非选择 RGE_{dyn} 。

[0087] 如果在操作 616 处确定是否定的，则 QF_{st} 小于 3，车辆系统进行到操作 628。在操作 628 处，车辆系统将临时品质因子值（ QF_{tmp} ）设置为等于 QF_{st} ，以及将临时道路坡度估计（ RGE_{tmp} ）设置为等于 RGE_{st} 。类似地，如果在操作 624 处确定是否定的，则 QF_{kin} 小于 3，车辆系统进行到操作 630。在操作 630 处，车辆系统将临时品质因子值（ QF_{tmp} ）设置为等于 QF_{kin} ，以及将临时道路坡度估计（ RGE_{tmp} ）设置为等于 RGE_{kin} 。在操作 628 或 630 之后，车辆系统进行到操作 632，以评价总的 RGE 品质因子（ QF_{RGE} ）。

[0088] 在操作 632 处，车辆系统确定 QF_{RGE} 是否小于 3。如果在操作 632 处确定是否定的，则车辆系统进行到操作 634，不更新 RGE。如果总的 RGE 具有全品质，则车辆系统不去选择品质更低的不同的 RGE。如果在操作 632 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 636。

[0089] 在操作 636 处，车辆系统评价动态 RGE 功能的当前估计状态和当前估计准备，以确定 $STATUS_{dyn}$ 和 $READY_{dyn}$ 是否等于“真”。如果在操作 636 处确定是否定的，则车辆系统进行到操作 638。在操作 638 处，车辆系统评价临时品质因子 QF_{tmp} ，以确定 QF_{tmp} 是否等于或大于

2. 如果在操作 638 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 634,不更新 RGE。如果在操作 638 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 640,并通过将 RGE 输出(RGE_{out})设置为等于 RGE_{tmp} 来选择临时道路坡度(静态或运动学)。如果在操作 636 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 642。

[0090] 在操作 642 处,车辆系统评价临时品质因子(QF_{tmp})和动态品质因子(QF_{dyn}),以确定 QF_{tmp} 和 QF_{dyn} 中的最小值是否等于或大于 2。如果在操作 642 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 644。在操作 644 处,车辆系统确定 QF_{tmp} 是否大于 QF_{dyn} 。如果在操作 644 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 640,并通过将 RGE 输出(RGE_{out})设置为等于 RGE_{tmp} 来选择临时道路坡度(静态或运动学)。如果在操作 644 处确定是否定的(QF_{tmp} 不大于 QF_{dyn}),则车辆系统进行到操作 646,并通过将 RGE 输出(RGE_{out})设置为等于 RGE_{dyn} 来选择动态道路坡度。

[0091] 如果在操作 614、620 或 622 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 648。在操作 648 处,车辆系统评价动态 RGE 功能的当前估计状态和当前估计准备,以确定 $STATUS_{dyn}$ 和 $READY_{dyn}$ 是否均等于“真”。

[0092] 如果在操作 648 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 650。在操作 650 处,车辆系统评价动态 RGE 功能的当前估计品质,以确定 QF_{dyn} 是否等于或大于 2。如果在操作 650 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 646,并通过将 RGE 输出设置为等于 RGE_{dyn} 来选择动态道路坡度估计。如果在操作 648 或 650 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 652,并通过将 RGE 输出值锁止到之前的 RGE 输出值而不更新 RGE 输出。在操作 618、626、640、646 或 652 之后,车辆系统进行到操作 654。在操作 654 处,车辆系统提供 RGE 输出和 QF ,然后返回到操作 612,以进行方法 610 的另一次迭代。

[0093] 这样,通过从多个不同的估计(静态、运动学和动态)中仲裁或选择道路坡度估计,使车辆系统优于现有的系统。每个道路坡度估计适合于不同的车辆状况。通过在这些不同的估计之间进行仲裁,车辆系统在宽的车辆状况范围内提供道路坡度估计。

[0094] 回顾图 2,静态道路坡度估计和运动学道路坡度估计基于车辆运动学方程。运动学通常涉及物体在空间和时间中如何运动的描述。车辆运动学方程基于由惯性传感器 52 提供的车辆加速度值(a_x^s 、 a_y^s 、 a_z^s)。坐标系(x, y, z)相对于道路且围绕车辆的重心(CG)定位。然而,惯性传感器 52 被安装为从坐标系(x, y, z)偏移一定距离,其中, l_c 是横向偏移量以及 l_d 是纵向偏移量。另外,惯性传感器 52 提供由于车辆悬挂导致的从坐标系偏移的输出信号。车辆俯仰角(θ)表示从纵轴(x)偏移的角度。车辆侧倾角(ϕ)(未示出)表示从横轴(y)偏移的角度,车辆横摆角(r)表示从竖轴(z)偏移的角度。车辆系统估计道路坡度(α_r),因此从道路坡度(α_r)分离车辆偏移量(例如,车辆俯仰角(θ))。

[0095] 起主导作用的车架运动学方程如下所示:

$$[0096] \quad a_x^s + l_c \dot{r} = (\dot{V}_x - r * V_y) \cos \theta + g \sin(\alpha_r + \theta) \quad (1)$$

[0097]

$$a_y^s + l_d \dot{r} = (\dot{V}_y + r * V_x) \cos \phi_v - g \sin \phi \cos(\alpha_r + \theta) \quad (2)$$

$$[0098] \quad a_z^s = \dot{V}_x \sin \theta + g \cos(\alpha_r + \theta) + n_{az} \quad (3)$$

[0099] 其中, a_x^s 、 a_y^s 和 a_z^s 是车辆纵向加速度、横向加速度和垂向加速度。 l_c 是在转弯机动时传感器从车辆旋转中心(CG)横向偏移的量, l_d 是传感器纵向偏移的量。 V_x 和 V_y 是纵向速度和横向速度, $\dot{V}_x$ 、 $\dot{V}_y$ 和 $\dot{V}_z$ 是计算的纵向加速度、横向加速度和垂向加速度; θ 是车辆俯仰角, r 是横摆角。 ϕ 是总的车辆侧倾角, 其对应于车身侧倾角 ϕ_v 和道路坡度角 ϕ_b 之和。另外, n_{az} 表示由车辆悬挂振荡和路面起伏导致的所有的垂向加速度扰动。

[0100] 车辆系统基于车辆纵向加速度和等式 1 估计静态道路坡度。由于车辆是静态的或者车辆静止, 所以纵向速度(V_x)、纵向加速度($\dot{V}_x$)、横摆角、横摆角的倒数被设置为零, 且简化满足运动学方程。等式 4 示出了用于在静止状况下计算纵向加速度的等式, 如下所示:

$$[0101] \quad a_x^s = g(\alpha_r + \theta) \approx g \sin \alpha_r + g\theta \quad (4)$$

[0102] 由于悬挂的挠度导致的车辆俯仰角(θ)与道路坡度角成比例 $\theta = K_p(g \sin \alpha_r)$, 其中, K_p 表示在稳定状态下车身的刚度。 K_p 是基于 a_x^s 的幅度的预定值。在一个或多个实施例中, VSC 包括与预校准数据的查找表对应的存储数据, 其中, 在 a_x^s 的正操作范围和负操作范围内, 针对于 a_x^s 的矢量值对 K_p 值进行插值。等式 5 示出了中间推导步骤, 等式 6 提供用于在静止状况下计算道路坡度(α_r)的等式, 如下所示:

$$[0103] \quad a_x^s \approx g(1 + K_p \cdot g) \sin \alpha_r \quad (5)$$

$$[0104] \quad \alpha_r = \arcsin \left(\frac{a_x^s}{g(1 + K_p g)} \right) \quad (6)$$

[0105] 一般来说, 静态 RGE 是三种 RGE 估计算法中最精确的算法, 其原因是静态 RGE 涉及最少估计输入且静态 RGE 最直接地获得估计结果。然而, 静态 RGE 仅在车辆静止状况下可用。

[0106] 图 7 示出了根据一个或多个实施例的当车辆在坡上停止时获得的测量数据。图 7 示出了输入信号: 车速(V_x)和纵向加速度(a_x^s)以及根据等式 6 计算的道路坡度数据(α_r)。在时间 t_1 , 车辆在减速, 如由 V_x 的下降斜坡指示的。在时间 t_2 , 车辆停止。在车辆停止之后, 由于车身振荡导致在纵向加速度信号(a_x^s)上存在噪声, 如由标号 712 指示的。通过道路坡度计算放大该噪声, 如由道路坡度 α_r 波形示出的且由标号 714 指示的。在时间 t_3 , 纵向加速度信号(a_x^s)已经足够收敛, 而提供道路坡度估计的品质信息, 如由标号 716 指示的。在示出的实施例中, t_2 和 t_3 之间的时间差约为 3s。因此, 对于 RGE, 依赖于道路坡度(α_r)计算的车辆系统在使用该值之前可等待大约 3s。这样的延时导致使用发动机起动/停止功能的微混合动力车辆的燃料效率降低。

[0107] 参照图 8, 示出了根据一个或多个实施例的用于评价加速度计收敛状态的方法, 该方法总体上由标号 810 指示。根据一个或多个实施例, 使用包含在 VSC 内的软件代码实现

该方法。虽然车辆系统估计静态道路坡度,但是可连续监测其估计状态和品质。当加速度计输出($\dot{a}_x^s$)收敛且($\dot{a}_x^s$)保持这样的稳定状态持续了最小量的时间时,发生高品质的估计。

加速度计输出($\dot{a}_x^s$)被分配收敛状态因子(CON_{st}), CON_{st} 在三级标签代码中指示原始信号是否处于稳定状态。其中, CON_{st} 等于零指示收敛不稳定, CON_{st} 等于 1 指示收敛在某种程度上稳定, CON_{st} 等于 2 指示收敛极其稳定。

[0108] 另外,收敛状态信号(CON_{st})还用于评价静态 RGE 输出品质。例如,在一个或多个实施例中, CON_{st} 为 2 (极其稳定)对应于最高的或全品质估计($QF_{st}=3$)。 CON_{st} 为 1 (在某种程度上稳定)对应于品质劣化的估计($QF_{st}=2$)。 CON_{st} 为 0 (不稳定)对应于不合格的估计($QF_{st}=1$)或者无数据($QF_{st}=0$)。收敛状态信号(CON_{st})基于纵向加速度的导数。

[0109] 在操作 812 处,车辆系统评价车辆速度(V_x)和收敛状态因子(CON_{st}),以确定 V_x 是否小于低速阈值以及加速度计的信号品质是否良好(例如,是否是 $CON_{st}=2$)。如果在操作 812 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 814。在操作 814 处,车辆系统评价收敛状态因子(CON_{st}),以确定 CON_{st} 是否指示信号稳定(例如,是否是 $CON_{st}=2$)。如果在操作 814 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 816,通过将稳定计时器($Stable_Timer$)、收敛计时器($Converging_Timer$)、不稳定计时器($Nonstable_Timer$)以及收敛状态因子(CON_{st})均设置为零(CON_{st} =不稳定),而使计时器和标志复位。当存在可用的 RGE 值时,车辆系统还将标志 $Grade_Found$ 设置为等于“假”。 $Grade_Found$ 指示对于当前车辆停止事件是否已经提供有效的估计(RGE_{st})。 $Grade_Found$ 等于“真”,指示已经提供有效的 RGE_{st} , $Grade_Found$ 等于“假”,指示没有提供有效的 RGE_{st} 或者 RGE_{st} 不再有效。如果在操作 812 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 818。

[0110] $Grade_Found$ 意思是在当前车辆停止事件中在违背估计条件之前,从静态估计算法获得有效的坡度估计。“违背估计条件”意思是对于估计来说状况不再有效。对于静态 RGE,这样的一个事件是车辆速度增加到速度阈值(例如,5kph)之上。

[0111] 在操作 818 处,车辆系统计算纵向加速度的时间导数($\ddot{a}_x^s$),或者使用低通滤波器计算纵向加速度的一阶导数。在操作 820 处,车辆系统将该加速度的时间导数($\ddot{a}_x^s$)与收敛阈值进行比较,以确定 $\ddot{a}_x^s$ 是否小于收敛阈值。如果在操作 820 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 822,使不稳定计时器累加循环时间 Dt 。如果在操作 814 处确定是肯定的,则车辆系统也进行到操作 822。在操作 824 处,车辆系统评价不稳定计时器,以确定不稳定计时器是否大于不稳定计时器阈值。如果在操作 824 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 826,将收敛计时器、稳定计时器和收敛状态因子(CON_{st})均设置为零(CON_{st} =不稳定)。如果在操作 820 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 828。

[0112] 在操作 828 处,车辆系统评价纵向加速度的时间导数($\ddot{a}_x^s$),以确定 $\ddot{a}_x^s$ 是否小于稳定阈值。如果在操作 828 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 830,使收敛计时器累加循环时间 Dt 。在操作 832 处,车辆系统评价收敛计时器,以确定收敛计时器是否大于收敛计时器阈值。如果在操作 832 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 834,通过将不稳定计时器和稳定计时器设置为等于零而使不稳定计时器和稳定计时器复位;将收敛状态因子设

置为在某种程度上稳定($CON_{st}=1$);将 Grade_Found 设置为“真”。如果在操作 828 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 836。

[0113] 在操作 836 处,使稳定计时器累加循环时间 Dt。在操作 838 处,车辆系统评价稳定计时器,以确定稳定计时器是否大于稳定计时器阈值。如果在操作 838 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 840,通过将不稳定计时器和收敛计时器设置为等于零而使不稳定计时器和收敛计时器复位;将收敛状态因子设置为极其稳定($CON_{st}=2$);将 Grade_Found 设置为“真”。

[0114] 参照图 9,示出了根据一个或多个实施例的用于锁定静态道路坡度输出的方法,该方法总体上由标号 910 指示。根据一个或多个实施例,使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。一般来说,一旦车辆系统确定收敛状态极其稳定(例如, $CON_{st}=2$),则将 RGE_{st} 锁定以避免从未来车辆扰动导致的任何冲击。当车辆系统检测到车辆在运动时,锁定被释放。 $STATIC_{lock}$ 信号指示 RGE_{st} 是否被锁定、解除锁定或者隔离。被隔离的锁定状态指示锁定和解除锁定之间的中间状态,此时,车辆系统等待附加信息。

[0115] 在操作 912 处,车辆系统进入初始化状态,将 $STATIC_{lock}$ 信号设置为等于解除锁定。在操作 914 处,车辆系统评价 $STATIC_{lock}$ 信号,以确定静态道路坡度(RGE_{st})是否被锁定。如果在操作 914 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 916。在操作 916 处,车辆系统确定 $STATIC_{lock}$ 信号是否被隔离。如果在操作 916 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 918。在操作 918 处,车辆系统确定 Grade_Found 是否为“真”。Grade_Found 信号基于当前 RGE_{out} 信号。如果在操作 918 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 920。在操作 920 处,车辆系统评价收敛状态信号,以确定 CON_{st} 是否“极其”稳定(例如,是否是 $CON_{st}=2$)。如果在操作 920 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 922,将 $STATIC_{lock}$ 信号设置为锁定。然后,在操作 924 处,静态道路坡度估计(RGE_{st})被锁定。如果在操作 914 处确定是肯定的(例如, $STATIC_{lock}$ = 锁定),则车辆系统进行到操作 926。

[0116] 在操作 926 处,车辆系统评价获得的坡度(GRADE_Found),以确定是否是 GRADE_Found=“真”。如果在操作 926 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 928,评价收敛状态信号以确定 CON_{st} 是否不稳定(例如,是否是 $CON_{st}=0$)。如果在操作 928 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 930,将 $STATIC_{lock}$ 设置为隔离。在操作 930 之后,并且如果在操作 928 或 934 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 924,并锁定静态道路坡度估计(RGE_{st})。如果在操作 916 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 932。

[0117] 在操作 932 处,车辆系统评价获得的坡度信号,以确定是否是 GRADE_Found=“真”。如果在操作 932 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 934,评价收敛状态信号,以确定 CON_{st} 是否极其稳定(例如,是否是 $CON_{st}=2$)。如果在操作 934 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 922,将 $STATIC_{lock}$ 设置为锁定。如果在操作 932、918、920 或 926 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 936,将 $STATIC_{lock}$ 设置为解除锁定。在操作 936 或 924 之后,车辆系统进行到操作 938,然后返回到操作 914。

[0118] 参照图 10A 至图 10C,车辆系统基于图 8 的方法 810 和图 9 的方法 910 估计静态道路坡度(RGE_{st})。图 10A 至图 10C 包括在共同的时间段内获得的测量数据的 3 个图形,这 3 个图形总体上由标号 1010 指示。另外,根据一个或多个实施例,车辆系统基于运动学道路坡度估计或动态道路坡度估计来估计 RGE_{st} 的初始值,然后使用带宽可变的低通滤波器对

纵向加速度信号($\dot{a}_x^s$)进行滤波,以确定 RGE_{st} 。

[0119] 图 10A 示出了车辆速度(V_x)和表示低通滤波器的可变带宽的信号($f1t$),其中,当 $f1t$ 等于 1 时,滤波器具有窄的带宽,当 $f1t$ 等于零时,滤波器具有宽的带宽。图 10B 示出了测量的纵向加速度值($\dot{a}_x^s$)。图 10C 示出了静态道路坡度估计(RGE_{st})和运动学道路坡度估计(RGE_{kin})。在一个或多个实施例中,沿着在 0.04Hz 和 2.5Hz 之间的频率范围分配带宽;其中,宽的带宽对应于频率范围的高端,窄的带宽对应于频率范围的低端。在其他实施例中,宽的带宽对应于大约 1Hz,窄的带宽对应于大约 0.05Hz。

[0120] 车辆系统基于运动学道路坡度估计或动态道路坡度估计来估计 RGE_{st} 的初始值。如果没有估计可用,则车辆系统将使用默认值。由于静态 RGE 功能仅在车辆速度小于预定速度阈值(例如,1kph)之后开始启用,所以估计算法的初始值是收敛时间或延时的因子,直到 RGE_{st} 收敛到实际道路坡度为止。幸运的是,车辆系统包括多种道路坡度算法。其他运动学估计算法和动态估计算法主要在该状况下同时车辆在运动时起作用。因此,在静态 RGE 算法开始启用之前,关于在当前时间之前的几秒钟内的道路坡度的信息或者关于在车辆(假设车辆向前行驶)之后的几米内的道路坡度的信息应该可从其他 RGE 算法获得,这些信息是静态 RGE 算法开始启用的有效参考。在此之后,静态 RGE 算法接管了主要的估计操作,以继续监测道路坡度变化,同时在不存在合格的估计条件时暂停其他两种算法。更具体地说,当满足估计条件时,根据运动学估计算法的输出和动态估计算法的输出中的哪一个具有最高品质评价,静态 RGE 算法将运动学估计算法的输出或动态估计算法的输出作为其初始值。当运动学估计算法的输出和动态估计算法的输出均不满足品质时,将使用默认值替代。合格的静态估计条件是车辆速度将小于速度阈值,这样的速度阈值将小于用于确定其他两种 RGE 算法暂停的速度阈值。

[0121] 在时间 t_1 ,车辆开始减速,如由 V_x 的下降斜坡指示的。在时间 t_2 ,车辆停止, RGE_{st} 启用。与从 0% 开始并收敛到实际道路坡度不同的是, RGE_{st} 从最后那个 RGE_{kin} 值开始,如在点 1012 处所示,在点 1012 处, RGE_{st} 等于 RGE_{kin} ,二者均约等于 -22%。然后,随着 RGE_{st} 累积数据,在时间 t_3 , RGE_{st} 收敛到约 -20% 的实际道路坡度,如由标号 1014 表示的。

[0122] 在车辆停止之后,由于车身振荡导致在纵向加速度信号($\dot{a}_x^s$)上存在噪声,如由标号 1016 指示的。车辆系统使用带宽可变的低通滤波器对纵向加速度信号($\dot{a}_x^s$)进行滤波,如由 1018 处的 $f1t$ 波形指示的。车辆系统通过使用基于 $\dot{a}_x^s$ 的一阶导数和更高阶导数选择的时间常数对 $\dot{a}_x^s$ 数据进行动态滤波,而计算滤波后的纵向加速度值。在一个实施例中,车辆系统将纵向加速度的时间导数($\ddot{a}_x^s$)或纵向加速度的一阶导数与阈值时间导数进行比较。如果该加速度的时间导数($\ddot{a}_x^s$)大于阈值时间导数,则为低通滤波器选择对应于更低带宽的时间常数。相反,如果该加速度的时间导数($\ddot{a}_x^s$)小于阈值时间导数,则为低通滤波器选择对应于更高带宽的时间常数。例如,阈值时间导数可以是在上面参照图 8 描述的收敛阈值 820 或稳定阈值 828。在示出的实施例中, $f1t$ 波形对应于带宽,其中,当应用低带宽时, $f1t$ 等于 1,当选择高带宽时, $f1t$ 等于 0。

[0123] 在另一实施例中,基于纵向加速度的二阶导数 $\ddot{a}_x^s$ 从预定数据(例如,查找表)选择带宽。通过对 $\ddot{a}_x^s$ 进行滤波,道路坡度估计(RGE_{st})相对快速地收敛。例如,在时间 t_3 ,RGE_{st}收敛,如由标号 1014 指示的,在 t_2 和 t_3 之间的延时约为 1s。

[0124] 回顾图 7,在进行道路坡度估计之前,用于评价道路坡度的现有的系统可等待纵向加速度信号收敛。因此,对于在图 7 中示出的车辆状况,在估计道路坡度之前,这样的系统将等待大约 3 秒。然而,如图 10A 至图 10C 所示,通过将基于其他估计的初始值用于 RGE_{st},并通过对纵向加速度进行动态滤波,车辆系统减少延时。

[0125] 这样,通过使用运动学方程和纵向加速度的动态滤波来估计静态道路坡度,使车辆系统优于现有的系统。车辆系统还将静态道路坡度估计的初始值设置为等于由运动学道路坡度估计或动态道路坡度估计提供的道路坡度。在可提供合格的静态道路坡度估计值之前,通过对纵向加速度进行动态滤波,并通过针对初始值使用另一估计,车辆系统减少延时,这进而允许在起动/停止应用中发动机更早地关闭,由此使得燃料经济性提高。

[0126] 参照图 11,示出了根据一个或多个实施例的说明用于运动学道路坡度估计的方法的示意性框图,该框图总体上由标号 1110 指示。方法 1110 对应于在图 4 中示出的总的 RGE 仲裁方法 410 的运动学道路坡度估计部分。框 1112 对应于图 4 的框 412。在框 1112 处,车辆系统接收输入,所述输入包括加速度($\ddot{a}_x^s$ 、 $\ddot{a}_y^s$ 、 $\ddot{a}_z^s$)、横摆角(r)和车辆速度(V_x)。在一个实施例中,车辆系统仅接收纵向加速度($\ddot{a}_x^s$)和车辆速度。在其他实施例中,车辆系统还接收 GPS 信息(例如,车辆速度、加速度和海拔)。可从参照图 1 描述的传感器直接接收输入,或者可在 CAN 总线上间接接收输入。

[0127] 框 1114 和 1116 对应于图 4 的 RGE_{kin} 框 424。在框 1114 处,车辆系统确定分别表示系统输出和输入的扩展卡尔曼滤波器(EKF)参数 Y_k 和 u_k 。输入参数基于车辆速度(V_x)、纵向加速度($\ddot{a}_x^s$)和加速度偏移量 $\ddot{a}_x^{off}$ 。对于使用 GPS 信息的实施例,参数还可基于可选状态信息。在框 1116 处,车辆系统使用 EKF 估计 RGE_{kin} 并确定运动学品质因子(QF_{kin})。

[0128] 输入($\ddot{a}_x^s$ 、 $\ddot{a}_z^s$ 和 r)提供给对应于图 4 的框 430 的 RGE_{kin} 输入补偿框 1118。在框 1118 处,车辆系统确定加速度偏移量 $\ddot{a}_x^{off}$ 。提供加速度偏移量作为框 1114 和 1116 的运动学道路坡度估计的前馈输入补偿值。参照图 14 至图 17 详细描述确定加速度偏移量。

[0129] 车辆系统基于车架运动学方程 1 至 4 来估计运动学道路坡度,并使用积分式滤波策略。通过忽略更高阶次的角度项,车架运动学方程可简化为下面示出的等式 7 至 9:

[0130]

$$\ddot{a}_x^s + l_c \dot{r} - (\dot{V}_x - r * V_y) = -(\dot{V}_x - r * V_y) \frac{\theta^2}{2} + g(\alpha_r + \theta) \quad (7)$$

[0131]

$$\ddot{a}_y^s + l_a \dot{r} - (\dot{V}_y + r * V_x) = -(\dot{V}_y + r * V_x) \frac{\phi^2}{2} - g(\phi_v + \phi_r) \quad (8)$$

$$[0132] \quad a_z^s - g = \dot{V}_x \theta - \frac{g}{2}(\alpha_r + \theta)^2 \quad (9)$$

[0133] 用于纵向加速度($\dot{V}_x$)的等式可通过将小角度逼近应用于等式 8 而获得,如下所示:

$$[0134] \quad \dot{V}_x = a_x = a_x^s + l_c \dot{r} + r * V_y - g \theta - g \alpha_r$$

$$[0135] \quad \approx a_x^s + l_c \dot{r} + r * V_y - g \sin \theta - g \sin \alpha_r$$

$$[0136] \quad = a_x^s + a_x^{off} - g \sin \alpha_r \quad (10)$$

[0137] 其中, a_x^{off} 表示加速度偏移量。

[0138] 根据一个或多个实施例,车辆系统使用卡尔曼滤波器来估计运动学道路坡度。卡尔曼滤波器对噪声输入数据流进行递归操作,以提供基本系统状态的统计上的优化估计。基本上,卡尔曼滤波器是这样一种算法,该算法使用在一定时间段内观察的且包含随机变化(噪声)的一系列测量值,提供对于未知变量的估计,这比只进行测量更精确。卡尔曼滤波器可被认为是基于可测量的输入和输出来估计“黑盒子”的状态的方法。

[0139] 卡尔曼滤波器算法使用包括时间更新预测步骤和测量值更新步骤的两步处理来估计状态。在预测步骤中,卡尔曼滤波器提供当前状态变量及其不确定性的估计。测量值更新步骤是反馈控制的形式。一旦卡尔曼滤波器观察到下一个测量值,则使用加权平均更新估计,其中,更大的权重给予确定性更高的估计。

[0140] 从协方差计算权重,协方差是对于系统状态的预测的估计不确定性的测量值。每个时间步骤重复卡尔曼滤波器处理,其中,新的估计及其协方差通知用于后续迭代的预测。卡尔曼滤波器是递归估计器。其意思是只有来自先前时间步骤的估计状态和当前测量值用于计算当前状态的估计。

[0141] 对于在过渡系统和测量系统中存在附加的独立白噪声的线性系统模型来说,卡尔曼滤波器是优化的估计。然而,大多数系统是非线性的。扩展卡尔曼滤波器(EKF)用于提供非线性系统的估计。EKF 采用包括多元泰勒级数展开的技术,以线性化关于工作点的计算。

[0142] 车辆系统限定扩展状态(a_x^g)。由于重力加速度是恒定值(9.8m/s^2),所以扩展状态的一阶动态变化等于零($\dot{a}_x^g = 0$)。扩展状态使由道路坡度的变化引起的车辆加速度动态变化模型化,道路坡度在低频时相对大些。

[0143] 用于估计的总体系统模型如下所示,且由等式 11 指示:

[0144]

$$X_k = f(X_{k-1}, u_k) + \omega_k$$

[0145]

$$\begin{bmatrix} V_x(k) \\ a_x^g(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_x & (k-1) - a_x^g & (k-1) & \tau_s \\ a_x^g & (k-1) & & \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} (a_x^s(k) + a_x^{off}(k)) \tau_s + \begin{bmatrix} \omega_v(k) \\ \omega_a(k) \end{bmatrix}$$

$$[0146] \quad X_k = [V_x(k) \quad a_x^g(k)]^T$$

$$[0147] \quad u_k = (a_x^s(k) + a_x^{off}(k))\tau_s$$

$$[0148] \quad Y_k = [1 \quad 0]X_k = V_x$$

$$[0149]$$

$$\omega_k = [\omega_v(k) \quad \omega_a(k)]^T \quad (11)$$

[0150] 其中, X_k 是在时间步骤(k)处的状态, X_{k-1} 是在先前的时间步骤处的状态。 u_k 是系统输入, Y_k 是系统输出。 ω_k 是过程噪声, $\omega_v(k)$ 是与速度相关的过程噪声, $\omega_a(k)$ 是与加速度相关的过程噪声。 V_x 是纵向速度。 a_x^g 是由于重力导致的扩展状态加速度, $a_x^s(k)$ 是测量的纵向加速度, $a_x^{off}(k)$ 是加速度偏移量。 τ_s 是用于上述离散时间实现模型的采样时间, T 指示矩阵变换。

[0151] 基于在等式 11 中示出的系统模型, 观测仪被设计为估计扩展状态(a_x^g), 并且根据如下所示的等式 12 估计运动学道路坡度:

$$[0152] \quad \hat{\alpha}_r = \arcsin\left(\frac{a_x^g}{g}\right) = RGE_{kin} \quad (12)$$

[0153] 使用标准扩展卡尔曼滤波器(EKF)系统模型设计观测仪, 该系统模型由在上面示出的等式 11 中的函数和等式 13 表示, 这两个等式如下所示:

$$[0154] \quad X_k = f(X_{k-1}, u_k) + \omega_k$$

$$[0155] \quad Y_k = CX_k + e_k \quad (13)$$

[0156] 其中, C 是矩阵, 该矩阵在等式 11 中是相对简单的矩阵, e_k 是未知的噪声。

[0157] EKF 用于非线性系统。非线性系统模型在每个时间步骤围绕当前状态被线性化, 并提供转移矩阵 F_k 。然后, 获得的转移矩阵 F_k 用于完成标准 EKF 递归的步骤。这些递归由两个更新步骤(预测步骤和测量值更新步骤)来描述。在预测步骤中, 系统输入用于预测系统的未来状态($\hat{X}_{k|k-1}$), 如下面的等式 14 和 15 所示:

$$[0158] \quad \hat{X}_{k|k-1} = f(\hat{X}_{k-1|k-1}, u_k) \quad (14)$$

$$[0159] \quad P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \quad (15)$$

[0160] 其中, $P_{k|k-1}$ 是估计的误差协方差, Q_k 是过程噪声协方差, 其等于 $E[\omega_k^2]$ 。 F_k 是雅可比行列式, 由下面示出的等式 16 提供:

$$[0161] \quad F_k = \frac{\partial f}{\partial x} |_{\hat{x}_{k-1|k-1}} \quad (16)$$

[0162] 测量值更新步骤由下面示出的等式 17 至 19 提供:

$$[0163] \quad K_k = P_{k|k-1} C^T (C P_{k|k-1} C^T + R_k)^{-1} \quad (17)$$

$$[0164] \quad \hat{X}_{k|k} = \hat{X}_{k|k-1} + K_k (Y_k - C \hat{X}_{k|k-1}) \quad (18)$$

$$[0165] \quad P_{k|k} = (I - K_k C) P_{k|k-1} \quad (19)$$

[0166] 其中, K_k 是 EKF 增益, R_k 是测量值噪声协方差, 其等于 $E[e_k^2]$ 。

[0167] 一般来说, 对于 EKF 系统, 过程噪声协方差 (Q) 和测量值噪声协方差 (R) 不是已知的先验值或者与经验无关。然而, 状况良好的信号 (例如, K_k 和 $P_{k|k}$) 将收敛到与 Q 和 R 相关的值。因此, K_k 的收敛值可从预定数据获得, 且该收敛值将直接用于实时估计。

[0168] 在一个或多个实施例中, 车辆系统在其估计运动学道路坡度时包括垂向位移。垂向位移 (Z) 可由图 1 的导航系统基于 GPS 信息来提供。在球形惯性系中起主导作用的车辆垂向运动学方程根据如下所示的等式 20 计算:

$$[0169] \quad \dot{Z} = V_x \sin \alpha_r \quad (20)$$

[0170] 等式 (11) 的 EKF 系统模型被修改以包括垂向位移 $Z(k)$, 如下面的等式 21 所示:

[0171]

$$\begin{bmatrix} V_x(k) \\ Z(k) \\ a_x^g(k) \\ a_x^\theta(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_x(k-1) - a_x^g(k-1)T_s - a_x^\theta(k-1)\tau_s \\ Z(k-1) + V_x(k-1)\frac{1}{g}a_x^g(k-1) \\ a_x^g(k-1) \\ a_x^\theta(k-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} (a_x^s(k) + a_x^{cmp}(k))\tau_s + \begin{bmatrix} \omega_v(k) \\ \omega_z(k) \\ \omega_{\alpha}(k) \\ \omega_\theta(k) \end{bmatrix}$$

$$[0172] \quad X_k = [V_x(k) \quad Z(k) \quad a_x^g(k) \quad a_x^\theta(k)]^T$$

$$[0173] \quad u_k = (a_x^s(k) + a_x^{cmp}(k))T_s$$

[0174]

$$Y_k = C X_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} X_k = [V_k(k) \quad Z(k)]^T \quad (21)$$

[0175] 其中, a_x^{cmp} 表示基于 GPS 的加速度偏移量, a_x^{cmp} 等于 $(I_e \dot{r} + r * V_y)$ 。在使用 GPS 信息的实施例中, 提供 a_x^{cmp} 作为前馈输入补偿。等式 21 与等式 11 的不同之处在于: 等式 21 包括两种扩展状态: $a_x^g(k)$ 和 $a_x^\theta(k)$, 其中, $a_x^\theta(k)$ 是由于车辆俯仰角导致的加速度。

[0176] 参照图 12, 示出了根据一个或多个实施例的用于估计运动学道路坡度的方法, 该方法总体上由标号 1210 指示。根据一个或多个实施例, 使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。在其他实施例中, 在其他车辆控制器中实现方法 1210, 或者方法 1210 分布在多个车辆控制器中。

[0177] 在操作 1212 处, 车辆系统初始化估计器参数值。估计器参数值包括 X_k 、 u_k 和 Y_k 。通过将估计器参数值设置为等于默认值而初始化估计器参数值。在操作 1214 处, 车辆系统确定运动学估计状态 ($STATUS_{kin}$) 是否是开启。估计状态因子被限定为布尔变量 (“真”/“假”),

其中,“真”指示状态是开启,“假”指示状态是未开启。状态值“真”指示估计方法主动监测车辆动态状态(例如, V_x 、 a_x^s 、 a_y^s 、 a_z^s 和 r),道路坡度信息及其估计通道在更新。如果在操作 1214 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 1216。

[0178] 在操作 1216 处,车辆系统评价当前车速(V_x),以确定 V_x 是否等于或大于阈值车辆入口速度($vspd_entry$)。在一个实施例中,阈值车辆入口速度约为 7kph (4.3mph)。如果在操作 1216 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 1218。在操作 1218 处,车辆系统评价 V_x ,以确定 V_x 是否小于阈值车辆出口速度($vspd_exit$)。在一个实施例中,阈值车辆出口速度约为 3kph (1.9mph)。如果在操作 1218 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 1220。

[0179] 在操作 1220 处,车辆系统将运动学估计状态($STATUS_{kin}$)设置为暂停。通过将 $STATUS_{kin}$ 设置为暂停,车辆系统停止估计,并保留当前 RGE_{kin} 值,而非使该值复位到默认值。在操作 1222 处,车辆系统评价当前速度(V_x),以确定 V_x 是否小于阈值车辆静止速度($vspd_stand$)。阈值车辆静止速度对应于由表 A 的第 6 列指示的极低的车辆速度。在一个实施例中,阈值车辆静止速度约为 1kph (0.6mph)。如果在操作 1222 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 1224,将运动学估计状态($STATUS_{kin}$)设置为关闭(“假”)。如果在操作 1216 处确定是肯定的,或者在操作 1218 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 1226。

[0180] 操作 1226 至 1236 涉及扩展卡尔曼滤波器操作,该操作在上面参照等式 11 至 21 描述过。首先,在操作 1226 处,车辆系统计算补偿的估计器输入(u_k)。在操作 1228 处,车辆系统获得新的系统输出(Y_k)。在操作 1230 处,车辆系统基于输出预测误差更新 EKF 状态(X_k),如在上参照等式 14 至 16 描述的。在操作 1232 处,车辆系统更新 EKF 参数值(X_k 、 u_k 和 Y_k)。在操作 1234 处,车辆系统预测下一个系统动态输出 Y_k 。然后,在操作 1236 处,车辆系统提供运动学道路坡度估计。

[0181] 如果在操作 1214 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 1238。在操作 1238 处,车辆系统评价当前车辆速度(V_x),以确定 V_x 是否等于或大于阈值车辆入口速度($vspd_entry$),这类似于在操作 1216 处的确定。在一个实施例中,阈值车辆入口速度约为 7kph (4.3mph)。如果在操作 1238 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 1240,将运动学估计状态($STATUS_{kin}$)设置为开启(“真”)。在操作 1240 之后,车辆系统进行到操作 1226,以开始 EKF 操作。

[0182] 在操作 1224 或 1236 之后,以及在操作 1222 或 1238 处确定是否定之后,车辆系统进行到操作 1242。在操作 1242 之后,车辆系统返回到操作 1214,以进行另一次迭代。

[0183] 图 13A 至图 13D 是示出当车辆在斜面上停止时用于估计运动学道路坡度的方法 1210 的效果的图形。图 13A 至图 13D 包括在共同的时间段内获得的测量数据的 4 个图形,这 4 个图形总体上由标号 1310 指示。图 13A 示出了根据一个实施例的在主缸内测量的制动压力(P_{brk})。在其他实施例中,在制动管路内或者在车轮组件处测量 P_{brk} 。图 13B 示出了车辆速度(V_x)和测量的纵向加速度值(a_x^s)。图 13C 示出了档位选择(PRNDL),其中,值 3 对应于驱动(D)档位选择。图 13C 还示出了制动踏板的状态(S_{bp}),其中,正值指示施加制动,零值指示释放制动。图 13D 示出了静态道路坡度估计(RGE_{st})和运动学道路坡度估计(RGE_{kin})。

[0184] 在时间 t_1 ,车辆在加速,如由 V_x 的上升斜坡指示的。在时间 t_2 ,车辆开始减速,如由 V_x 的下降斜坡指示的。在时间 t_3 ,车辆停止。在时间 t_4 ,车辆再次开始加速,在时间 t_5 ,

车辆再次开始减速。运动学道路坡度估计 (RGE_{kin}) 相对快速地收敛, 如由标号 1312 和 1314 指示的。

[0185] 如参照操作 1222 和 1224 描述的, 如果车辆速度减小到车辆静止阈值速度 (例如, 1kph) 之下, 则运动学估计状态 ($STATUS_{kin}$) 被设置为关闭。这样的条件由 RGE_{kin} 示出且由标号 1320 指示。在 t_3 之后, 估计状态被设置为关闭, 如在 1320 处在 RGE_{kin} 上不存在任何可察觉的噪声所描述的。另外, 一旦车辆停止, 则静态道路坡度估计的状态 ($STATUS_{st}$) 和 RGE_{st} 的状态收敛, 如由标号 1322 指示的。如在 1320 处所示, 即使运动学状态关闭, RGE_{kin} 仍然在精确的道路坡度估计处锁定, RGE_{st} 和 RGE_{kin} 均提供大致相等的坡度估计 (17.56%)。

[0186] 使用运动学方法估计道路坡度的现有的方法使用导数滤波策略。例如, 一些现有的方法基于下面的车辆纵向运动学方程来估计道路坡度:

$$[0187] \quad \dot{u} = a_x + rv - g \sin \theta \quad (22)$$

[0188] 其中, $\dot{u}$ 是车辆纵向速度的导数, a_x 是车辆纵向加速度, r 是横摆角, v 是车辆横向速度。然而, 由于导数计算 $\dot{u}$ 导致这样的方法放大了信号上的任何噪声。

[0189] 这样, 通过使用 EKF 估计运动学道路坡度, 提供积分式滤波策略, 使车辆系统优于现有的方法。这样的积分策略不会放大信号上的噪声, 因此, 这样的积分策略提供改进的估计精度同时相对快速地收敛。

[0190] 车辆系统使用对应于加速度偏移量 (a_x^{off}) 的前馈输入补偿来估计运动学道路坡度。根据如下所示的等式 23 计算加速度偏移量:

$$[0191] \quad a_x^{off} = l_c \dot{r} + rV_y - g \sin \theta \quad (23)$$

[0192] 其中, l_c 是横向偏移量, r 是横摆角, V_y 是横向速度, θ 是车辆俯仰角。在一个或多个实施例中, 车辆系统不接收这些值 (l_c 、 V_y 和 θ) 作为输入。相反, 车辆系统使用多种补偿策略从其他输入估计这些值。在一个或多个实施例中, 车辆系统使用科里奥利效应 (Coriolis Effect) 补偿策略估计等式 23 的横向速度 (V_y) 项, 使用传感器横向位置偏移效应补偿策略估计横向偏移量 (l_c) 项, 以及使用车身相对俯仰效应补偿策略估计车辆俯仰角 (θ)。

[0193] 车辆系统使用科里奥利效应补偿策略估计等式 23 的 rV_y 项, 该 rV_y 项涉及车辆的转弯机动。图 1 的惯性传感器 52 提供横摆角, 然而, 通过车辆系统估计横向速度 (V_y)。提供两种补偿方法来估计横向速度 (V_y): 第一种方法是基于估计的方法; 第二种方法是基于导数的方法。分别基于横向动力等式 8 和车辆侧偏刚度参数提供这两种方法。此外, 在连续变化的车辆驱动状况下对这两种方法进行积分, 以提供估计的横向速度 (V_y)。

[0194] 用于估计横向速度 (V_y) 的第一种方法 (基于估计的方法) 通过将小角度逼近应用于等式 8 而获得, 且第一种方法基于测量的横向加速度 (a_y^s)。根据如下所示的等式 24 计算横向速度 (V_y):

$$[0195] \quad \dot{V}_y = a_y^s - l_a \dot{r} - r * V_x + g \phi_v + g \phi_r \quad (24)$$

[0196] 道路坡度角 (ϕ_r) 未知。因此, 道路坡度角被处理为扰动且从计算中去除。车身侧

倾角 ϕ_v 可由测量的横向加速度进行近似,如等式 25 所示:

$$[0197] \quad \phi_v \approx K_\phi (a_y^s - l_d \dot{r}) \quad (25)$$

[0198] 其中, K_ϕ 表示车身侧倾刚度。

[0199] 等式 24 可简化为如下面的等式 26 所示那样:

[0200]

$$\dot{V}_y = (1 + K_\phi g)(a_y^s - l_d \dot{r}) - r * V_x = K_{ay}(a_y^s - l_d \dot{r}) - r * V_x \quad (26)$$

[0201] 通过对等式 26 的两侧进行积分,获得用于计算估计的横向速度 ($\hat{V}_y(k)$) 的等式,如等式 27 所示:

[0202]

$$\hat{V}_y(k) = \hat{V}_y(k-1) + [K_{ay}(a_y^s - l_d \dot{r}) - r * V_x] * \tau_s \quad (27)$$

[0203] 测量的横向加速度 (a_y^s) 通常受到加速度扰动和坡度角的影响。因此,由于偏向低频的加速度分量,使得在等式 24 至 27 中描述的 V_y 估计方法适合于短时间间隔的车辆动态机动,其中,存在幅度大的横向加速度 (a_y^s) 和横摆角 (r)。

[0204] 与第一方法不同,用于估计横向速度 (V_y) 的第二方法(基于导数的方法)不依赖于积分。从车辆横摆角 (r) 到车辆侧滑角 (β) 的稳定状态增益 ($G_{r2\beta}$) 可从线性车辆模型获得,如等式 28 所示:

$$[0205] \quad G_{r2\beta} = \frac{l_r}{V_x} - \frac{M_r}{C_{ar}} V_x \quad (28)$$

[0206] 其中, M_r 是分配到后轴的车辆质量, C_{ar} 是集总的后轴侧偏刚度。

[0207] 由于横向速度 (V_y) 大致等于纵向速度 (V_x) 与车辆侧滑角 (β) 的乘积,所以可获得用于计算横向速度的等式,如下所示:

$$[0208] \quad V_y = V_x G_{r2\beta} r = (l_r - k_U V_x^2) * r = K_r(V_x) * r \quad (29)$$

[0209] 其中, k_U 是侧偏刚度,等于 M_r 除以 C_{ar} 。

[0210] 因此,横向速度可通过如下所示的等式 30 估计:

$$[0211] \quad \hat{V}_y = r * (l_r - k_U V_x^2) = K_r(V_x) * r \quad (30)$$

[0212] 下面提供科里奥利效应补偿方程:

$$[0213] \quad r * \hat{V}_y = r^2 * \left(l_r - \frac{M_r}{C_{ar}} V_x^2 \right) = r^2 * (l_r - k_U V_x^2) \quad (31)$$

[0214] 参照等式 28 至 31 描述的第二方法适合于侧滑角 (β) 小的稳定状态车辆转弯机动。

[0215] 车辆系统实现综合的 RGE_{kin} 架构,该架构包含(基于估计的)第一方法和(基于导数的)第二方法。然后,车辆系统基于由横摆角 (r) 体现的车辆动态状况而选择这两种方法中

的哪一种方法来应用。通常的设计构思是：在主要是向前驱动时以及在稳定状态转动情况下使用来自等式 30 的基于导数的 V_y ，但是在存在大的车辆横向动力（速度和加速度）时切换到来自等式 27 的基于估计的 V_y 。由于不期望执行估计方法持续长的时间段，所以在车辆连续机动操作期间，每当可观察到稳定状态状况时，估计的 V_y 必须复位到起源状态。估计的 V_y 还可以预定的上限和下限为边界。通过低通滤波器提供输出 V_y 。

[0216] 参照图 14，示出了根据一个或多个实施例的用于确定车辆驱动状况的方法，该方法总体上由标号 1410 指示。根据一个或多个实施例，使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。在其他实施例中，在其他车辆控制器中实现方法 1410，或者方法 1410 分布在多个车辆控制器中。

[0217] 方法 1410 包括评价对应于当前车辆驱动状况的横向动力指数 (ILD)。ILD 限定为：

$$[0218] \quad ILD = |r| + a * |\dot{r}| \quad (32)$$

[0219] 其中，变量 (a) 是换算参数。车辆系统将 ILD 与两个阈值参数进行比较，这两个阈值参数是：对应于导数方法的稳定状态阈值 (SST)；对应于估计方法的动态处理阈值 (DHT)，其中， $SST < DHT$ 。还与两个计时器一起进行确定，这两个计时器是对车辆在每种状况下停留的持续时间进行计数的稳定状态计时器 (T_{ss}) 和动态驱动计时器 (T_{dd})。函数 $LPF(x)$ 指示普通低通滤波器函数。滑动平均滤波器是低通滤波器的示例，其可用于平滑不连续的输出过渡效应。

[0220] 在操作 1412 中，车辆系统确定车辆是否处于稳定状态驱动状况。车辆系统接收与驱动状况相关的标志 (SSD_Flag)。SSD_Flag 等于 1 指示当前是稳定状态驱动状况，SSD_Flag 等于 2 指示当前是动态处理状况。因此，在操作 1412 处，系统评价 SSD_Flag，以确定是否是 SSD_Flag=2。如果在操作 1412 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 1414。

[0221] 在操作 1414 处，车辆系统评价横向动力指数 (ILD)，以确定 ILD 是否小于稳定状态阈值 (SST)。SST 对应于在上面参照等式 28 至 31 描述的用于确定横向速度 (V_y) 的导数方法。如果在操作 1414 处确定是否定的，则车辆系统进行到操作 1416，并通过将稳定状态计时器 (T_{ss}) 设置为等于 0 而使 T_{ss} 复位。如果在操作 1414 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 1418。

[0222] 在操作 1418 处，车辆系统通过使稳定状态计时器 (T_{ss}) 加上一个执行循环时间 (t_s) 而使稳定状态计时器 (T_{ss}) 增加。在操作 1420 处，系统评价稳定状态计时器 (T_{ss})，以确定 T_{ss} 是否等于或大于稳定时间阈值 (t_{ss_settle})。如果在操作 1420 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 1422，使动态驱动计时器 (T_{dd}) 复位。然后，在操作 1424 处，车辆系统通过将 SSD_Flag 设置为等于 1 而将车辆驱动状况设置为稳定状态。

[0223] 如果在操作 1412 处确定是否定的（未在稳定状态情况下驱动车辆），则车辆系统进行到操作 1426。在操作 1426 处，车辆系统评价横向动力指数 (ILD)，以确定 ILD 是否大于动态处理阈值 (DHT)。DHT 对应于在上面参照等式 24 至 27 描述的用于确定横向速度 (V_y) 的估计方法。如果在操作 1426 处确定是否定的，则车辆系统进行到操作 1428，通过将动态驱动计时器 (T_{dd}) 设置为等于 0 而使 T_{dd} 复位。如果在操作 1426 处确定是肯定的，则车辆系统进行到操作 1430。

[0224] 在操作 1430 处,车辆系统通过使动态驱动计时器(T_{dd})加上一个执行循环时间(t_s)而使动态驱动计时器(T_{dd})增加。在操作 1432 处,车辆系统评价动态驱动计时器(T_{dd}),以确定 T_{dd} 是否等于或大于激发时间阈值(tdd_excite)。如果在操作 1432 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 1434,使稳定状态计时器(T_{ss})复位。然后,在操作 1436 处,车辆系统通过将 SSD_Flag 设置为等于 2 而将车辆驱动状况设置为动态驱动。在操作 1416、1424、1428 或 1436 之后,以及在操作 1420 或 1432 处确定是否定之后,车辆系统进行到操作 1438,然后返回到操作 1412,以进行另一次迭代。

[0225] 参照图 15,示出了根据一个或多个实施例的用于基于当前车辆驱动状况来估计车辆横向速度(V_y)的方法,该方法总体上由标号 1510 指示。根据一个或多个实施例,使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。在其他实施例中,在其他车辆控制器中实现方法 1510,或者方法 1510 分布在多个车辆控制器中。方法 1510 通过选择用于估计横向速度(V_y)的方法,来仲裁上面参照等式 24 至 31 描述的两种方法中的一种(基于积分估计的方法或基于导数估计的方法)。

[0226] 在操作 1512 中,车辆系统确定车辆是否处于动态驱动状况。车辆系统评价 SSD_Flag 以确定是否是 SSD_Flag=2。如果在操作 1512 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 1514,使用在等式 27 中提供的积分估计来估计横向速度($\hat{V}_y$)。在操作 1514 之后,车辆系统进行到操作 1516。在操作 1516 处,车辆系统使用低通滤波器(LPF)对估计的横向速度($\hat{V}_y$)进行滤波,并更新横向速度输出(V_y)。如果在操作 1512 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 1518。在操作 1518 处,车辆系统使用在等式 30 中提供的导数估计来估计横向速度($\hat{V}_y$)。在操作 1518 之后,车辆系统进行到操作 1516,使用低通滤波器(LPF)对估计的横向速度($\hat{V}_y$)进行滤波,并基于导数估计来更新横向速度输出(V_y)。在操作 1516 之后,车辆系统进行到操作 1520,提供更新了的横向速度输出(V_y),然后返回到操作 1512。

[0227] 在一个或多个实施例中,车辆系统使用传感器横向位置偏移效应补偿策略来估计横向偏移量(l_c)项。横向偏移量(l_c)由下面的等式限定:

$$[0228] \quad l_c = l_c^{st} + h^t \phi_v \quad (33)$$

[0229] 其中, l_c^{st} 是静态传感器安装偏移量。变量 $h^t \phi_v$ 是车身动态侧倾分量,其中, h^t 是从簧上质量 C.G. 到侧倾中心的距离。车辆侧倾角 ϕ_v 可从侧倾动态模型获得或者(在具有悬挂挠度传感器的实施例中)从悬挂的挠度获得。在一个或多个实施例中,从处于稳定状态的横摆角(r)获得处于稳定状态的 ϕ_v ,如下所示:

$$[0230] \quad \phi_v = G_{r2\phi} r \quad (34)$$

[0231] 将等式 33 和 34 合并,并使每侧乘以横摆角的导数($\dot{r}$),提供下面的等式:

$$[0232] \quad l_c \dot{r} = l_c^{st} \dot{r} + h^t G_{r2\phi} * r * \dot{r} \quad (35)$$

[0233] 在动态驱动状况下,根据如下所示的等式 36 从横向加速器(a_y^s)近似车身侧倾角(ϕ_v)。

$$[0234] \quad \phi_v = G_{ay2\phi}(a_y^s - l_d \dot{r}) \quad (36)$$

[0235] 将等式 35 和 36 合并,提供下面的等式:

$$[0236] \quad l_c \dot{r} = (l_c^{st} - h^t G_{ay2\phi} l_d) \dot{r} + h^t G_{ay2\phi} a_y^s \quad (37)$$

[0237] 其中, $G_{ay2\phi}$ 等于 K_{phi} 。

[0238] 参照图 16,示出了根据一个或多个实施例的用于基于当前车辆驱动状况来估计车身侧倾角(ϕ_v)的方法,该方法总体上由标号 1610 指示。根据一个或多个实施例,使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。在其他实施例中,在其他车辆控制器中实现方法 1610,或者方法 1610 分布在多个车辆控制器中。方法 1610 通过选择用于估计车身侧倾角(ϕ_v)的方法,来仲裁上面参照等式 33 至 37 描述的两种方法中的一种(使用横向加速度或横摆角)。

[0239] 在操作 1612 中,车辆系统确定车辆是否处于动态驱动状况。车辆系统评价 SSD_Flag,以确定是否是 SSD_Flag=2。如果在操作 1612 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 1614,基于如等式 36 所示的横向加速度来估计车身侧倾角($\hat{\phi}_v$)。在操作 1614 之后,车辆系统进行到操作 1616。在操作 1616 处,车辆系统使用低通滤波器(LPF)对估计的车身侧倾角($\hat{\phi}_v$)进行滤波,并更新车身侧倾角输出(ϕ_v)。如果在操作 1612 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 1618。在操作 1618 处,车辆系统基于在等式 34 中提供的横摆角来估计车身侧倾角($\hat{\phi}_v$)。在操作 1618 之后,车辆系统进行到操作 1616,使用低通滤波器(LPF)对估计的车身侧倾角($\hat{\phi}_v$)进行滤波,并更新车身侧倾角输出(ϕ_v)。在操作 1616 之后,车辆系统进行到操作 1620,提供更新了的的车身侧倾角输出(ϕ_v),然后返回到操作 1612。

[0240] 在一个或多个实施例中,车辆系统使用三种补偿策略中的一种来估计车身俯仰角(θ)。不同的策略对应于传感器的可用性和精度。例如,第一策略基于车辆纵向速度(V_x)和车辆纵向加速度(a_x^s)来估计俯仰角(θ)。第二策略基于 V_x 、 a_x^s 和垂向加速度 a_z^s 来估计俯仰角(θ)。第三策略基于 V_x 、 a_x^s 、 a_z^s 以及由于由扩展卡尔曼滤波器提供的重力分量 a_x^g 而导致的估计加速度来估计俯仰角(θ)。一般来说,使用的输入信号越多以及源信息越精确,在消除 a_x^g 估计的耦合效应时补偿策略越好,以及总体道路坡度估计越好。

[0241] 用于估计车身俯仰角(θ)的第一补偿策略被称为动态俯仰补偿。对于该策略,车辆系统基于车辆纵向速度(V_x)和车辆纵向加速度(a_x^s)估计俯仰角(θ)。 θ 的低频分量可由一阶或二阶线性动态系统进行近似。造成车辆动态俯仰的推力通常根据下面的等式由作用在车身上的纵向力导致:

$$[0242] \quad \theta \propto K_p a_x^r = \frac{M_s(K_f + K_r)h_{cg}}{K_f K_r L^2} a_x^r \quad (38)$$

[0243] 其中, θ 与 $K_p a_x^r$ 成比例, M_s 是车辆簧上质量, 其等于车辆质量和悬挂上的有效负荷, h_{cg} 是沿着竖直方向车辆 CG 在地面之上的高度。 K_f 和 K_r 分别是在前轴和后轴上的预定悬挂刚度。 a_x^r 是等效反作用加速度, 且 a_x^r 等于 $a_x^s + g \sin \alpha_r$ 。输入到动态俯仰模型的初始推力基于 a_x^r , 如下所示:

$$[0244] \quad \theta_{raw} = K_p (\dot{V}_x + a_x^g) \quad (39)$$

[0245] 一阶动态相对俯仰由如下所示的等式 40 提供:

$$[0246] \quad \theta + \frac{D_{pitch}}{K_{pitch}} \dot{\theta} = \theta_{raw} \quad (40)$$

[0247] 其传递函数为:

$$[0248] \quad T(S) = \frac{K_{pitch}}{K_{pitch} + D_{pitch} S} \quad (41)$$

[0249] 其中, D_{pitch} 表示悬挂的普通阻尼效应, K_{pitch} 表示从纵向力到俯仰推力的悬挂刚度。

[0250] 图 17 描述了用于使用相平面增益安排规则选择 D_{pitch} 和 K_{pitch} 的图, 该图总体上由标号 1710 指示。图 1710 示出了 8 个区域, 这 8 个区域以笛卡尔坐标系的原点为中心。x 轴对应于 $\dot{V}_x + a_x^g$, y 轴对应于俯仰角 (θ)。如所示出的, 俯仰角 θ 以 θ_{max} 和 θ_{min} 为边界。一般来说, 在普通区域中存在线性关系, 然而在更刚性的区域中存在非线性关系。在向前俯仰和向后俯仰之间, 值稍微不同。

[0251] 车辆系统基于 V_x 、 a_x^s 和垂向加速度 (a_z^s) 使用第二补偿策略估计俯仰角 (θ)。根据一个或多个实施例, 图 1 的惯性传感器 52 提供垂向加速度 (a_z^s)。

[0252] 为了方便起见, 变量 (Ψ) 可如下所示那样限定:

$$[0253] \quad \Psi = a_z^s + lcr - (\dot{V}_x - r * V_y) \quad (42)$$

[0254] 可通过将等式 7、9 和 42 合并并替入 ($\alpha_r + \theta$) 而获得下面的等式:

[0255]

$$a_z^s - g = \dot{V}_x \theta - \frac{1}{2g} \left[\Psi^2 + 2\Psi (\dot{V}_x - r * V_y) \frac{\theta^2}{2} + (\dot{V}_x - r * V_y)^2 \frac{\theta^4}{4} \right] \quad (43)$$

[0256] 可通过忽略含 θ^4 的更高阶次的项而简化等式 43, 如下所示:

[0257]

$$\Psi (\dot{V}_x - r * V_y) \theta^2 - 2g \dot{V}_x \theta + \Psi^2 + 2g (a_z^s - g) = 0 \quad (44)$$

[0258] 通过求解等式 44 的方根而获得用于根据第二策略计算相对俯仰角 (θ) 的等式, 如等式 45 所示:

$$[0259] \quad \theta = \frac{g\dot{V}_x - \sqrt{g\dot{V}_x^2 - \Psi(\dot{V}_x - r*V_y)[\Psi^2 + 2g(a_z^s - g)]}}{\Psi(\dot{V}_x - r*V_y)} \quad (45)$$

[0260] 车辆系统基于 V_x 、 a_x^s 以及由扩展卡尔曼滤波器提供的重力分量 a_x^g 使用第三补偿策略估计俯仰角 (θ)。下面提供近似等式：

$$[0261] \quad \sin \theta \approx \frac{a_z^s - g \cos \alpha_r}{a_x^s} = \frac{a_z^s - \sqrt{g^2 - (a_x^g)^2}}{a_x^s} \quad (46)$$

[0262] 可基于下面的等式通过回归来迭代地识别俯仰角 (θ) 与估计的道路坡度 (α_r)：

$$[0263] \quad \begin{cases} \bar{a}_x^{off}(k+1) = l_c \dot{r} + r * V_y - g \frac{a_z^s - \sqrt{g^2 - (\hat{a}_x^g(k))^2}}{a_x^s} \\ \hat{a}_x^g(k+1) = \bar{a}_x^{off}(k+1) - \bar{a}_x^{off}(k) + \hat{a}_x^g(k) \end{cases} \quad (47)$$

[0264] 其中, $\hat{a}_x^g(k=0) = a_x^g(t)$, 来自卡尔曼滤波器的输出的基于 $a_x^{off}(t)$ 的初始补偿值。该值可等于零(0)、任何其他容许值或者来自先前循环的回归结果。 $\bar{a}_x^{off}(k=0) = a_x^{off}(t)$ 。

[0265] 用于根据第三补偿策略估计道路坡度 ($\hat{\alpha}_r$) 和相对俯仰角 ($\hat{\theta}$) 的等式由如下所示的等式 48 和 49 提供：

$$[0266] \quad \hat{\alpha}_r = \arcsin\left(\frac{\hat{a}_x^g(\infty)}{g}\right) \quad (48)$$

$$[0267] \quad \hat{\theta} = \arcsin\left(\frac{l_c \dot{r} + r * V_y - \bar{a}_x^{off}(\infty)}{g}\right) \quad (49)$$

[0268] 其中, $\hat{\alpha}_x^g(\infty)$ 和 $\bar{a}_x^{off}(\infty)$ 指示 $\hat{\alpha}_x^g(k)$ 和 $\bar{a}_x^{off}(k)$ 随着 $k \rightarrow \infty$ 通过回归过程收敛的值。通常在 5 至 10 步迭代内发生收敛。

[0269] 这样, 通过使用输入补偿的加速度偏移量来估计运动学道路坡度, 以提高精度从而消除由车辆横向动力导致的偏移量和不确定性及其耦合效应, 使车辆系统优于现有的方法。

[0270] 车辆系统基于对应于估计的车辆质量、车辆速度、车轮扭矩(制动扭矩和动力传动系输出扭矩)以及作用在车辆上的其他拖曳力(例如, 气动阻力、滚动阻力和道路坡度负荷)的输入, 估计动态道路坡度 (RGE_{dyn})。一般来说, 与静态 RGE 和运动学 RGE 相比, 动态 RGE 的品质状况更低, 其原因是动态 RGE 在进行估计时涉及更多的信号, 且每个信号中的噪声和误差将传送到最终 RGE 输出中。然而, 动态 RGE 不依赖纵向加速度信号 (a_x^s), 因此, 动态 RGE

的信号覆盖范围不同于静态估计和运动学估计的信号覆盖范围。虽然动态道路坡度估计是次要的,但是对于很多车辆系统来说,车辆质量估计部分是有用的参数。

[0271] 在特定车辆状况下,独立于道路坡度估计,车辆系统使用递归最小二乘(RLS)算法估计车辆质量。一般来说,当物体(例如,乘客)增加到车辆或者从车辆去除时,只有车辆质量发生改变。通常,仅在车辆停止时发生这样的改变。独立于道路坡度估计,在车辆使用车辆动态方程运动时,车辆系统估计车辆质量。相对于现有的方法,通过独立地或者并行地估计车辆质量和道路坡度,车辆系统提高每种估计的精度。车辆系统使用事件查找策略估计车辆质量,由此在特定输入的信噪比高的车辆状况下估计质量。然后,当查找事件发生时,车辆系统使用递归最小二乘(RLS)算法估计车辆质量。在车辆状况对应于质量可能改变时(例如,当车辆停止时),车辆系统重新初始化质量估计算法中的特定参数,以增加算法的灵敏度。

[0272] 车辆系统使用如下提供的基于牛顿第二定律($\Sigma F=ma$)的车架动态方程来估计车辆质量:

$$[0273] \quad M_e \dot{V}_x = F_{pwt} - F_{brk} - F_{drag} - F_g \quad (50)$$

[0274] 其中, M_e 是在不存在有效负荷(乘客或货物)时估计的车辆质量, $\dot{V}_x$ 是车辆速度的导数, F_{pwt} 是动力传动系的输出处的推进力, F_{brk} 是制动力, F_{drag} 是拖曳力, F_g 是由于重力导致的力。

[0275] 可重写等式 50 以求解 M_e , 等式 50 还可基于车辆是否处于正常状态而分成多个等式,如下所示:

[0276]

$$M_e = \begin{cases} M_v + \frac{J_w}{R_w^2} + \frac{r_p^2 \eta_p^2 J_p}{R_w^2} & \text{正常状态} \\ M_v + \frac{J_w}{R_w^2} & \text{不正常状态} \end{cases} \quad (51)$$

[0277] 其中, M_v 是估计的车辆质量,其包括在不存在有效负荷时的车辆质量(M_e)和车辆有效负荷。术语“处于正常状态”通常指的是动力传动系是否连接到车轮。 J_w 和 J_p 分别是车轮和动力传动系处的转动惯量。 R_w 是车轮半径。 r_p 是集总的动力传动系扭矩传递比, η_p 是集总的扭矩传递效率。 J_p 、 r_p 和 η_p 根据变速器的速比改变。对于具有多种推进装置(例如,电动机和发动机)的混合动力电动车辆来说,这些值还改变。

[0278] 根据如下所示的等式 52 计算取决于惯性的车辆质量(M_i):

[0279]

$$M_i = \begin{cases} \frac{J_w + r_p^2 \eta_p^2 J_p}{R_w^2} & \text{正常状态} \\ \frac{J_w}{R_w^2} & \text{不正常状态} \end{cases} \quad (52)$$

[0280] 可根据如下所示的等式 53 基于总的动力传动系推进扭矩(T_{pwt_whl})或总的再生制

动扭矩(T_{brk_whl}) 计算作用在车轮上的等效纵向轮胎力(F_{pwt}):

[0281]

$$F_{pwt} = \frac{T_{pwt_whl}}{R_w} = \frac{1}{R_w} (T_{eng_whl} + T_{mot_whl}) = \frac{r_{pe}\eta_{pe}}{R_w} T_{eng} + \frac{r_{pm}\eta_{pm}}{R_w} T_{mot} \quad (53)$$

[0282] 其中, T_{eng} 和 T_{mot} 是发动机输出扭矩和电动机输出扭矩, T_{eng_whl} 和 T_{mot_whl} 是在车轮处对应的发动机输出扭矩和电动机输出扭矩。 R_{pe} 、 r_{pm} 、 η_{pe} 和 η_{pm} 分别是集总的发动机扭矩传递比、集总的电动机扭矩传递比、集总的发动机的效率参数以及集总的电动机的效率参数。

[0283] 可根据如下所示的等式 54 基于总的摩擦制动扭矩计算作用在车轮上的等效纵向制动力(F_{brk}):

$$[0284] \quad F_{brk} = \frac{1}{R_w} K_{brk} P_{brk} \quad (54)$$

[0285] 其中, P_{brk} 是在车轮组件处在车轮制动腔室中有效制动管路压力。这是在所有车轮上评价的等效项,其原因是独立的车轮制动腔室可被施加有不同的制动管路压力。 K_{brk} 是摩擦制动效率因子,其确定在给定了特定制动压力的情况下在制动垫上可实现多大的摩擦制动扭矩。针对制动系统状况(例如,温度、湿度等), K_{brk} 的值改变。在一个实施例中, K_{brk} 对应于预定的常数。

[0286] 拖曳力(F_{drag}) 可根据如下所示的等式 55 计算:

$$[0287] \quad F_{drag} = \frac{1}{2} K \rho_a A_d C_d V_x^2 + M_v g f_r \cos \alpha_r \quad (55)$$

[0288] 其中, ρ_a 和 C_d 是恒定的气动参数, A_d 是车辆横截面积, f_r 是滚动阻力系数。

[0289] 由于重力而作用在车辆上的负荷(F_g) 可根据如下所示的等式 56 计算:

$$[0290] \quad F_g = M_v g \sin \alpha_r \quad (56)$$

[0291] 其中, α_r 是道路坡度。

[0292] 等式 56 可转换到扭矩域,如下面等式 57 所示:

$$[0293] \quad T_g = M_v g R_w \sin \alpha_r \quad (57)$$

[0294] 其中, R_w 是车轮半径。

[0295] 提供第一方法,用于基于下面的参数化模型使用运动学方程使用最小二乘类型的估计器来估计车辆质量同时估计道路坡度:

$$[0296] \quad y = \dot{V}_x = \frac{F_{pwt} - F_{brk} - F_{drag}}{M_e} - \frac{M_v}{M_e} g \sin \alpha_r$$

$$[0297] \quad = (F_{pwt} - F_{brk} - F_{drag}) \frac{1}{M_v + M_i} - g \frac{M_v \sin \alpha_r}{M_v + M_i}$$

$$[0298] \quad = \phi^T \gamma \quad (58)$$

[0299] 基于等式 58 的模型获得车辆质量(M_v) 和道路坡度(α_r) 的估计结果,如下所示:

$$[0300] \quad M_v = \frac{1}{\gamma_1} - M_i \quad (59)$$

$$[0301] \quad \alpha_r = \arcsin\left(\frac{\gamma_2}{1-\gamma_1 M_i}\right) \quad (60)$$

[0302] 然而,同时求解两个未知数(α_r 和 M_v)给估计带来额外的误差。

[0303] 用于使用运动学方程估计车辆质量的第二方法基于下面的数学模型使车辆质量估计与道路坡度估计分开:

[0304]

$$a_x + g \sin \alpha_r = \frac{1}{M_e} (F_{pwt} - F_{brk} - F_{drag}) + \frac{M_e - M_v}{M_e} g \sin \alpha_r \quad (61)$$

[0305] 等式可如下简化,如在上面参照等式 10 描述的且在下面再现的:

$$[0306] \quad \dot{V}_x = a_x = a_x^s + a_x^{off} - g \sin \alpha_r \quad (10)$$

[0307] 其中, a_x^{off} 表示加速度偏移量,并且等于 $(l_c \dot{r} + r * V_y - g \sin \theta)$ 。 l_c 是横向偏移量, r 是横摆角, V_y 是横向速度, θ 是车辆俯仰角。在一个或多个实施例,车辆系统不接收这些值(l_c 、 V_y 和 θ)作为输入。相反,车辆系统使用多种补偿策略从其他输入估计这些值。

[0308] 下面的等式通过将等式 61 和等式 10 合并而获得:

$$[0309] \quad a_x^s + a_x^{off} = \frac{1}{M_e} (F_{pwt} - F_{brk} - F_{drag}) + a_{\delta g} \quad (62)$$

[0310] 变量($a_{\delta g}$)表示从道路坡度变量引起的加速度扰动,可根据如下所示的等式 63 计算:

$$[0311] \quad a_{\delta g} = \frac{M_e - M_v}{M_e} g \sin \alpha_r \quad (63)$$

[0312] 其中, M_v 是车辆质量 M_e 和车辆有效负荷之和。

[0313] 加速度扰动($a_{\delta g}$)造成估计误差。当车辆有效负荷小时,可忽略 $a_{\delta g}$ 。还可在估计的车辆质量处于稳定状态且收敛之后回归补偿 $a_{\delta g}$ 。加速度偏移量(a_x^{off})可被确定和用作前馈输入补偿,如在上面参照图 14 至图 17 描述的。

[0314] 可重新整理等式 62,以求解 M_e 和 M_v ,如下所示:

$$[0315] \quad M_e = \frac{F_{pwt} - F_{brk} - F_{drag}}{a_x^s + a_x^{off} - a_{\delta g}} = \frac{\frac{T_{pwt_whl} - K_{brk} P_{brk}}{R_w} - F_{drag}}{a_x^s + a_x^{off} - a_{\delta g}} \quad (64)$$

$$[0316] \quad M_v = \frac{\frac{T_{pwt_whl} - K_{brk} P_{brk}}{R_w} - F_{drag}}{a_x^s + a_x^{off} - a_{\delta g}} - M_i \quad (65)$$

[0317] 补偿拖曳力(F_{drag})和道路坡度(α_r),以获得车辆质量估计。然而,由于信号噪声

导致难以精确地补偿这些项。与由车辆纵向动力表现出的变化相比,这些项表现出缓慢的动态变化。因此,在短时间段估计事件中,这些项可被处理为未知的常数。可获得基于差异的估计等式,如下所示:

$$[0318] \quad a_x^i(t)M_e = F_{whl}(t) - F_{drag}(t) + M_e a_{\delta g}(t) \quad (66)$$

[0319]

$$a_x^i(t + \Delta t)M_e = F_{whl}(t + \Delta t) - F_{drag}(t + \Delta t) + M_e a_{\delta g}(t + \Delta t) \quad (67)$$

[0320] 其中,在时间指数(i)处的纵向加速度(a_x^i)等于($a_x^s + a_x^{off}$),在车轮处的力(F_{whl})等于($T_{pwt_whl} - K_{brk}P_{brk}$)/ R_w 。变量(t)是在合格的估计事件内的时间实例。 Δt 是预定时间间隔参数。

[0321] 对于 $F_{drag}(t) \approx F_{drag}(t + \Delta t)$ 和 $a_{\delta g}(t) \approx a_{\delta g}(t + \Delta t)$,增量式车辆纵向动态模型可通过在等式 66 和 67 之间相减而获得,如下所示:

$$[0322] \quad M_v = \frac{\Delta F_{whl}}{\Delta a_x^i} \Big|_{\Delta t} - M_i = \frac{F_{whl}(t + \Delta t) - F_{whl}(t)}{a_x^i(t + \Delta t) - a_x^i(t)} - M_i \quad (68)$$

[0323] 其中, ΔF_{whl} 和 Δa_x^i 是在合格的估计事件内在时间间隔 Δt 中估计的 F_{whl} 的值之间的差以及 a_x^i 的值之间的差。

[0324] 使用这样的方法估计车辆质量(M_v),使车辆质量估计与噪声因子(例如,气动噪声,滚动阻力和道路坡度)隔开。随着 $\Delta t \rightarrow 0$,等式 68 可根据如下所示的等式 69 简化成导数形式:

$$[0325] \quad M_v = \frac{\dot{F}_{whl}}{\dot{a}_x^i} - M_i = \frac{1}{R_w} \frac{(T_{pwt_whl} - K_{brk}P_{brk})'}{(a_x^s + a_x^{off})'} - M_i \quad (69)$$

[0326] 参照图 18,示出了根据一个或多个实施例的示意性框图,该框图示出了用于车辆质量估计的方法,该方法总体上由标号 1810 指示。根据一个或多个实施例,方法 1810 包括在图 4 的动态道路坡度估计(RGE_{dyn})框 426 内。在框 1812 处,车辆系统接收输入,所述输入包括加速度(a_x^s)、横摆角(r)、车辆速度(V_x)、制动压力(P_{brk})、动力传动系扭矩(T_{pwt})和制动扭矩(T_{brk})。可从参照图 1 描述的传感器直接接收输入,或者可在 CAN 总线上间接接收输入。

[0327] 在框 1814 处,车辆系统确定动态质量输入参数 Y_k 和 ϕ_k , Y_k 和 ϕ_k 分别表示系统输出和系统输入。输入参数基于计算的车辆速度(V_x)、纵向加速度(a_x^s)、动力传动系力(F_{pwt})、制动力(F_{brk})和加速度偏移量(a_x^{off})。基于 T_{pwt} 和 T_{brk} 计算 F_{pwt} 和 F_{brk} 。在框 1816 处,车辆系统估计动态质量(M_v)。在框 1818 处,车辆系统确定加速度偏移量 a_x^{off} 。提供加速度偏移量作为前馈 RGE 输入补偿。在框 1820 处,车辆系统估计道理坡度 α_r 。

[0328] 根据一个或多个实施例,在框 1816 处,车辆系统根据等式 65、68 或 69 使用递归最

小二乘 (RLS) 估计算法来估计动态车辆质量 (M_v)。RLS 估计算法基于下面的参数化估计模型：

$$[0329] \quad y = \phi * \theta \quad (70)$$

[0330] 递归最小二乘 (RLS) 估计算法如下所示那样演变：

$$[0331] \quad L(k) = \frac{P(k-1)\phi(k)}{1+\phi^2(k)P(k-1)} \quad (71)$$

$$[0332] \quad \hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + L(k)[y(k) - \phi(k) * \hat{\theta}(k)] \quad (72)$$

$$[0333] \quad P(k) = [1 - L(k) \phi(k)]P(k-1) \quad (73)$$

[0334] 其中, $\hat{\theta}(k)$ 是在第 k 次执行循环时估计的参数 θ 变形。RLS 估计器是滤波策略, 该策略使基于测量值和预测模型输出之间的误差而更新的估计数据平均化。当待估计的参数本质上恒定时, 可使用这样的估计策略。为了开始估计, 将 $P(0)$ 设置为等于 1。

[0335] RLS 等式 71 至 73 的参数根据使用哪一个车辆质量估计等式 (例如, 等式 65、68 或 69) 而改变。

[0336] 当基于车辆质量估计等式 65 计算 RLS 等式 (71 至 73) 时, 使用下面的参数：

$$[0337] \quad \theta = M_e$$

$$[0338] \quad \phi = a_x^s + a_x^{off}$$

$$[0339] \quad y = \frac{T_{pwt_whl} - K_{brk} P_{brk}}{R_w - F_{drag}} \quad (74)$$

[0340] 当基于以微分为基础的车辆质量估计等式 68 计算 RLS 等式 (71 至 73) 时, 使用下面的参数：

$$[0341] \quad \theta = M_e$$

$$[0342] \quad \phi = \Delta a_x^i \big|_{\Delta t}$$

$$[0343] \quad y = \Delta F_{whl} \big|_{\Delta t}$$

$$[0344] \quad \phi = \dot{a}_x^i = (a_x^s + a_x^{off})' \quad (75)$$

[0345] 可选地, 当基于以微分为基础的算法等式 69 计算 RLS 等式 (71 至 73) 时, 使用下面的参数：

$$[0346] \quad \phi = \dot{a}_x^i = (a_x^s + a_x^{off})'$$

$$[0347] \quad y = \dot{F}_{whl} = \frac{(T_{pwt_whl} - K_{brk} P_{brk})'}{R_w} \quad (76)$$

[0348] 在特定合格的车辆事件下, 车辆系统使用 RLS 来估计车辆质量。基于车辆动态变化主要在纵向上的状况而开发质量估计器。因此, 车辆系统查找这样的状况, 在该状况下, 车辆的纵向惯性效应显著影响相关的噪声因子, 或者信噪比高。在车辆制动 / 减速期间或

者在车辆加速期间,通常发生这些合格的事件。

[0349] 在一个或多个实施例中,当满足下面的条件中的每个条件时,车辆系统检测合格的车辆制动 / 减速事件:

[0350] 1、 $V_x \geq C_DynMassBrkEntry$;

[0351] 2、 $a_x^i \leq C_aRGEAxNeg$;

[0352] 3、 $|r| \leq C_small_yaw$;

[0353] 4、($F_{whl} < C_FBrk$ 且 $\dot{F}_{whl} < C_DFBrk$ 且 $\ddot{F}_{whl} < C_D2FBrk$) 或者 ($F_{whl} < C_FBrk2$ 且 $\dot{F}_{whl} < C_DFBrk2$)。

[0354] 在一个或多个实施例中,当满足下面的条件中的每个条件时,车辆系统检测合格的车辆加速事件:

[0355] 1、 $V_x \geq C_DynMassPropEntry$;

[0356] 2、 $a_x^i \geq C_aRGEAxPos$;

[0357] 3、 $|r| \leq C_small_yaw$;

[0358] 4、($F_{whl} > C_FProp$ 且 $\dot{F}_{whl} < C_DFPropUp$ 且 $\dot{F}_{whl} > C_DFPropDn$ 且 $\ddot{F}_{whl} < C_D2FPropUp$ 且 $\ddot{F}_{whl} < C_D2FPropDn$) 或者 ($F_{whl} > C_FProp2$ 且 $\dot{F}_{whl} > C_DFProp2$ 且 $\ddot{F}_{whl} > C_D2FProp2$)。

[0359] 在上面的条件中,以“C”开头的变量指示校准参数。校准参数是被设计为以特定估计事件为目标的预定值。这些条件给合格的起主导作用的车辆纵向运动提供可调的构造。参数越是精确地朝着动力学意义调节,越是可实现更高的估计精度。然而,这样的精确参数将减小可用的估计时间间隔,其原因是合格的事件将更不频繁地出现。因此,合格的估计事件取决于特定程度的激进驾驶。车辆加速或制动越是有利或快速,惯性效应越是在将引起车辆动态变化时起主导作用。在估计精度和事件发生之间权衡合格的估计参数的调节,其原因是在正常驾驶过程期间,激进驾驶行为更不常见。

[0360] 参照图 19,示出了根据一个或多个实施例的用于估计车辆质量的方法,该方法总体上由标号 1910 指示。根据一个或多个实施例,使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。在其他实施例中,在其他车辆控制器中实现方法 1910,或者方法 1910 分布在多个车辆控制器中。方法 1910 可应用于加速事件和制动 / 减速事件,且对应于在上面列举的事件条件。

[0361] 在操作 1912 中,车辆系统评价车辆速度(V_x),以确定 V_x 是否大于估计的入口速度阈值。操作 1912 对应于第一事件条件。对于制动事件,估计的入口速度阈值对应于校准的制动入口速度阈值($C_DynMassBrkEntry$),对于加速事件,估计的入口速度阈值对应于校准的推进入口速度阈值($C_DynMassPropEntry$)。如果在操作 1912 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 1914。

[0362] 在操作 1914 处,车辆系统基于选择的车辆质量估计算法更新估计模型输入(Φ)和输出(Y),如参照等式 74 至 76 描述的。在操作 1916 处,车辆系统计算估计条件信号($\dot{F}_{whl}$)

和 $\ddot{F}_{whl}$), 如参照等式 75 和 76 描述的。

[0363] 在操作 1918 处, 车辆系统评价纵向加速度 (a_x^i) 和横摆角 (r), 以确定在横摆角足够小时车辆动态变化是否主要在纵向上。操作 1918 对应于第二事件条件和第三事件条件。对于制动事件, 如果纵向加速度 (a_x^i) 小于或等于校准的负加速度阈值 ($C_aRGEAxNeg$), 则车辆动态变化主要在纵向上。对于加速事件, 如果纵向加速度 (a_x^i) 等于或大于校准的正加速度阈值 ($C_aRGEAxPos$), 则车辆动态变化主要在纵向上。对于制动事件和加速事件来说, 如果横摆角的幅度 ($|r|$) 小于或等于校准的小横摆角阈值 (C_small_yaw), 则横摆角 (r) 足够小。如果在操作 1918 处确定是肯定的, 则车辆系统进行到操作 1920。

[0364] 在操作 1920 处, 车辆系统评价车轮处的力 (F_{whl}) 以及车轮处的力的更高阶导数 ($\dot{F}_{whl}$ 和 $\ddot{F}_{whl}$), 以确定是否存在合格的估计事件。操作 1920 对应于第四事件条件。

[0365] 对于制动事件, 如果: 车轮处的力 (F_{whl}) 小于校准的制动力 (C_Fbrk); 车轮处的力的导数 ($\dot{F}_{whl}$) 小于校准的制动力的导数 (C_DFbrk); 车轮处的力的二阶导数 ($\ddot{F}_{whl}$) 小于校准的制动力的二阶导数 (C_D2Fbrk), 则满足第四制动条件。可选地, 如果: 车轮处的力 (F_{whl}) 小于第二校准的制动力 (C_Fbrk2); 车轮处的力的导数 ($\dot{F}_{whl}$) 小于第二校准的制动力的导数 (C_DFbrk2), 则也可满足第四制动条件。

[0366] 对于加速事件, 如果: 车轮处的力 (F_{whl}) 大于校准的推进力 (C_FProp); 车轮处的力的导数 ($\dot{F}_{whl}$) 小于校准的上坡推进力的导数 ($C_DFPropUp$); 车轮处的力的导数 ($\dot{F}_{whl}$) 大于校准的下坡推进力的导数 ($C_DFPropDn$); 车轮处的力的二阶导数 ($\ddot{F}_{whl}$) 小于校准的上坡推进力的二阶导数 ($C_D2FPropUp$); 车轮处的力的二阶导数 ($\ddot{F}_{whl}$) 小于校准的下坡推进力的二阶导数 ($C_D2FPropDn$), 则满足第四加速条件。可选地, 如果: 车轮处的力 (F_{whl}) 大于第二校准的推进力 (C_FProp2); 车轮处的力的导数 ($\dot{F}_{whl}$) 大于第二校准的推进力的导数 ($C_DFProp2$); 车轮处的力的二阶导数 ($\ddot{F}_{whl}$) 大于第二校准的推进力的二阶导数 ($C_D2FProp2$), 则也可满足第四加速条件。如果在操作 1920 处确定是肯定的, 则车辆系统进行到操作 1922。

[0367] 在操作 1922 处, 车辆系统执行 RLS 车辆质量估计算法 (例如, 使用等式 71 至 73)。在操作 1924 处, 车辆系统估计车辆质量 (例如, 使用等式 65、68 或 69)。在操作 1924 之后, 或者响应于在操作 1912、1918 或 1920 处确定是否定的, 则车辆系统进行到操作 1926, 然后返回到操作 1912。

[0368] 当车辆在运动时, 车辆质量不可能改变。在存在合格的估计事件时, 车辆系统继续监测车辆状态并执行估计更新。假设车辆质量恒定且估计噪声是高斯零均值, 则估计的车辆质量在整个估计实例上平均。然而, 当车辆在缓慢运动时, 以及当车辆停止持续特定的时间段时, 车辆质量可改变。在这样的车辆状况下, 车辆系统将 RLS 估计器的灵敏度调节到更灵敏的状态, 从而容易检测车辆质量的改变。

[0369] 参照图 20, 示出了根据一个或多个实施例的用于使车辆质量估计参数复位的方法, 该方法总体上由标号 2010 指示。根据一个或多个实施例, 使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。在其他实施例中, 在其他车辆控制器中实现方法 2010, 或者方法 2010 分布在多个车辆控制器中。在用于调节 RLS 估计器的灵敏度的特定车辆状况下, 方法 2010 使车辆质量估计参数复位。

[0370] 在操作 2012 处, 车辆系统评价车辆速度 (V_x), 以确定 V_x 是否小于车辆停止速度阈值。如果在操作 2012 处确定是肯定的, 则车辆系统进行到操作 2014, 使车辆停止 / 静止计时器 (Tmr_stand) 增加或向上计数一个循环时间, 停止 / 静止计时器将开始记录车辆停止持续时间。在操作 2016 处, 车辆系统通过将驾车离开计时器 (Tmr_drive) 设置为等于零而使 Tmr_drive 复位。

[0371] 在操作 2018 处, 车辆系统评价合格的估计事件的总计数 (Cntr_EstTot), 以确定 Cntr_EstTot 是否大于校准的估计的事件阈值 (C_QuaEstEvnt)。如果在操作 2018 处确定是肯定的, 则车辆系统进行到操作 2020, 通过将 RLS 估计存储器 (Vmass_memo) 设置为等于当前车辆质量估计 (Vmass_est) 而更新 Vmass_memo。根据一个或多个实施例, Vmass_est 对应于在图 19 的操作 1924 处估计的车辆质量 (Vmass_rls) 以及等式 65、68 和 69 处估计的车辆质量 (M_v)。在操作 2020 之后, 或者响应于在操作 2018 处确定是否定的, 车辆系统进行到操作 2022。

[0372] 在操作 2022 处, 车辆系统评价停止 / 静止计时器 (Tmr_stand), 以确定 Tmr_stand 是否大于校准的静止计时器 (C_StandstilTm)。如果在操作 2022 处确定是肯定的, 则车辆系统进行到操作 2024, 使 RLS 参数和质量估计边界复位到它们的原始值。例如, 车辆系统可将 RLS 估计参数 $P(k)$ (来自等式 73) 设置为其初始值 $P(0)$ 。在操作 2026 处, 车辆系统通过将总的合格估计实例计数器 (Enter_EstTot) 设置为等于零而使 Enter_EstTot 复位。如果在操作 2012 处确定是否定的, 则车辆系统进行到操作 2028。

[0373] 在操作 2028 处, 车辆系统评价车辆速度 (V_x), 以确定 V_x 是否大于驾车离开速度阈值。如果在操作 2028 处确定是肯定的, 则车辆系统进行到操作 2030, 使车辆驾车离开计时器 (Tmr_drive) 增加或向上计数一个循环时间, 驾车离开计时器将开始记录车辆运动持续时间。在操作 2032 处, 车辆系统评价驾车离开计时器 (Tmr_drive) 和停止 / 静止计时器 (Tmr_stand), 以确定 Tmr_drive 是否大于校准的驾车离开计时器 (C_StandstilTm) 以及 Tmr_stand 是否大于零。如果在操作 2032 处确定是肯定的, 则车辆系统进行到操作 2034。在操作 2034 处, 车辆系统通过将停止 / 静止计时器 (Tmr_stand) 设置为等于零而使 Tmr_stand 复位。在操作 2026 或 2034 之后, 或者响应于在操作 2022、2028 或 2032 处确定是否定的, 车辆系统进行到操作 2036, 然后返回到操作 2012。

[0374] 短暂的或瞬时的合格的估计事件不足以进行车辆质量估计。一般来说, 瞬时事件不满足与纵向惯性相关的第二条件。然而, 即使这样的瞬时事件满足第二条件, 车辆系统仍然从估计结果去除瞬时事件, 其原因是在估计的车辆质量开始收敛之前车辆系统将花费一定的时间进行估计。当已经观察到足够数量的估计实例时, 更新估计的车辆质量。

[0375] 参照图 21, 示出了根据一个或多个实施例的用于更新车辆质量估计参数的方法, 该方法总体上由标号 2110 指示。根据一个或多个实施例, 使用包含在 VSC 内的软件代码实现该方法。在其他实施例中, 在其他车辆控制器中实现方法 2110, 或者方法 2110 分布在多

个车辆控制器中。当合格的估计事件超过预定的时间间隔时,方法 2110 更新车辆质量估计状态。

[0376] 在操作 2112 处,车辆系统确定是否存在合格的估计事件。操作 2112 对应于图 19 的操作 1912 至 1920。如果在操作 2112 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2114,计算 V_{mass_rls} ,如在操作 1924 中描述的。在操作 2116 处,车辆系统使估计实例计数器($Cntr_est$)增加一个循环时间。在操作 2118 处,车辆系统评价估计实例计数器($Cntr_est$),以确定 $Cntr_est$ 是否等于或大于校准的时间间隔阈值($C_EstEvt4Update$), $C_EstEvt4Update$ 对应于估计事件的足够的估计实例。如果在操作 2118 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2120,通过将估计更新状态(V_{mass_update})设置为等于当前车辆质量估计状态(V_{mass_rls})而更新 V_{mass_update} 。

[0377] 在操作 2122 处,车辆系统评价估计实例计数器($Cntr_est$),以确定 $Cntr_est$ 是否等于校准的时间间隔阈值($C_EstEvt4Update$)。如果在操作 2122 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 2124,使估计实例计数器($Cntr_est$)增加一个循环时间。如果在操作 2122 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2126,使累积计数器($Cntr_EstTot$)增加 $Cntr_est$,在合格的估计事件中在每个实例处使 $Cntr_EstTot$ 向上计数。

[0378] 在操作 2128 处,车辆系统评价合格的估计事件的累积计数($Cntr_EstTot$),以确定 $Cntr_EstTot$ 是否大于校准的合格的估计事件阈值($C_QuaEstEvt$)。如果在操作 2128 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2130,将动态质量估计输出(V_{mass_est})设置为等于 RLS 估计器状态(V_{mass_rls})。如果在操作 2128 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2132,将动态质量估计输出(V_{mass_est})设置为等于存储的估计存储器值(V_{mass_memo})。

[0379] 如果在操作 2112 处确定是否定的,则不存在合格的估计事件,然后车辆系统进行到操作 2134。在操作 2134 处,车辆系统使估计实例计数器($Cntr_est$)减小一个循环时间。在操作 2136 处,车辆系统评价估计实例计数器($Cntr_est$),以确定 $Cntr_est$ 是否小于或等于零。如果在操作 2136 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2138,将当前车辆质量估计状态(V_{mass_rls})设置为等于估计更新状态(V_{mass_update})。在操作 2130、2132 或 2138 之后,以及响应于在操作 2136 处确定是否定的,车辆系统进行到操作 2140,然后返回到操作 2112。

[0380] 参照图 22,根据一个或多个实施例,车辆系统使用动态边界限制车辆质量估计。单个不精确的车辆质量估计实例的存在可能劣化估计状态。因此,车辆系统建立边界,以在估计过程中避免由特定的噪声因子导致的偏离的和不合理的估计结果。如在示出的实施例中所示,车辆系统设置上边界(Ubd)和下边界(Lbd)。根据一个或多个实施例,上边界(Ubd)对应于包括车辆、乘客和货物的最大车辆总重量(GVW);下边界(Lbd)对应于小于仅包括车辆的车辆“整备”重量的值。如图 22 所示,在初始状况下, Ubd 对应于大约 2500Kg 的 GVW , Lbd 对应于大约 1700Kg 的整备重量,在(时间 =0s)二者之间相差大约 800Kg。

[0381] 由于边界朝着估计的车辆质量收敛,所以边界是动态变化的。由于在车辆运动时车辆质量通常不改变,所以边界朝着估计的车辆质量的移动平均值收敛或变窄,使得随着更多的估计信息变得可用,这两个边界之间的差减小,以滤除不合理的车辆质量估计。例如,如在示出的实施例中所示,在时间 150s, Ubd 减小到大约 2200Kg, Lbd 增加到大约 1750Kg 二者之间相差大约 450Kg。

[0382] 如在上面参照图 20 描述的,当满足复位条件时,估计边界将复位到原始的上限和下限。另外,在车辆累积合格的估计更新时,边界将收敛。如在上面参照图 21 描述的,车辆系统包括计数器(Cntr_est),每当合格的加速或减速事件发生时,使 Cntr_est 增加。质量估计事件标志(Mevent)在图 22 中示出,与其他信号按比例绘制,使得当未检测到合格的事件时 Mevent 等于“NQ”,当(例如,在点 2212 处)检测到合格的加速事件时 Mevent 等于“QA”,当(例如,在点 2214 处)检测到合格的制动事件时 Mevent 等于“QB”。一旦检测到合格的事件,则计数器开始每一个执行循环就向上加 1 计数。一旦计数器的总数超过预定值,则车辆系统将初始估计的车辆质量设置为等于 RLS 估计的质量,如由标号 2216 指示的。

[0383] 参照图 23,随着车辆系统累积更多的车辆质量信息,估计的质量朝着实际车辆质量收敛。图 23 描述了在质量已知的车辆上获得的测试结果,所述质量由实际质量波形(Mass_actual)表示。图 23 还包括车辆速度(V_x),合格的事件标志(Mevent)波形。当未检测到合格的事件时 Mevent 等于“NQ”,当检测到合格的加速事件时 Mevent 等于“QA”,当检测到合格的制动事件时 Mevent 等于“QB”。合格的制动事件对应于车辆减速,如由标号 2312 指示的。初始估计的车辆质量(V_{mass_est})由标号 2314 指示。随着累积附加信息,估计的车辆质量(V_{mass_est})朝着实际质量(Mass_actual)收敛,如由标号 2316 指示的。

[0384] 图 24 是示出车辆质量估计的另一图形。虽然由于检测到附加信息而使车辆质量估计(V_{mass_est})随着时间朝着实际质量(Mass_actual)收敛,但是当在输入信号中存在噪声时,可将车辆质量估计调节为远离实际质量,如由标号 2412 指示的。例如,在一个或多个实施例中,基于如在上面参照等式 65 描述的拖曳力(F_{drag})估计车辆质量。在特定车辆状况(例如,大风)下,拖曳力估计的精度减小。参照图 22 描述的边界通过限制估计的车辆质量而减小这样的噪声状况的影响。

[0385] 车辆系统可基于估计的车辆质量例如通过使用等式 60 估计动态道路坡度。另外,估计的车辆质量可用于其他车辆系统,例如,用于具有起动/停止功能的微混合动力电动车辆的制动施加和释放检测(BARD)。

[0386] 这样,通过独立于道路坡度估计使用事件查找策略估计车辆质量,车辆系统提供优点。在特定输入的信噪比高的车辆状况或者合格的事件下估计质量。然后,当发生查找事件时,车辆系统使用递归最小二乘(RLS)算法估计车辆质量。在车辆状况对应于质量可能改变时(例如,当车辆停止时),车辆系统重新初始化质量估计算法中的特定参数,以增加算法的灵敏度。车辆系统基于估计的车辆质量来估计动态道路坡度(RGE_{dyn})。一般来说,与静态 RGE 和运动学 RGE 相比,动态 RGE 的品质状况更低,其原因是动态 RGE 在进行估计时涉及更多的信号,且每个信号中的噪声和误差将传送到最终 RGE 输出中。然而,动态 RGE 不依赖纵向加速度信号,因此,动态 RGE 的信号覆盖范围不同于静态估计和运动学估计的信号覆盖范围。另外,独立于道路坡度估计,车辆系统估计车辆质量,从而将 RGE_{dyn} 中的噪声与车辆质量估计隔离。

[0387] 如上所述,参照图 4,车辆系统确定针对静态 RGE 算法、运动学 RGE 算法和动态 RGE 算法中的每种的品质因子,静态 RGE 算法、运动学 RGE 算法和动态 RGE 算法中的每种的品质因子分别由变量 QF_{st} 、 QF_{kin} 、 QF_{dyn} 表示。车辆系统还确定总的 RGE 品质因子(QF_{RGE})。由于每种 RGE 算法依赖于不同的输入信号,所以每种 RGE 算法具有不同的范围和可用性。

[0388] 针对 RGE 输出以及每种 RGE 算法(静态、运动学和动态)的估计品质因子对应于 0

至 3 之间的值,且由变量(QF_{RGE} 、 QF_{st} 、 QF_{kin} 和 QF_{dyn})表示。品质因子评价估计的信息的可用性和精度。品质因子(QF)从 0 至 3 的范围内选择,其中,品质因子是 3 指示全品质,在全品质的情况下满足估计条件。品质因子是 2 指示品质劣化,此时不完全满足估计条件但是估计状态未过远地偏离其设定点。品质因子是 1 指示在瞬时点附近未实现合格的估计,且估计状态未实现足够的收敛,品质因子是 0 指示估计不可用。

[0389] 车辆系统评价 RGE 输入信号品质和处理,如由图 4 中的标号 412 和 414 所指示的。车辆纵向加速度是输入信号 414,且从惯性传感器 52 (在图 1 中示出)测量。如果信号的品质因子(QF)等于 3 且信号在特定的操作范围(例如, $\pm 2g$)内,则该信号被认为是良好的信号。当输入信号的品质劣化时,输入信号被锁定到最后那个高品质值,当品质劣化持续超过阈值时间时,输入信号将复位到默认值。均以相同的方式处理其他输入信号,例如,制动扭矩、动力传动系扭矩、车辆速度、横摆角等。

[0390] 静态 RGE 算法基于纵向加速度输入(a_x^s)估计道路坡度。静态 RGE 适合于车辆静止状况,例如当微混合动力车辆在斜面上停止时发动机起动 / 停止功能。车辆系统基于加速度传感器测量信号的稳定性评价静态 RGE 品质。传感器稳定性由信号与阈值相比的振荡和变化水平指示,由信号的滤波的一阶导数指示。当车辆静止且车身稳定时,获得最高品质,使得加速度计的输出接近收敛的稳定状态。在当前车辆停止事件中,更高的振荡水平将降低估计品质,且当先前的运动学估计未能设置静态估计的初始值时,更高的振荡水平变得不可用。

[0391] 运动学 RGE 算法基于对应于车辆的运动学特性(包括车辆速度、加速度和横摆角之间的关系)的输入来估计 RGE。该算法使用卡尔曼滤波器处理所述输入。运动学 RGE 算法适合于正常车辆运动状况(例如, $V_x > 5kph$),其原因是在车辆速度低时,一些基本计算的精度低。另外,卡尔曼滤波器是动态滤波器,通常直到估计状态收敛才能能获得良好的估计。瞬态时间取决于初始状态、真实道路坡度状态以及估计状况(例如:信号频率分量丰富度和信噪比)之间的差异。车辆系统基于评价其输入信号的品质、其估计状态、车辆状态以及估计稳定时间段来评价运动学 RGE 的质量。

[0392] 动态 RGE 算法 426 基于对应于车辆速度、车轮扭矩(制动扭矩和动力传动系输出扭矩)以及作用在车辆上的其他拖曳力(例如,气动阻力、滚动阻力和道路坡度负荷)的输入来估计 RGE。一般来说,与静态 RGE 和运动学 RGE 相比,动态 RGE 的品质状况更低,其原因是动态 RGE 在进行估计时涉及更多的信号,且每个信号中的噪声和误差将传送到最终 RGE 输出中。与运动学 RGE 算法类似,动态 RGE 估计的品质也以其输入信号、估计状态、车辆状态、估计品质状况以及估计收敛 / 稳定时间段来评价。

[0393] 提供给基于卡尔曼滤波器的估计器(例如, RGE_{kin})的信号被分成两组:主要信号和支持信号。主要信号用于计算估计器系统等式的输入和输出。支持信号用于调节估计器模式或参数,以适应于不同的驱动状况。

[0394] 当任意的主信号不是良好(例如, $QF < 3$)时,估计结果将开始偏离真实值。车辆系统通过对劣化的主信号存在的时间段(由变量 T_{dgd} 指示)进行计数来评价劣化的信号对估计状态的影响。车辆系统还针对 T_{dgd} 对劣化影响因子 C_{dgi} 进行插值。这样的插值可基于存储在查找表中的预定数据。一般来说,确定 C_{dgi} 的原理在于:劣化的主信号存在的时间越长,对估计结果的影响越坏。估计品质指数变量(q_{est}^c)根据如下所示的等式 77 计算:

$$[0395] \quad q_{est}^c = T_{dgd} * C_{dgi} \quad (77)$$

[0396] 可选地,可使用 q_{est} 的预先校准的值,在存在劣化的主信号输入到估计器时,将停止估计过程。

[0397] 在所有主信号均恢复良好品质之后,估计不会立即往回收敛到真实估计目标状态。在收敛阶段发生之后,可放心使用估计结果。为了表示收敛阶段,设计渐消因子 f_{dgi} , f_{dgi} 取 0 至 1 之间的值,以减小从先前的劣化信号事件累积的 q_{est} 的值,使得:

$$[0398] \quad q_{est}^0 = q_{est}^0 * f_{dgi} \quad (78)$$

[0399] 在每个控制实施循环中重复该计算,以逐渐将 q_{est} 的值向下减小到零。

[0400] 在每个时刻,可与来自先前的事件的影响减小同时发生的是,当前发生的影响在增加。因此,最终的估计品质指数由 q_{est}^0 和 q_{est}^c 中的最大值确定,即, $q_{est} = \max(q_{est}^0, q_{est}^c)$ 。

[0401] 参照图 25,示出了根据一个或多个实施例的用于估计卡尔曼估计器或 RLS 动态质量估计器的质量的方法,该方法总体上由标号 2510 指示。

[0402] 在操作 2512 中,车辆系统评价道路坡度估计(RGE)信号,以确定估计是否被锁定。当 RGE 不在更新时,RGE 被锁定。当 RGE 的品质劣化时,RGE 可被锁定到其最后那个高品质值。如果在操作 2512 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2514,将评价的估计品质因子(QF_est)锁定到其当前值。变量 QF_est 是对应于用于运动学道路坡度估计或动态道路坡度估计的品质因子的普通值。当估计算法不满足合格的估计条件且估计被锁定时,其相关的品质评价也被锁定,直到将发生下一次估计事件为止。如果在操作 2512 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 2516。

[0403] 在操作 2516 处,车辆系统评价道路坡度估计(RGE)信号,以确定估计是否起作用。如果 RGE 在更新,则 RGE 起作用。如果在操作 2516 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 2518,将品质因子设置为对应于“无数据”的值(例如,QF=0)。如果在操作 2516 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2520。

[0404] 在操作 2520 处,车辆系统将评价的品质指数(q_{est})(如在上面参照等式 77 和 78 描述的)与良好阈值参数(Q_{est_ok})进行比较,以确定 q_{est} 是否小于 Q_{est_ok} ,且支持信号没有劣化。如果在操作 2520 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2522,将品质因子设置为对应于“良好”的值(例如,QF=3)。如果在操作 2520 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 2524。

[0405] 在操作 2524 处,车辆系统将评价的品质指数(q_{est})与故障阈值参数($Q_{est_degrade}$)进行比较,以确定 q_{est} 是否等于或大于 $Q_{est_degrade}$ 。如果在操作 2524 处确定是肯定的,则车辆系统进行到操作 2526,将品质因子设置为对应于“故障”的值。如果在操作 2524 处确定是否定的,则车辆系统进行到操作 2528,将品质因子设置为对应于“劣化”的值(例如,QF=2)。在操作 2514、2518、2522、2526 或 2528 之后,车辆系统进行到操作 2530,然后返回到操作 2512。

[0406] 参照图 26A 至图 26C,车辆系统监测运动学道路坡度估计(RGE_{kin})中的变化。图 26A 至图 26C 包括在共同的时间段内获得的测量数据的 3 个图形,这 3 个图形总体上由标号 2610 指示。图 26A 示出了车辆速度(V_x),图 26B 示出了实际道路坡度(RGE_{ref})和估计的

道路坡度 (RGE_{EST})。根据一个或多个实施例, RGE_{EST} 对应于对 RGE_{st} 、 RGE_{kin} 和 RGE_{dyn} 仲裁的输出 (RGE_{out})。图 26C 示出了在 RGE_{EST} 和 RGE_{ref} 之间计算的百分比误差。

[0407] 基于卡尔曼滤波器的估计 (例如, 用于 RGE_{kin} 的估计) 假设在短的时间段或距离内道路坡度状态稳定且接近于恒定状态。该假设通常是真实存在的, 其原因是大多数道路的道路坡度不会快速地改变。然而, 如图 26B 和图 26C 所示, 在不同的道路坡度之间过渡时, 可发生大的估计误差。例如, 道路坡度从大约 0% 改变到大约 7%, 如由标号 2612 指示的。在这种过渡期间存在通常大的估计误差, 如由标号 2614 指示的。

[0408] 车辆系统包括一种方法 (未示出), 该方法用于监测估计变化, 以基于道路坡度变化的幅度确定估计质量 (精度)。在该方法中, 计算估计的道路坡度的导数 ($\dot{RGE}_{EST}$)。当导数 ($\dot{RGE}_{EST}$) 大于阈值估计且这样的状况在比预定时间段长的时间内真实存在时, 识别过渡时间段。接下来, 如果同时不存在其他劣化因子, 则品质因子 (QF) 将减小到劣化水平 (QF=2)。在另一稳定时间段内, 当导数信号稳定到低值时, 将消除这样的劣化。一般来说, 当道路坡度在短的时间段内显著改变时, 该方法通知使用 RGE 输出的其他车辆系统: 在过渡时间段内估计不完全精确。

[0409] 在车辆速度极低时, 道路坡度估计不可用, 如表 A 的第 6 列所示。虽然在车辆速度极低 (例如, 小于 5mph) 时, 没有估计可用, 但是在这样的状况期间, 车辆系统仍然提供精确的道路坡度估计。在车辆速度低时, 由传感器 (例如, 车轮速度传感器或 GPS) 信号提供的或者从传感器信号获得的车辆速度不精确。在这样的速度, 车辆系统停止估计, 以避免将这样的不精确性传送到道路坡度估计 (例如, RGE_{kin} 和 RGE_{dyn}) 中, 并将估计器状态锁定到其最后那个合格的估计结果。

[0410] 车辆可以以这样的极低的车辆速度行驶延长的距离。因此, 在 RGE 停止之后, 实际道路坡度可改变。在这样的状况下, 锁定的 RGE 输出的精度将减小。因此, 车辆系统相应地降低相关的估计品质。车辆系统限定两个车辆速度阈值 (V_{stp} 和 V_{exit}), V_{stp} 和 V_{exit} 分别表示车辆停止速度阈值和车辆出口速度阈值。其中, V_{stp} 大于 V_{exit} 。当车辆速度 (V_x) 小于 V_{stp} 时, 车辆系统 (使用基于卡尔曼滤波器 (或者最小二乘类型的滤波器) 的估计算法) 通过锁定所有的估计状态而暂停或停止估计。然而, 在估计停止时刻记录数据之后, 在车辆速度 (V_x) 进一步向下减小到 V_{exit} 之前或者在 V_x 增加到 V_{stp} 之上之前, 估计算法继续运行。当在 $V_{exit} < V_x < V_{stp}$ 之间的速度范围内操作时, 新的估计输出 (RGE_{out}) 将继续与锁定的估计输出比较。如果当前 RGE 状态和锁定的 RGE 之间的差大于第一阈值差, 则估计品质将减小到更低的水平, 而指示在这样的新状况下估计输出可能不够精确。然而, 如果当前 RGE 状态和锁定的 RGE 之间的差大于第二阈值差, 则估计品质将减小到“无数据”水平 (例如, QF=0), 而指示估计结果不能使用。在车辆速度 (V_x) 进一步减小到 V_{exit} 之下之后, 估计将完全停止, 且将不再执行估计操作。一旦车辆速度 (V_x) 增加到阈值 V_{stp} 之上, 则锁定的估计状态和记录的估计状态将重新载入到估计算法, 以恢复正常估计功能。

[0411] 在一个或多个实施例中, 一旦车辆速度 (V_x) 小于 V_{exit} , 则车辆系统停止道路坡度估计器, 其原因是在这样的状况下估计不精确。 V_{exit} 可被称为“蠕动”速度。然而, 车辆可以以这样的蠕动速度继续行驶。

[0412] 参照图 27A 至图 27G, 在车辆速度增加到更高的速度级之上之后, 运动学道路坡

度估计器或动态道路坡度估计器将变得可用,以及在车辆完全停止之后,静态 RGE 估计器可接管过来。图 27A 至图 27G 包括在共同的时间段内获得的测量数据的 7 个图形,这 7 个图形总体上由标号 2710 指示。图 27B 示出了车辆速度(V_x),图 27E 示出了静态品质因子(QF_{st}),图 27F 示出了运动学品质因子(QF_{kin}),图 27G 示出了仲裁的道路坡度估计的品质因子(QF_{RGE})。当车辆停止时,静态 RGE 变得可用。车辆速度为零由标号 2712 指示,对应的高品质 RGE_{st} 由标号 2714 指示。另外,当车辆在正常运动(如由标号 2716 指示的)时,运动学 RGE 变得可用,对应的高品质 RGE_{kin} 由标号 2718 指示。仲裁的 RGE 结合 RGE_{st} 和 RGE_{kin} ,以在大多数车辆状况下提供高品质输出,如由标号 2720 指示的。然而,在特定的极低车辆速度(如由标号 2722 指示的)时,可能不存在可用的高品质 RGE,如总体上由标号 2724 指示的。

[0413] 然而,在 0 和 V_{exit} 之间的低速度范围内,可能不存在可用的 RGE 算法。因此,在车辆以这样的低速度运动时,可能不会检测和估计道路坡度变化。为了在报告道路坡度信息时确保 RGE 的稳健性,车辆系统包括保守的对策,以避免在不提供关于 RGE 品质的信息的情况下使用道路坡度估计。

[0414] 根据一个或多个实施例,车辆系统包括一种方法(未示出),该方法用于在蠕动事件中监测车辆速度(V_x)。当 V_x 小于 V_{exit} (例如,小于 5kph)且当前估计器品质评价良好(例如, $QF=3$)时,发生蠕动事件。车辆系统通过对车辆速度进行积分来计算蠕动距离(D_c)。当 D_c 大于第一距离阈值时,车辆系统将品质因子降低到劣化水平($QF=2$)。当 D_c 大于第二距离阈值时,车辆系统将品质因子降低到无数据($QF=0$)。当任意的 RGE 估计器开始提供合格的输出时,车辆系统使蠕动距离(D_c)复位到零。同时,RGE 的品质将被仲裁为当前起作用的估计器的品质评价结果,以替代在蠕动事件中评价的品质。当在速度范围($V_{exit} < V_x < V_{stp}$)内品质因子(QF)劣化时,车辆系统将重新开始蠕动距离计算。另外,即使车辆速度大于 V_{exit} ,当计算的估计结果与锁定的估计结果偏离超过特定阈值时,车辆系统也重新开始 D_c 计算。

[0415] 这样,通过评价输入信号的品质、道路坡度估计的品质以及质量估计的品质并提供与每个输入和估计相关的品质因子,车辆系统优于现有的系统。车辆系统部分基于品质因子仲裁或选择估计。然后,车辆系统基于选择的估计通过对应的品质因子提供道路坡度估计和车辆质量估计。根据相关的品质因子,其他车辆系统可不同地使用道路坡度估计和车辆质量估计。

[0416] 如由在上面描述的实施例验证的,通过从多个不同的估计(静态、运动学和动态)仲裁或选择道路坡度估计,车辆、车辆系统和方法优于现有技术。通过在这些不同的估计之间进行仲裁,车辆系统在宽范围的车辆状况下提供道路坡度估计。通过使用纵向加速度的动态滤波估计静态道路坡度,以及通过使用针对初始值的另一估计(其减小了在可提供合格的静态道路坡度估计值之前的延时),车辆系统还优于现有的系统。通过使用 EKF 估计运动学道路坡度(其提供积分式滤波策略),车辆系统还优于现有的方法。这样的积分策略不会放大信号上的噪声,因此,这样的积分策略提供改进的估计精度同时相对快速地收敛。通过使用输入补偿的加速度偏移量估计运动学道路坡度以提高精度,来消除由车辆横向动力导致的偏移量和不确定性及其耦合效应,车辆系统还优于现有的方法。通过独立于道路坡度估计使用事件查找策略估计车辆质量,车辆系统提供优点。在车辆状况对应于质量可能改变时(例如,当车辆停止时),车辆系统重新初始化质量估计算法中的特定参数,以增加算法的灵敏度。车辆系统基于估计的车辆质量来估计动态道路坡度(RGE_{dyn})。通过评价输入

信号的品质、道路坡度估计的品质以及质量估计的品质并提供与每个输入和估计相关的品质因子,车辆系统还优于现有的系统。车辆系统部分基于品质因子仲裁或选择估计。然后,车辆系统基于选择的估计提供具有对应的品质因子的道路坡度估计和车辆质量估计。根据相关的品质因子,其他车辆系统可不同地使用道路坡度估计和车辆质量估计。

[0417] 虽然已经详细描述了最佳方式,但是熟悉本领域的技术人员将认识到在权利要求的范围内的各种可选的设计和实施例。另外,各个实施的实施例的特征可被结合,以形成本发明的进一步的实施例。虽然各个实施例可能已被描述为提供优点或者在一个或多个期望的特性方面优于其他实施例或现有技术的实施方式,但是本领域的普通技术人员将认识到,一个或多个特点或特性可被折衷,以实现期望的系统属性,期望的系统属性取决于具体的应用和实施方式。这些属性可包括但不限于:成本、强度、耐久性、生命周期成本、可销售性、外观、包装、尺寸、维护保养方便性、重量、可制造性、装配容易性等。因此,在此被描述为在一个或多个特性方面不如其他实施例或现有技术的实施方式的实施例并不在本公开的范围之外,并且可被期望用于特定的应用。另外,各个实施的实施例的特征可被结合,以形成本发明的进一步的实施例。

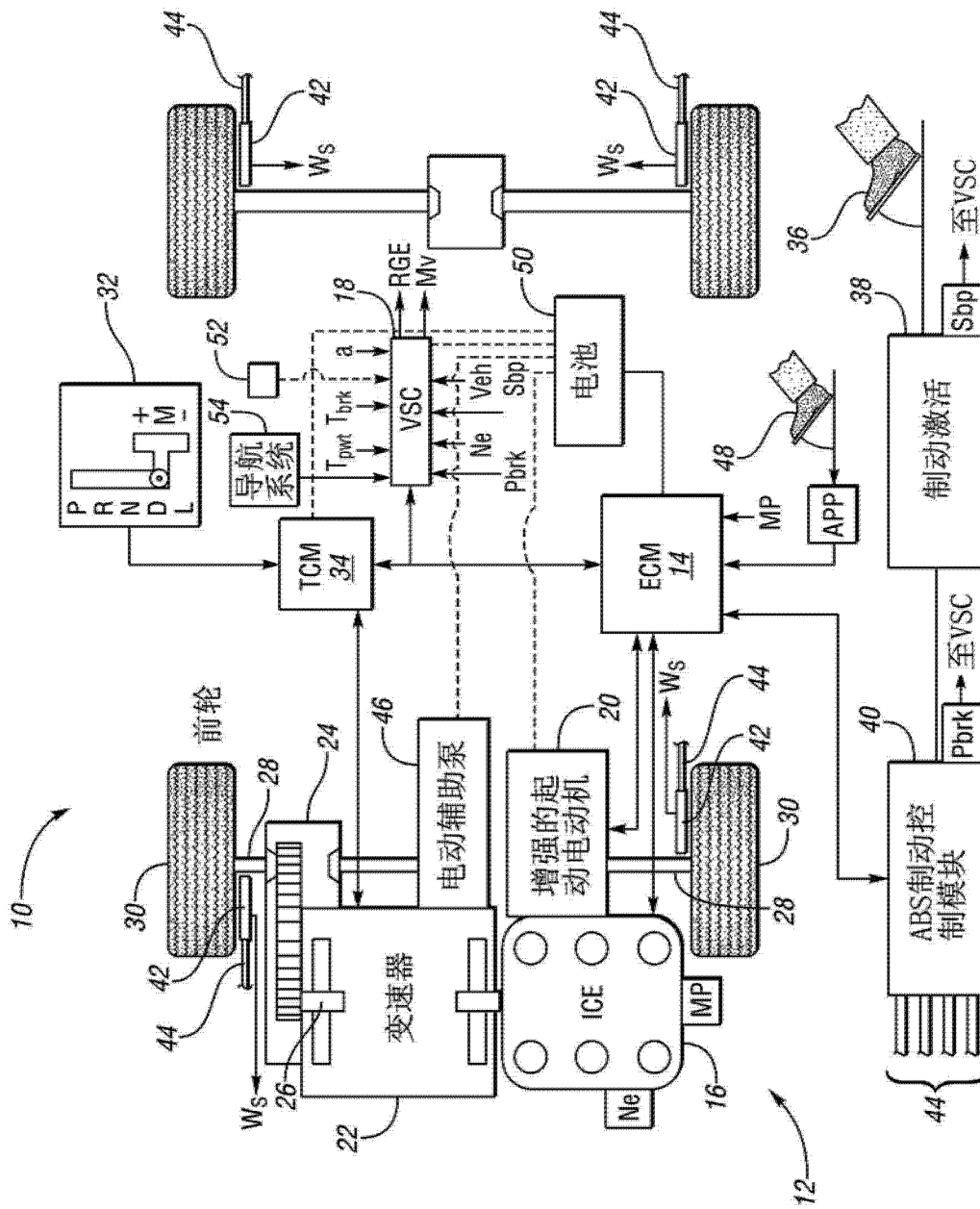


图 1

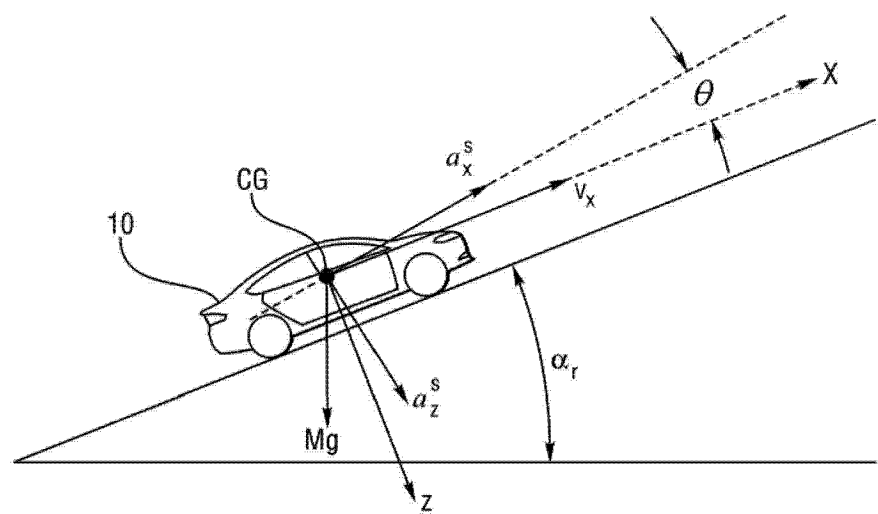


图 2

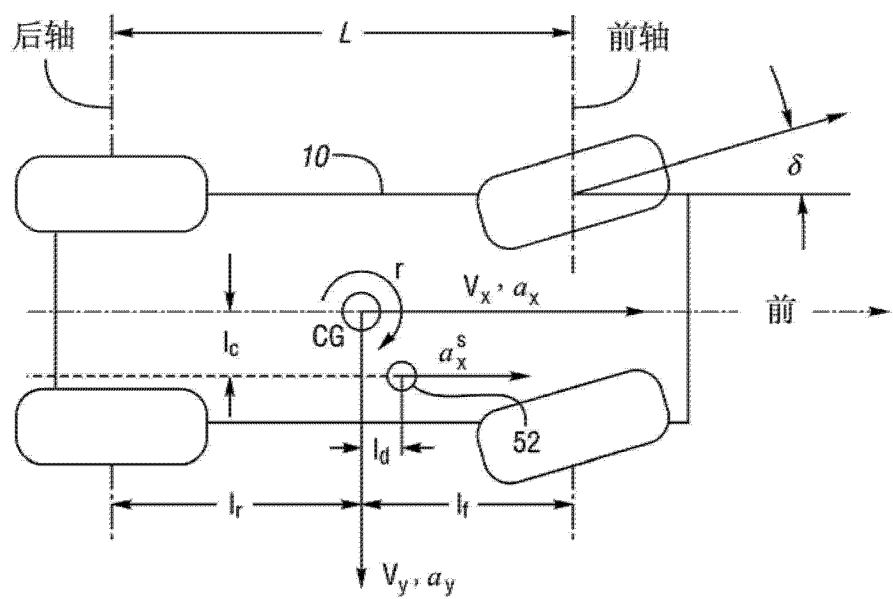


图 3

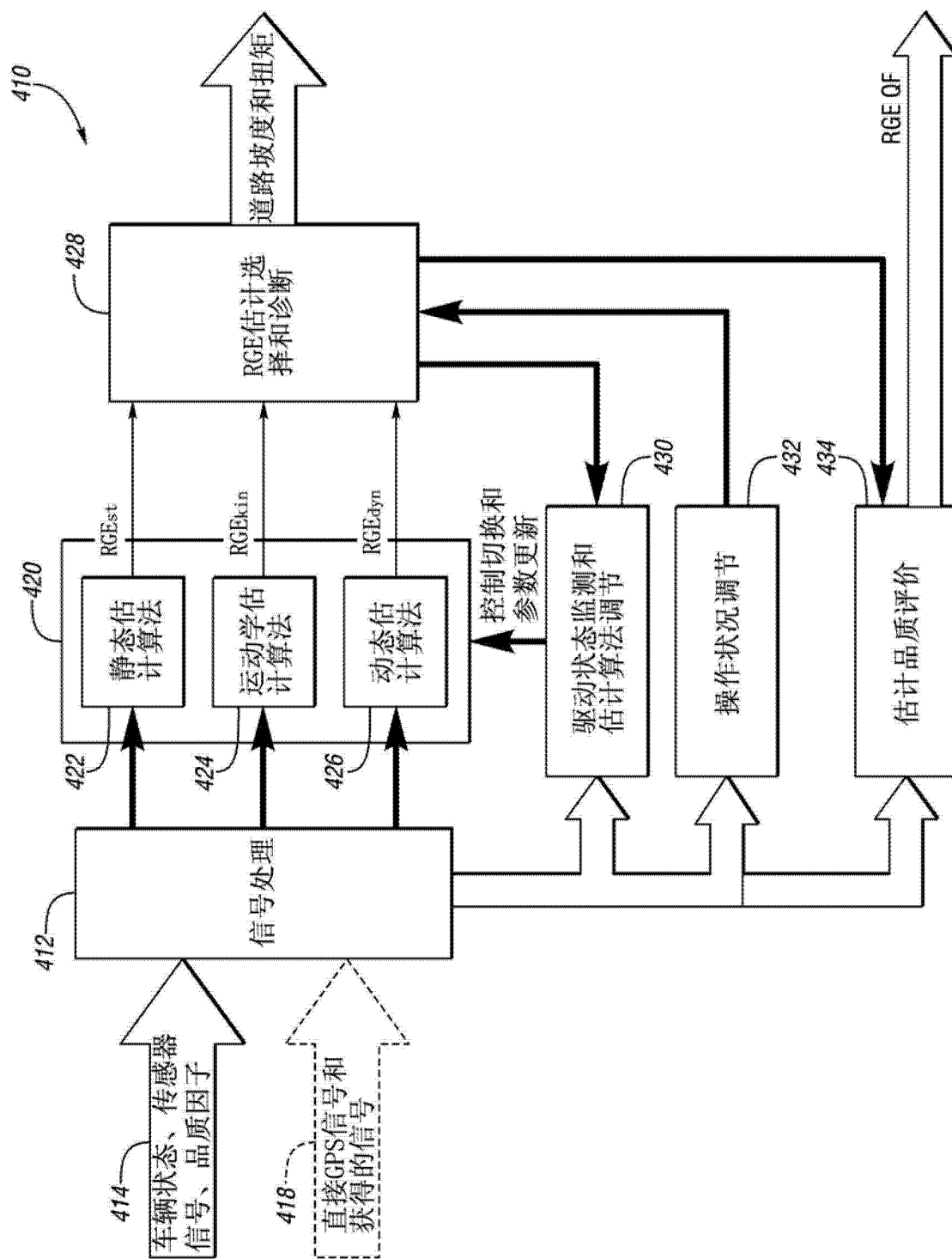


图 4

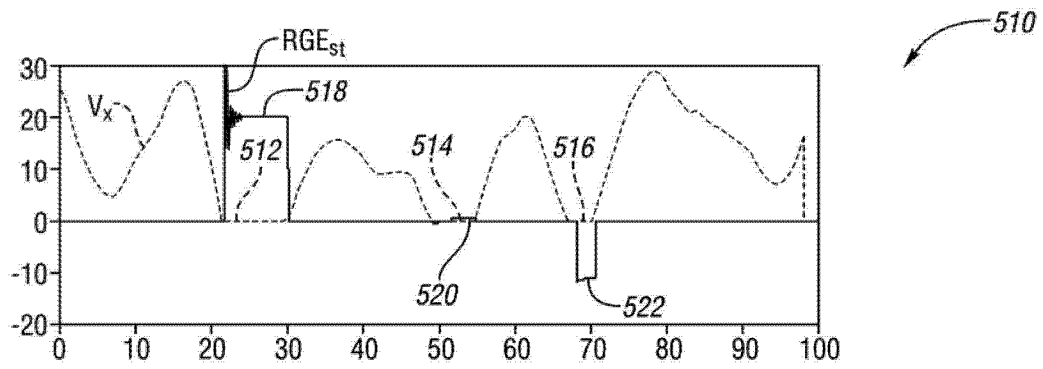


图 5A

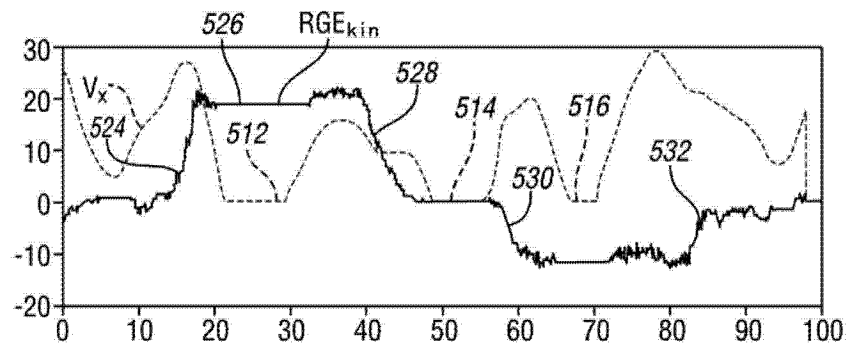


图 5B

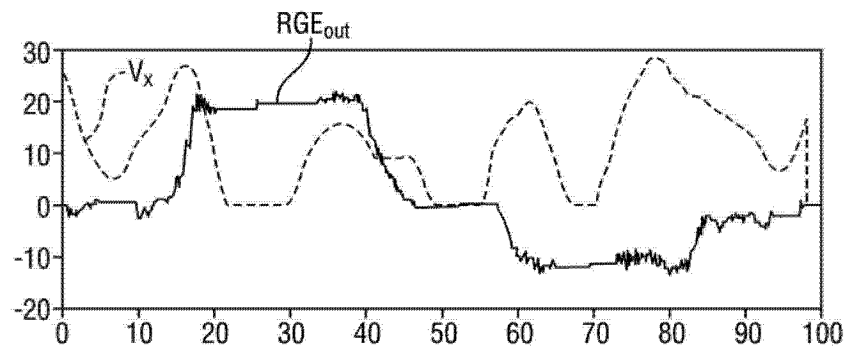


图 5C

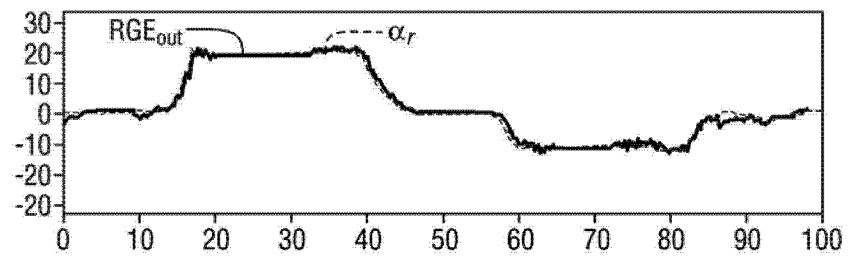


图 5D

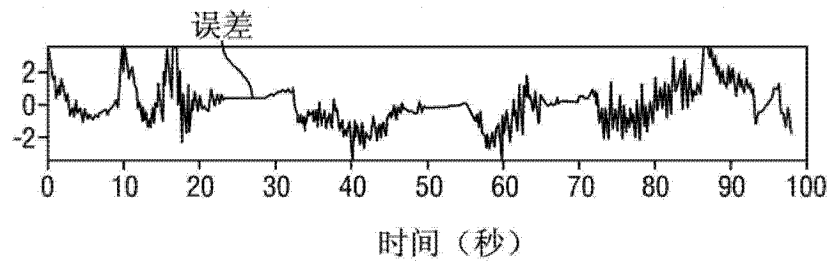


图 5E

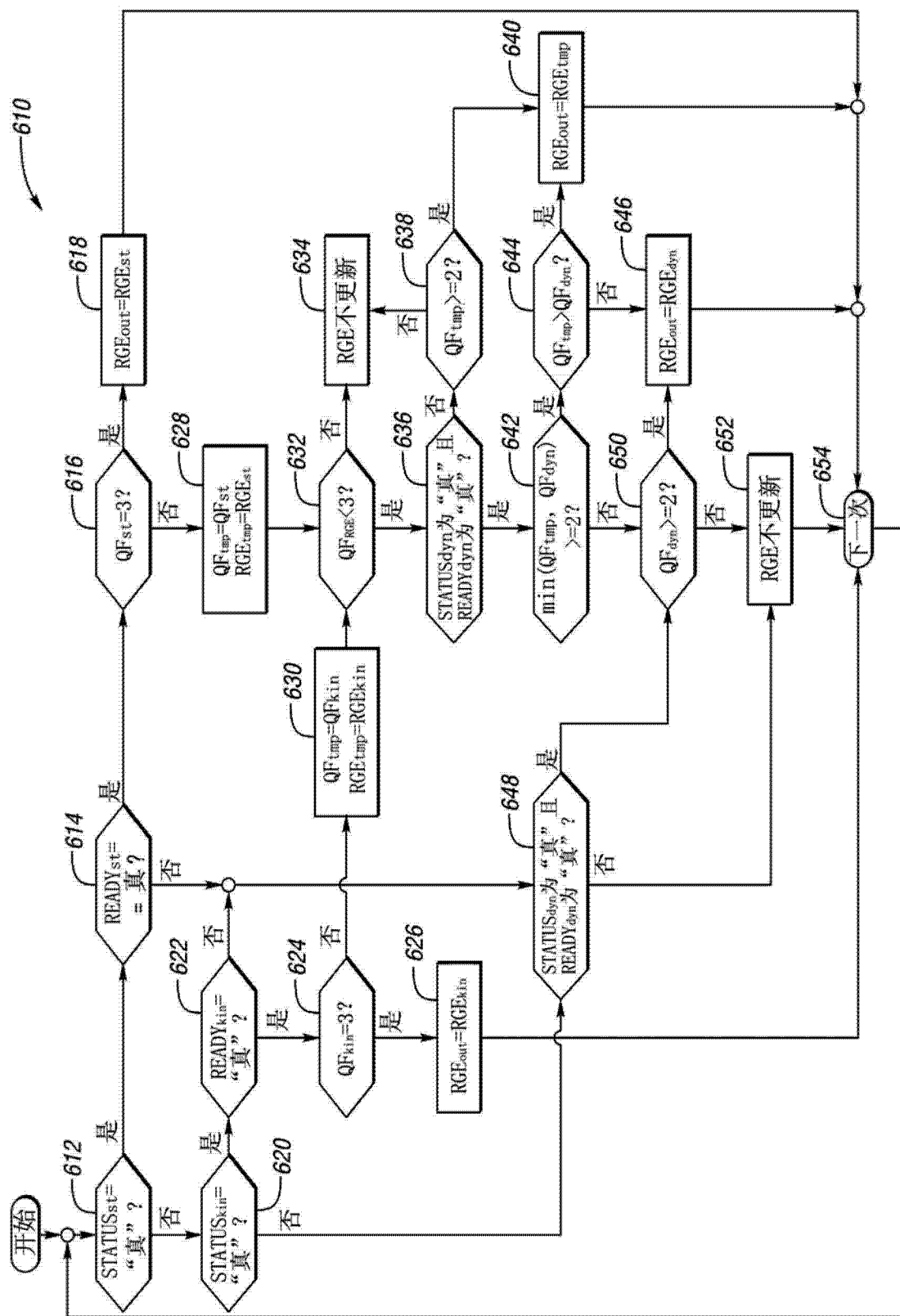


图 6

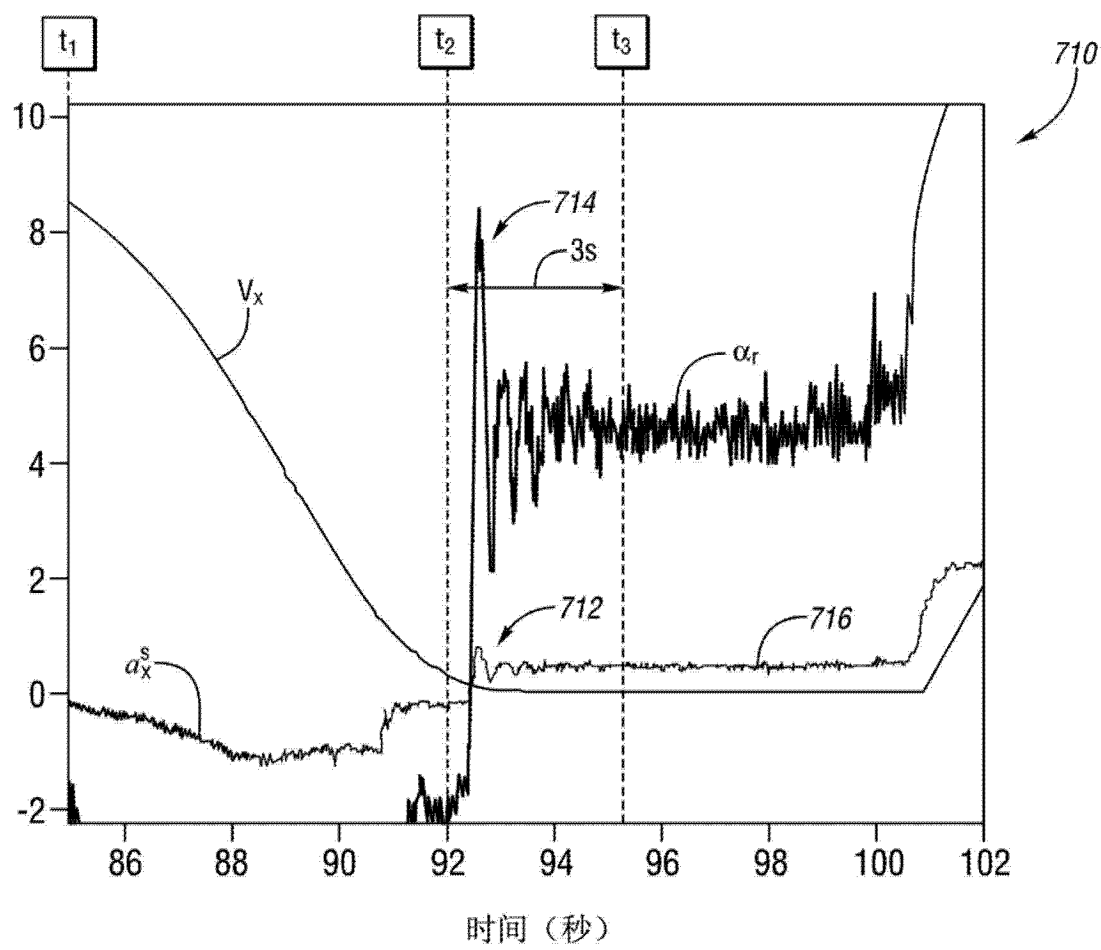


图 7

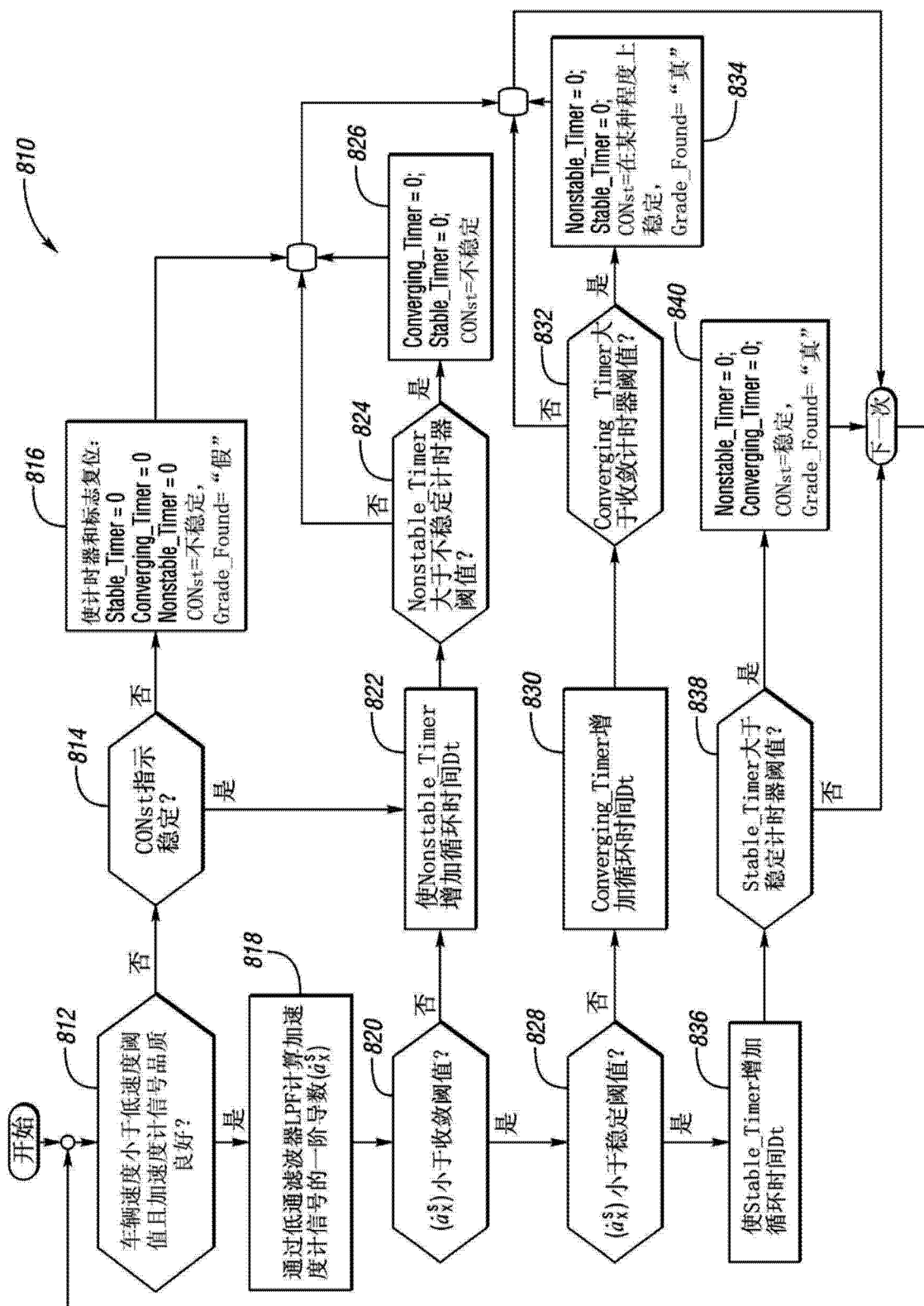


图 8

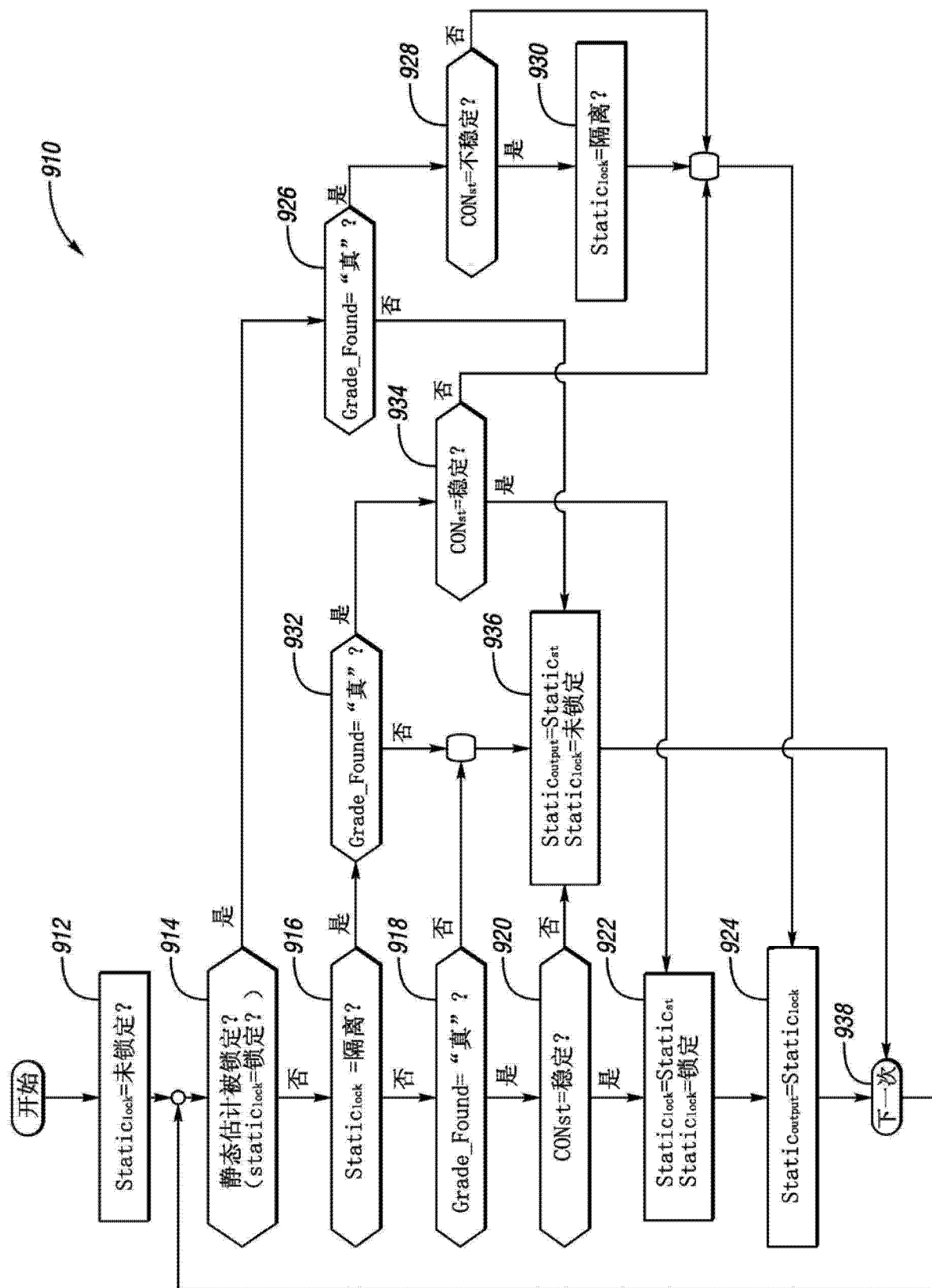
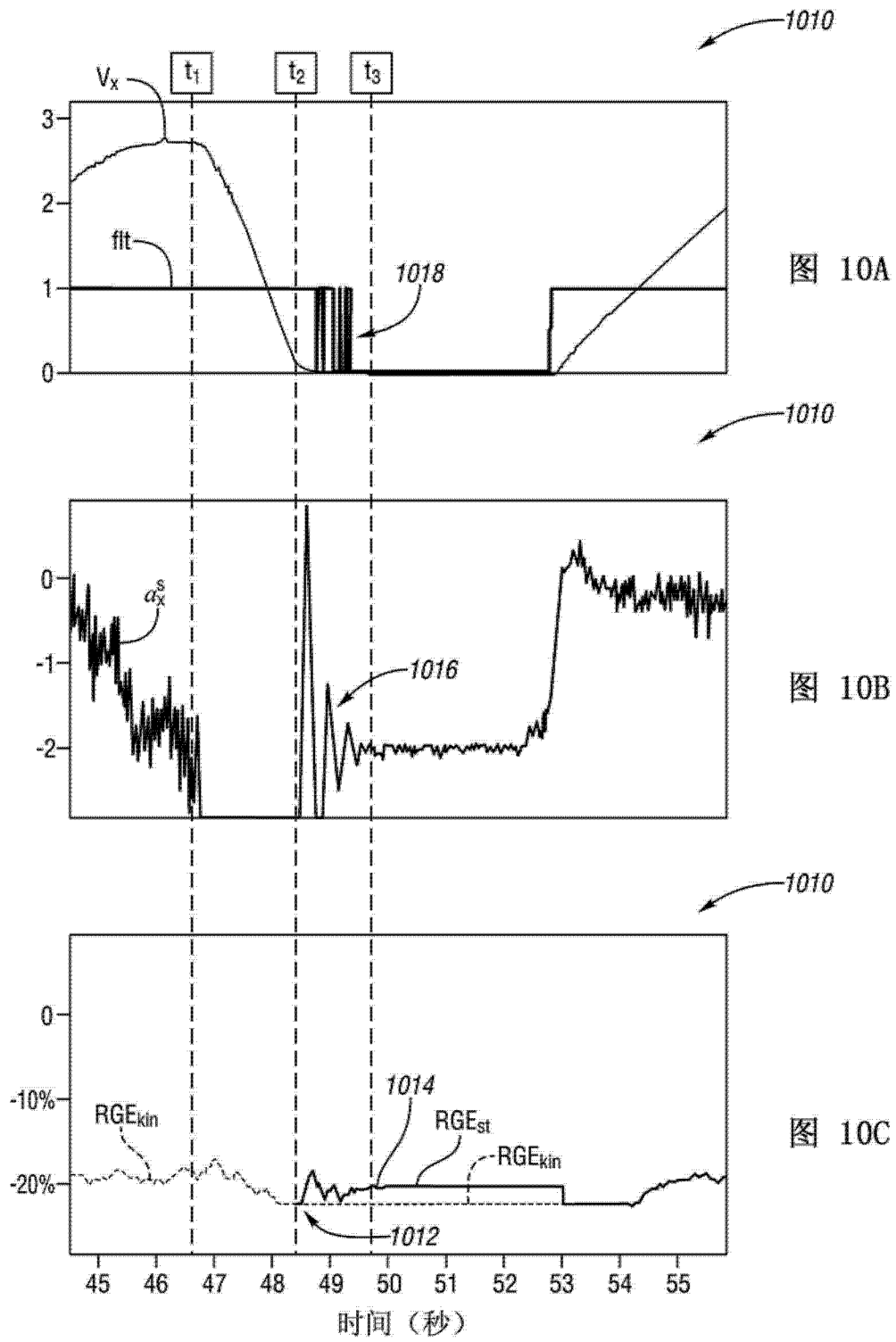


图 9



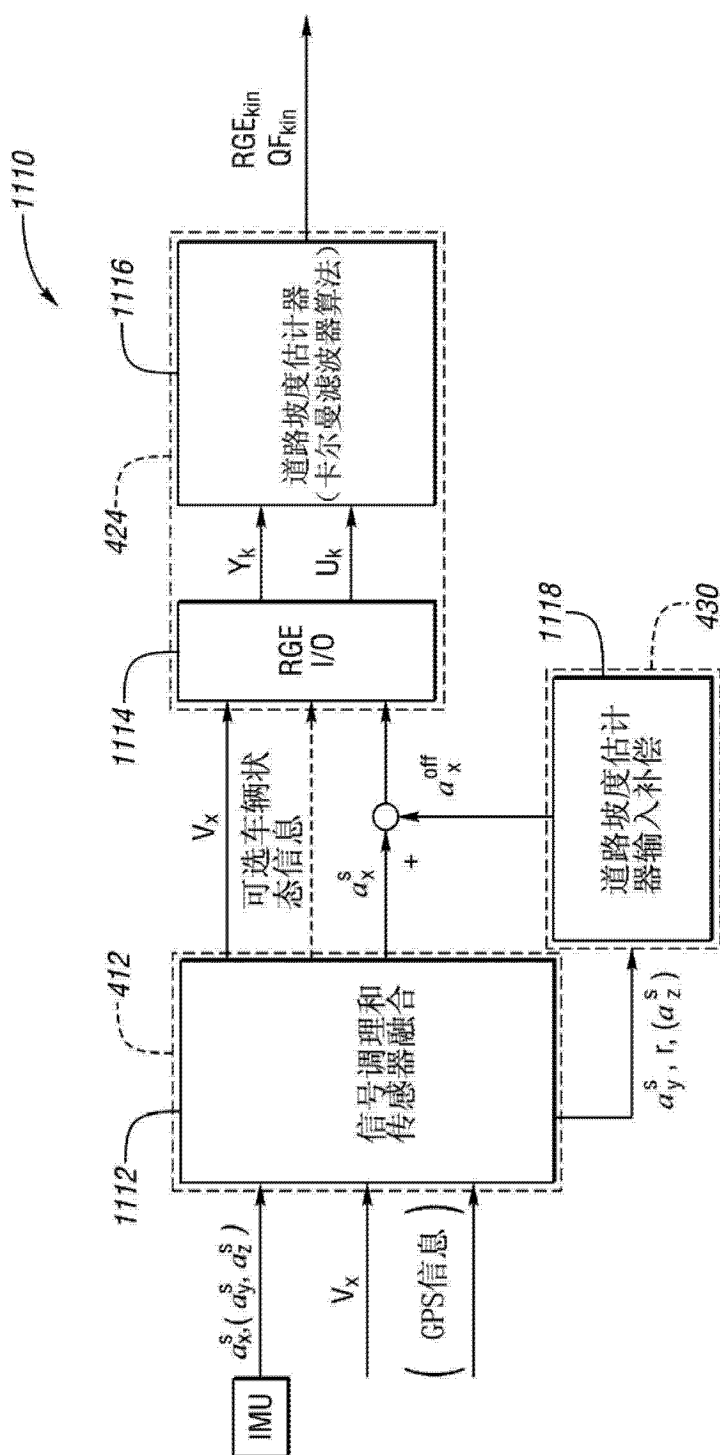


图 11

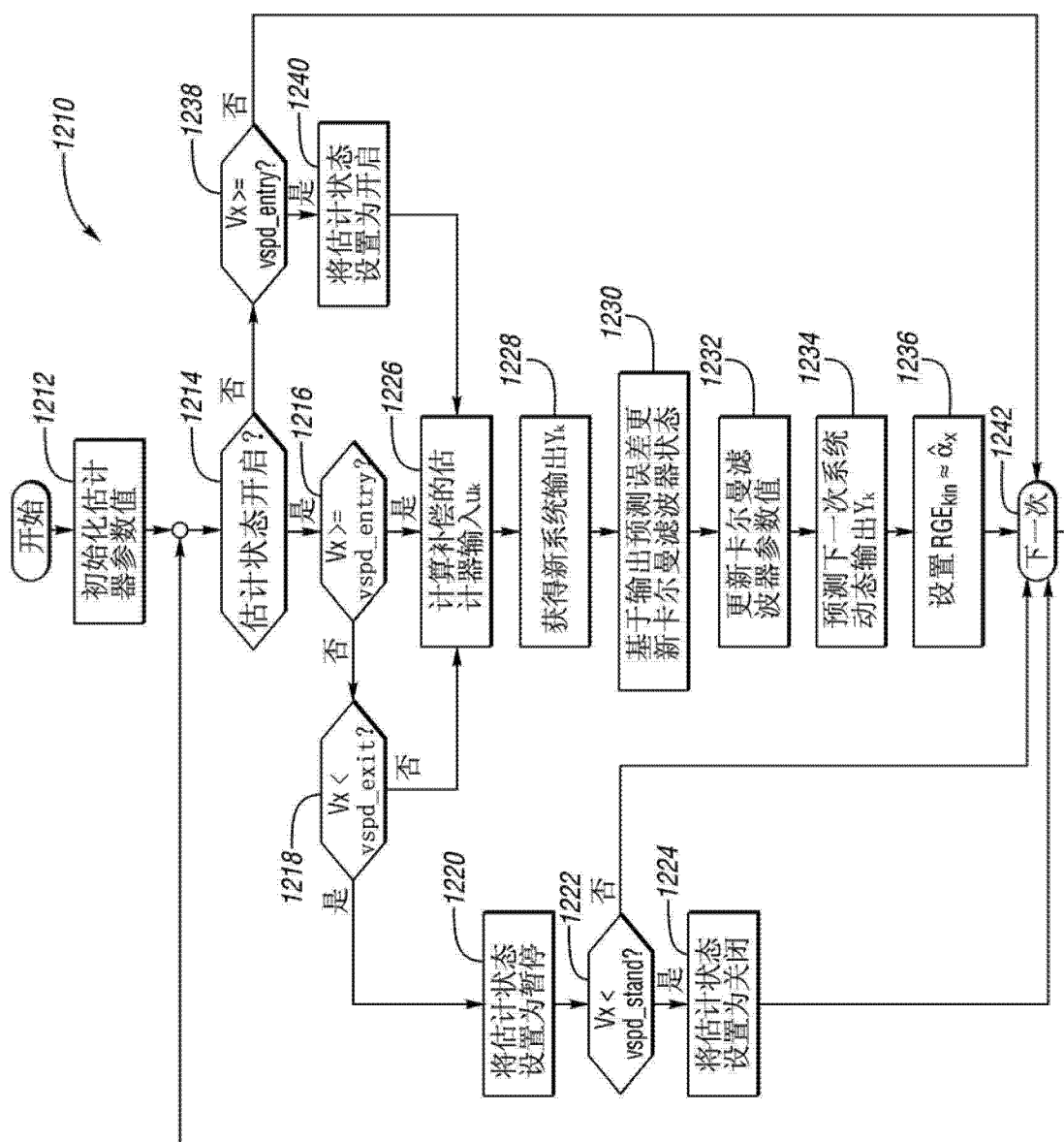
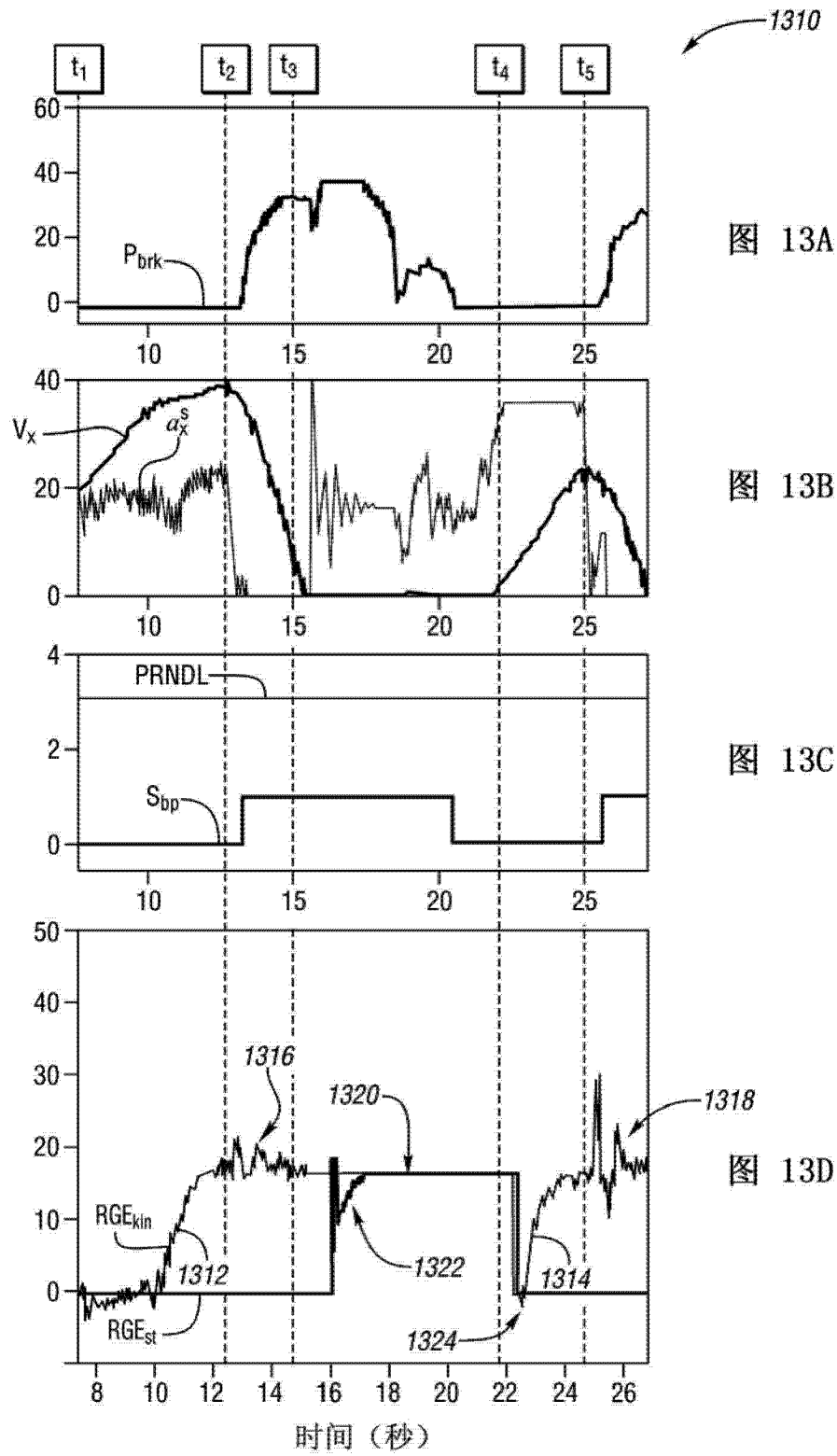


图 12



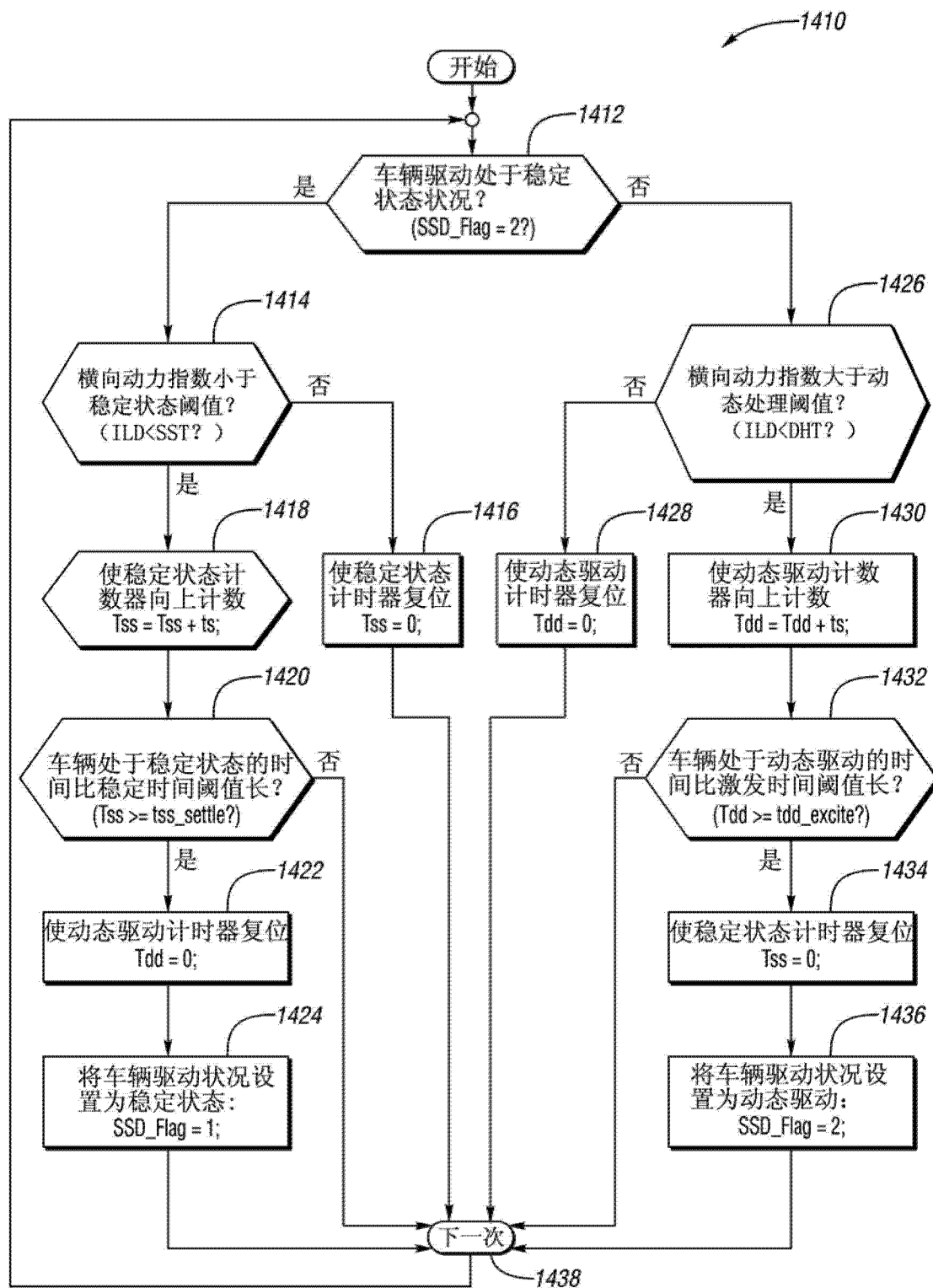


图 14

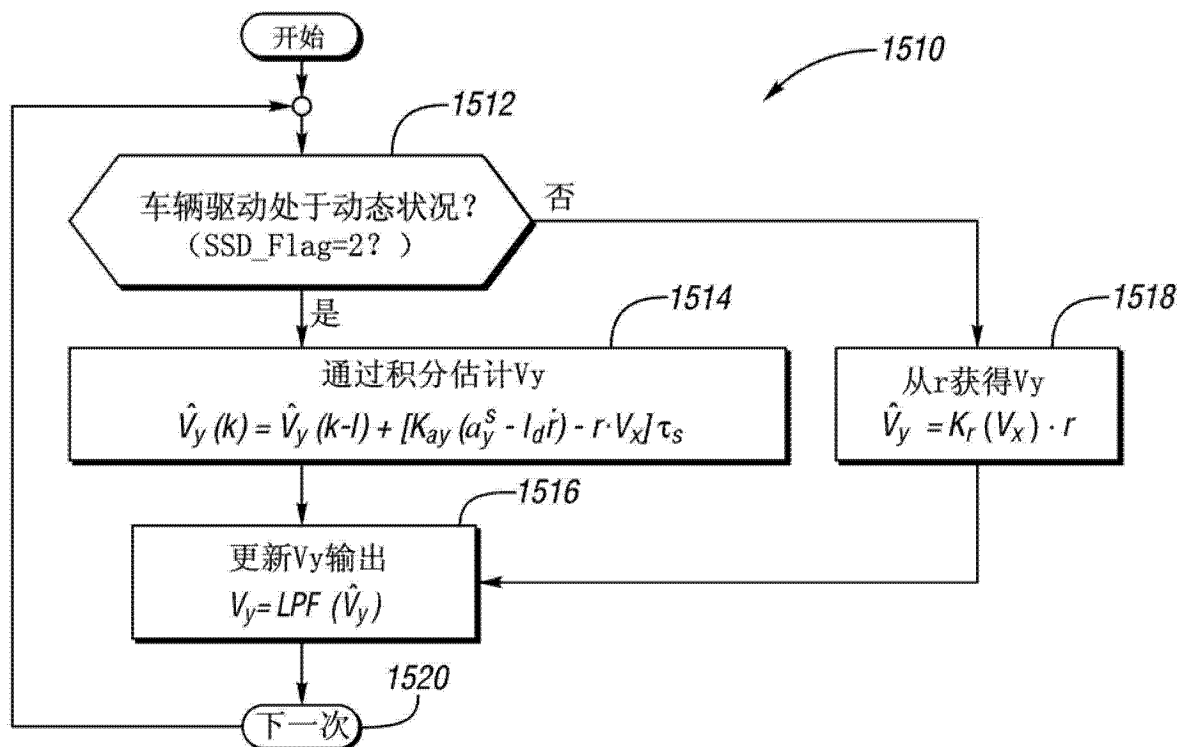


图 15

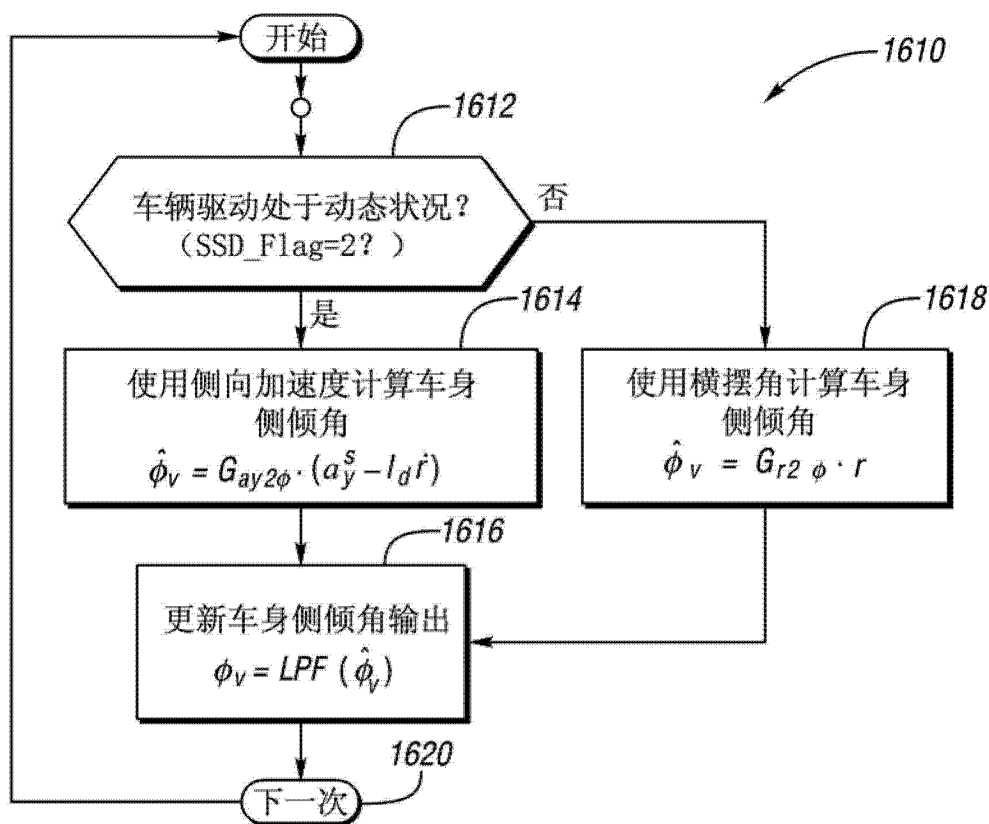


图 16

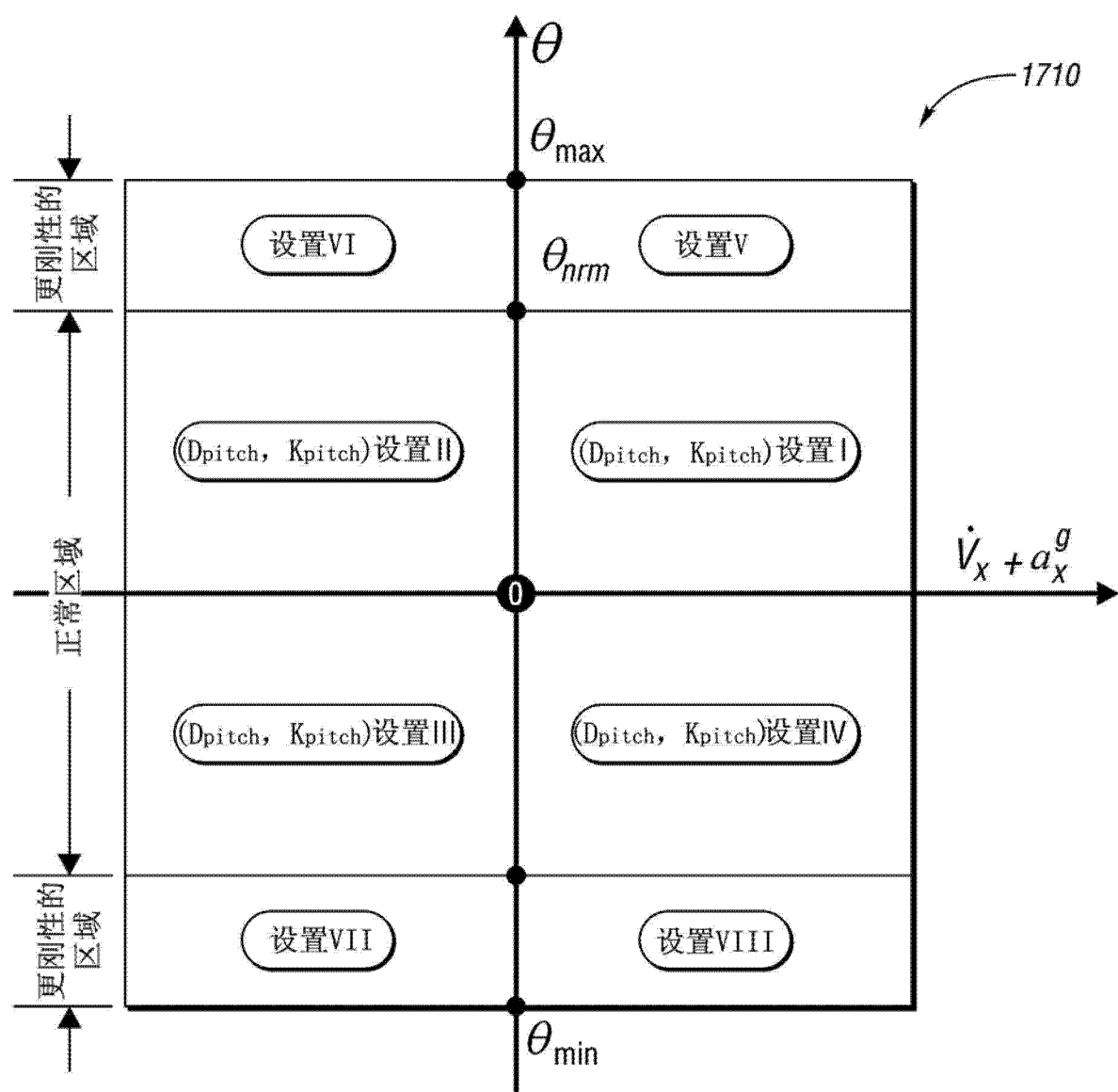


图 17

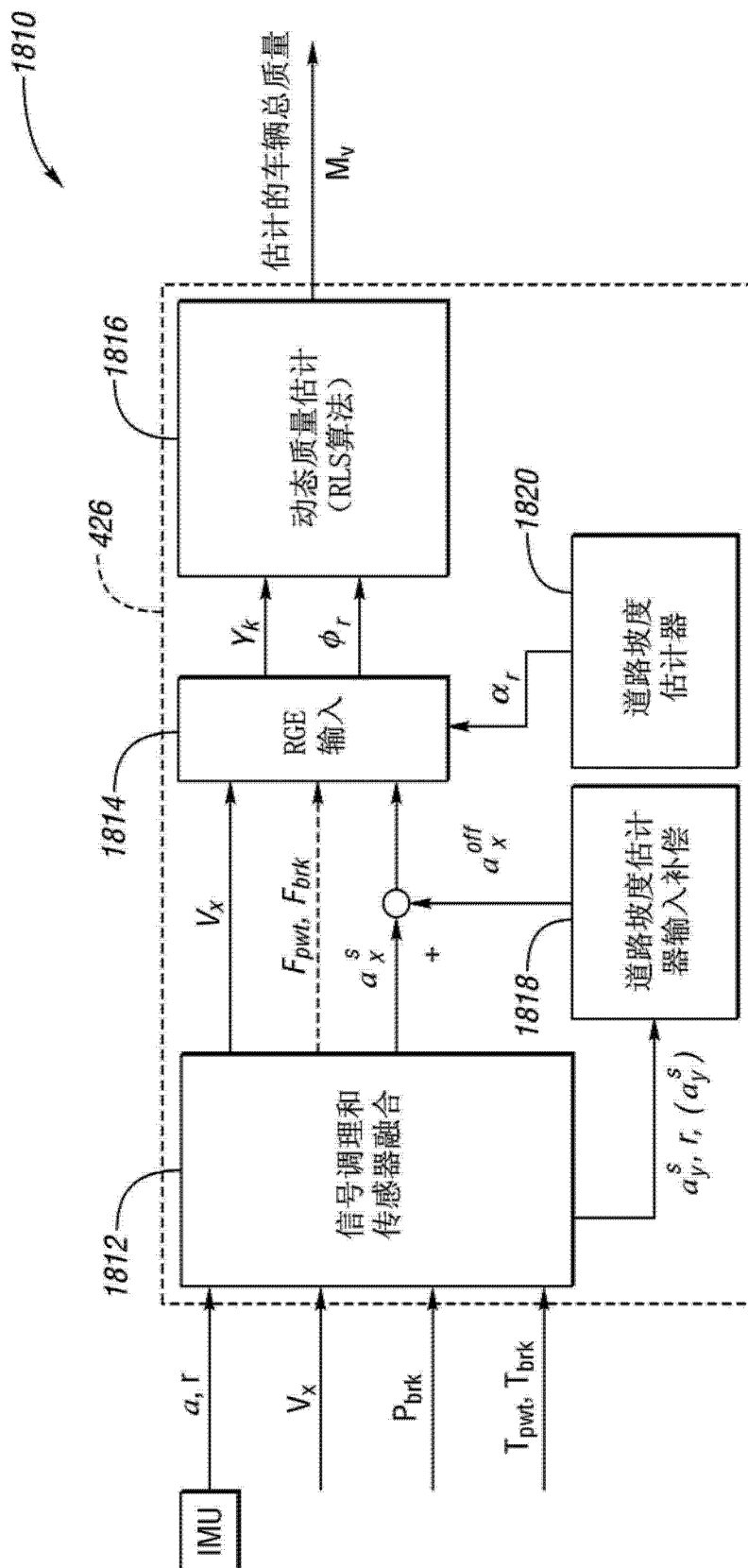


图 18

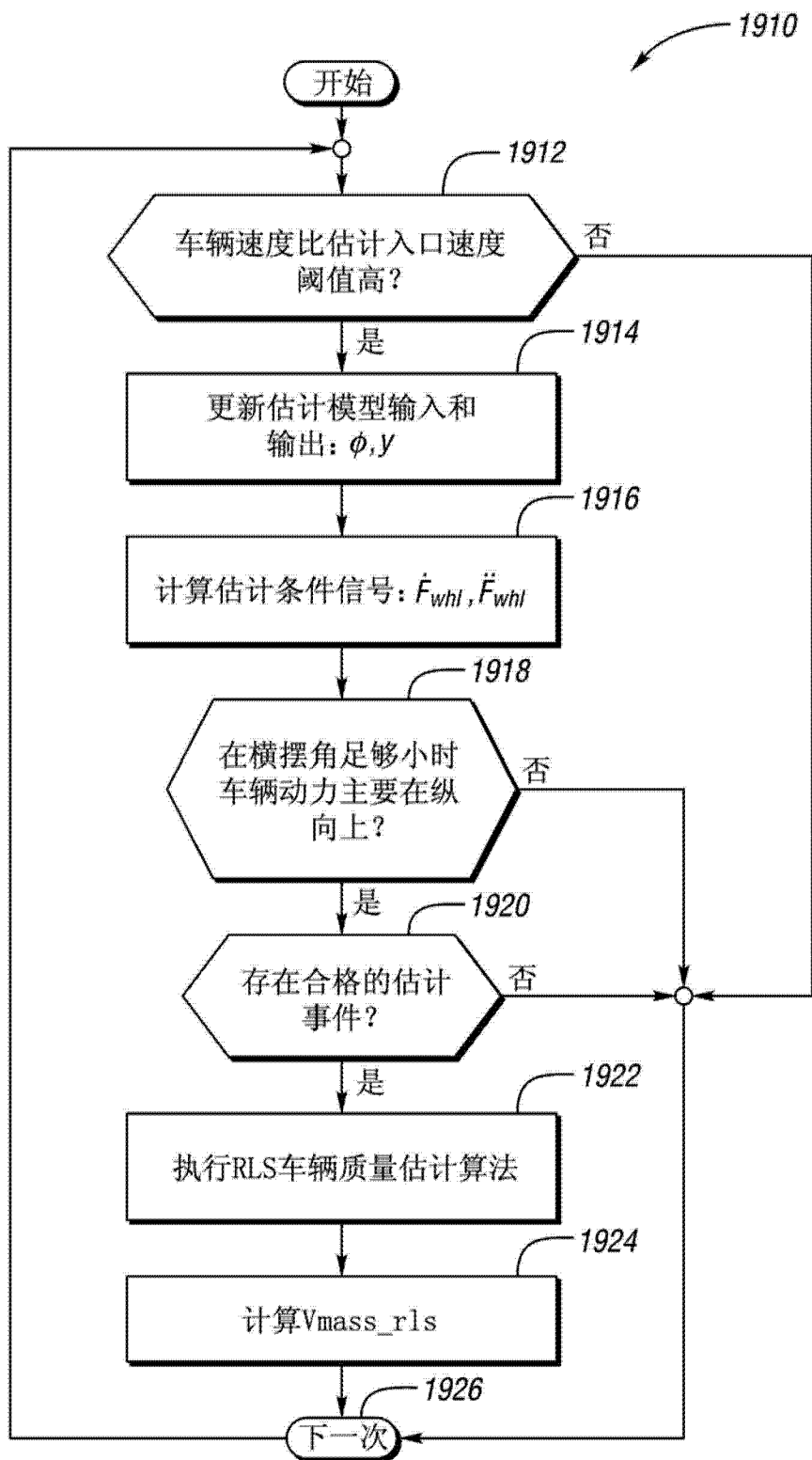


图 19

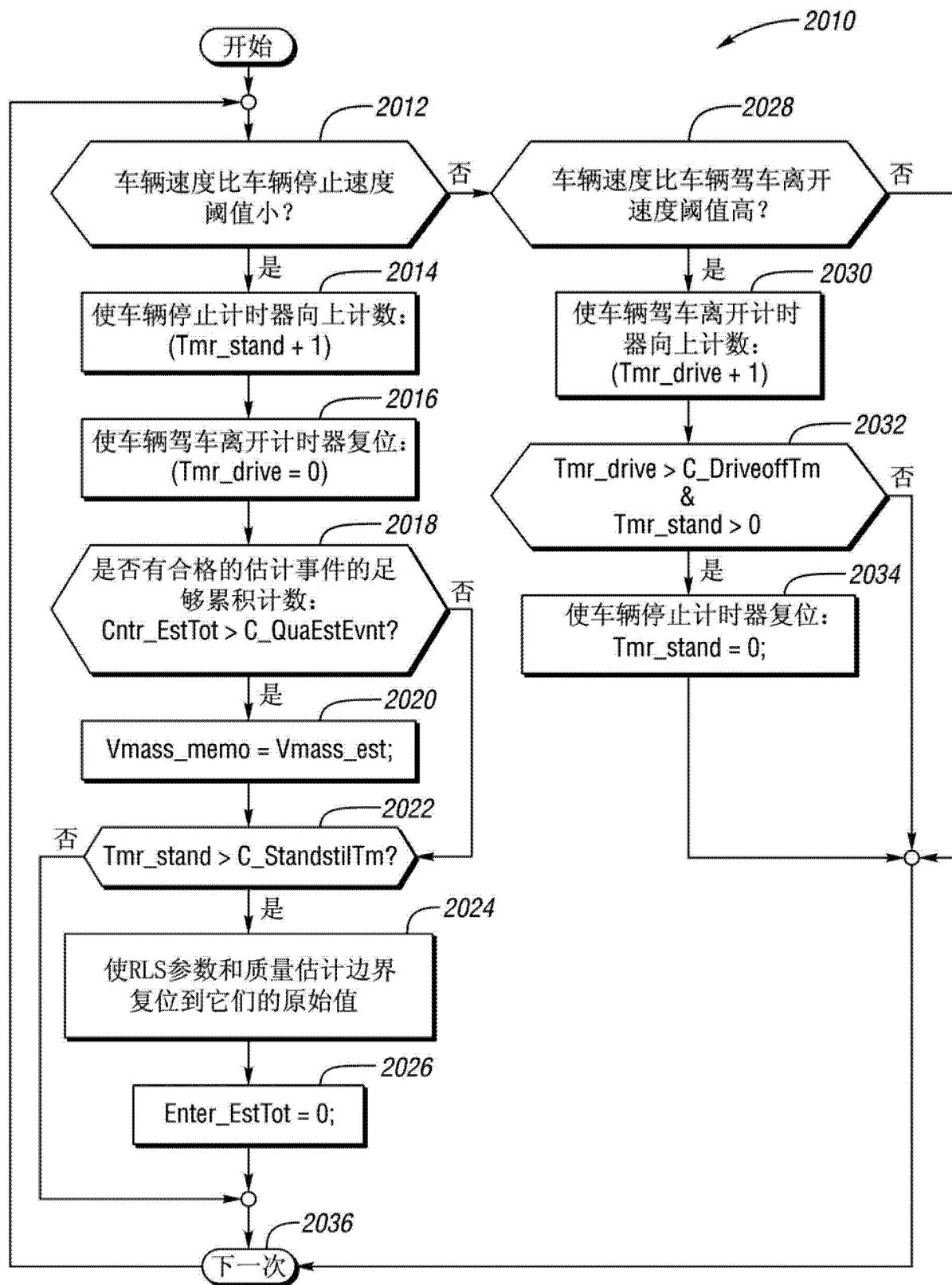


图 20

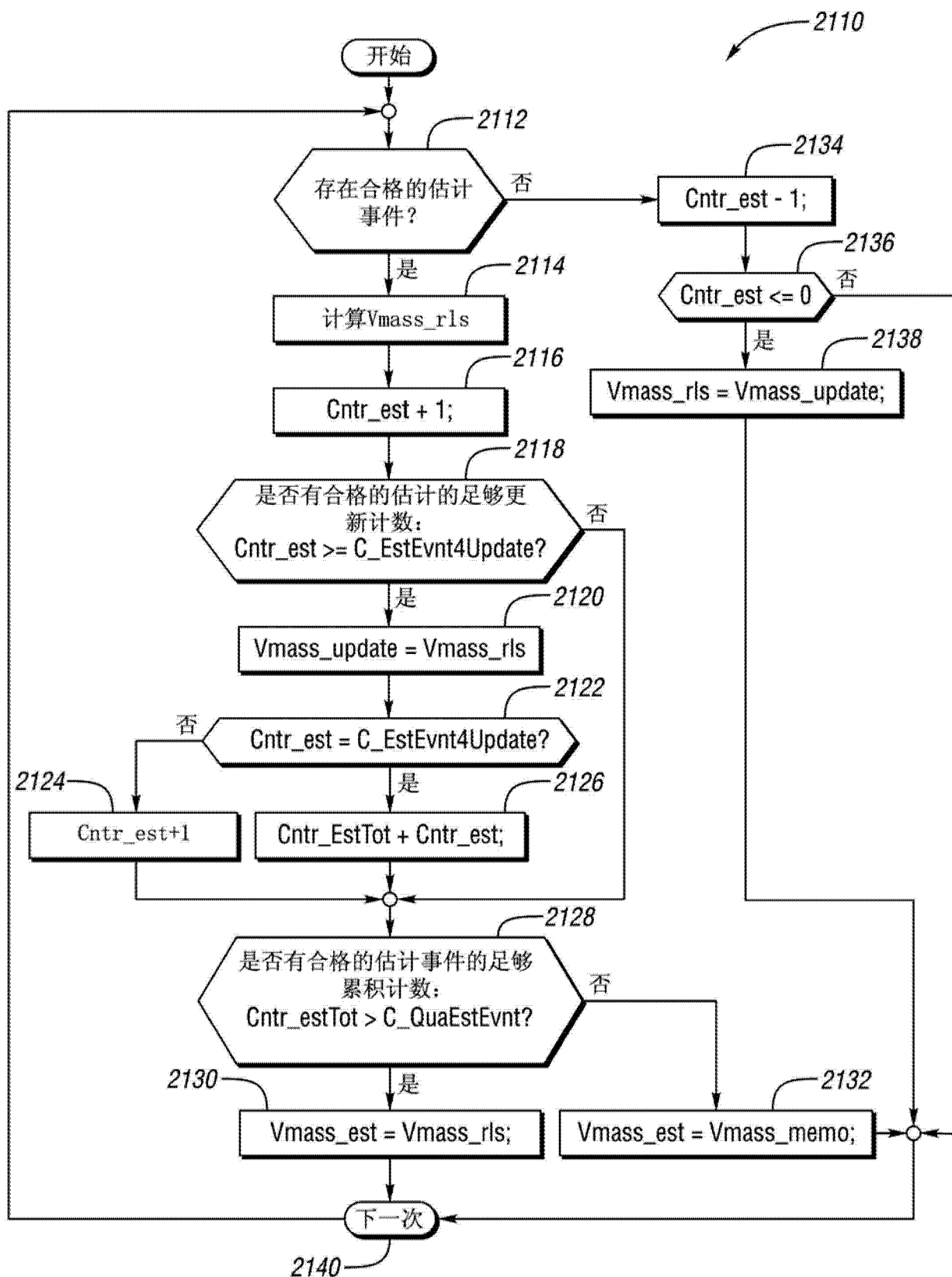


图 21

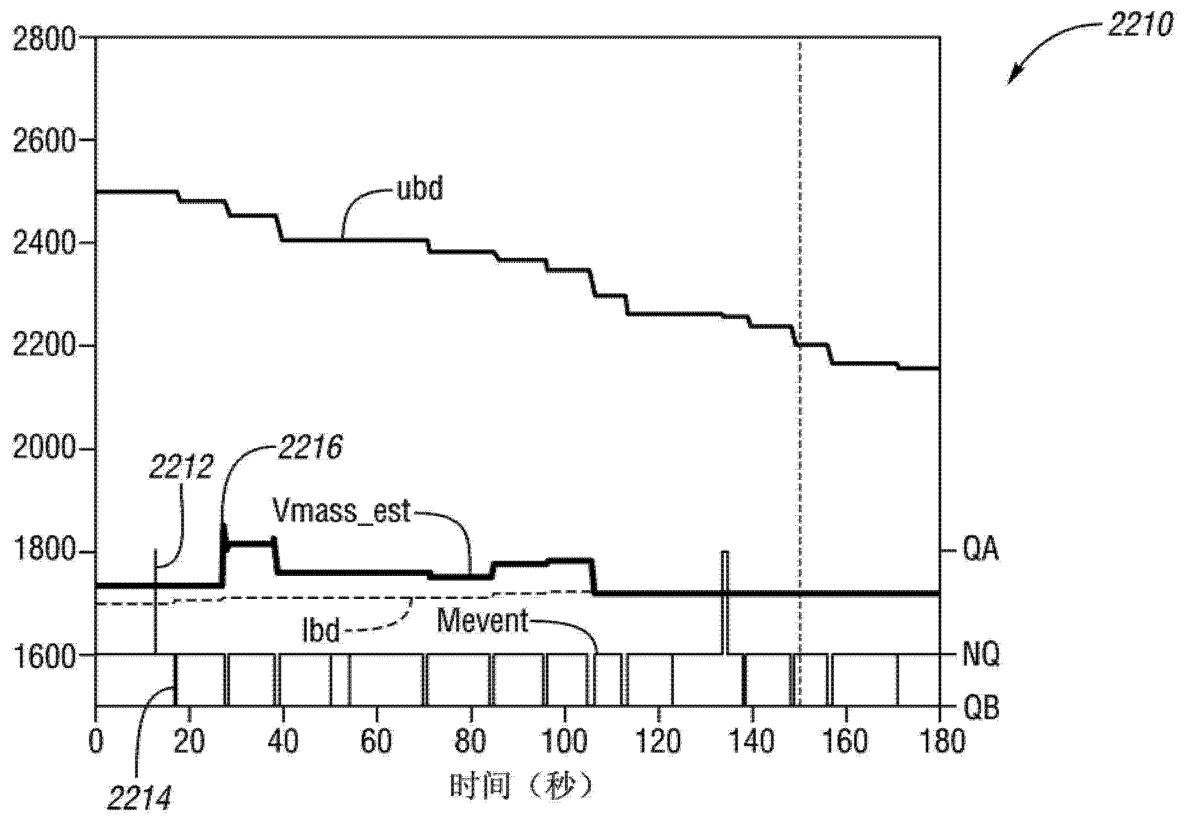


图 22

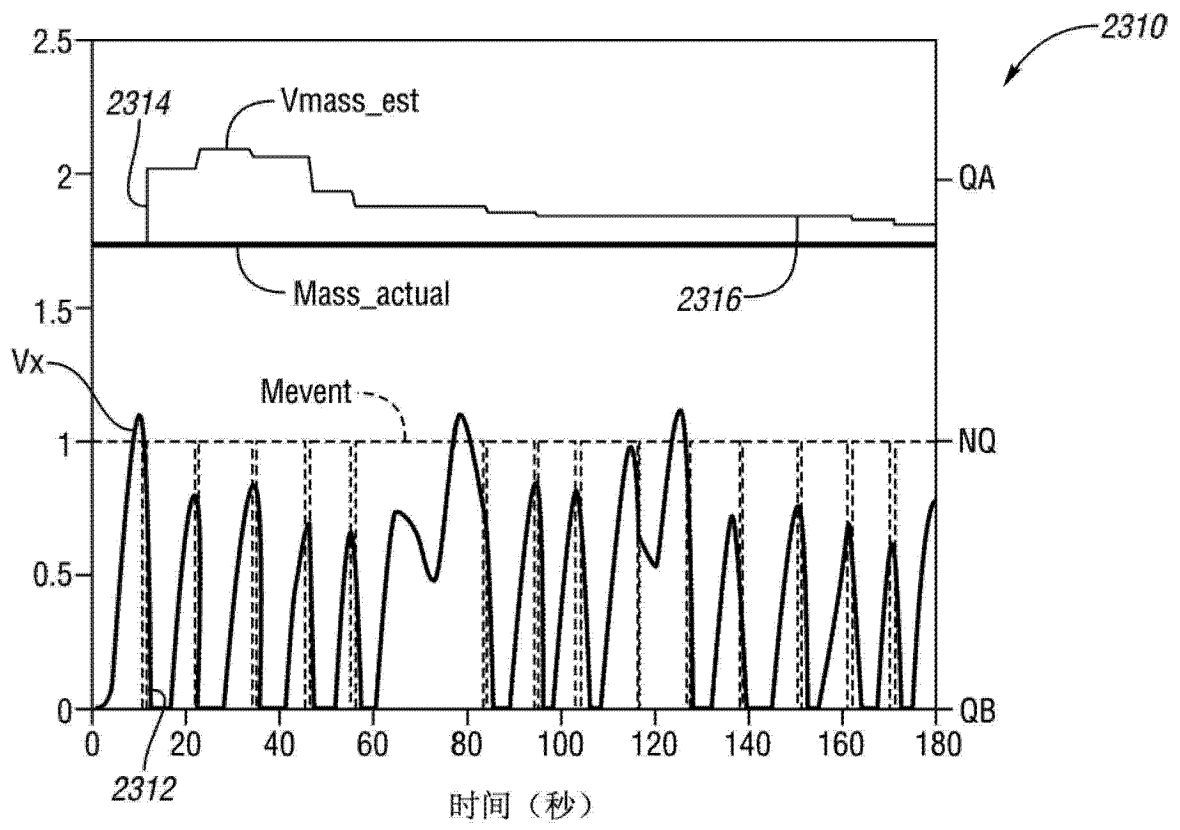


图 23

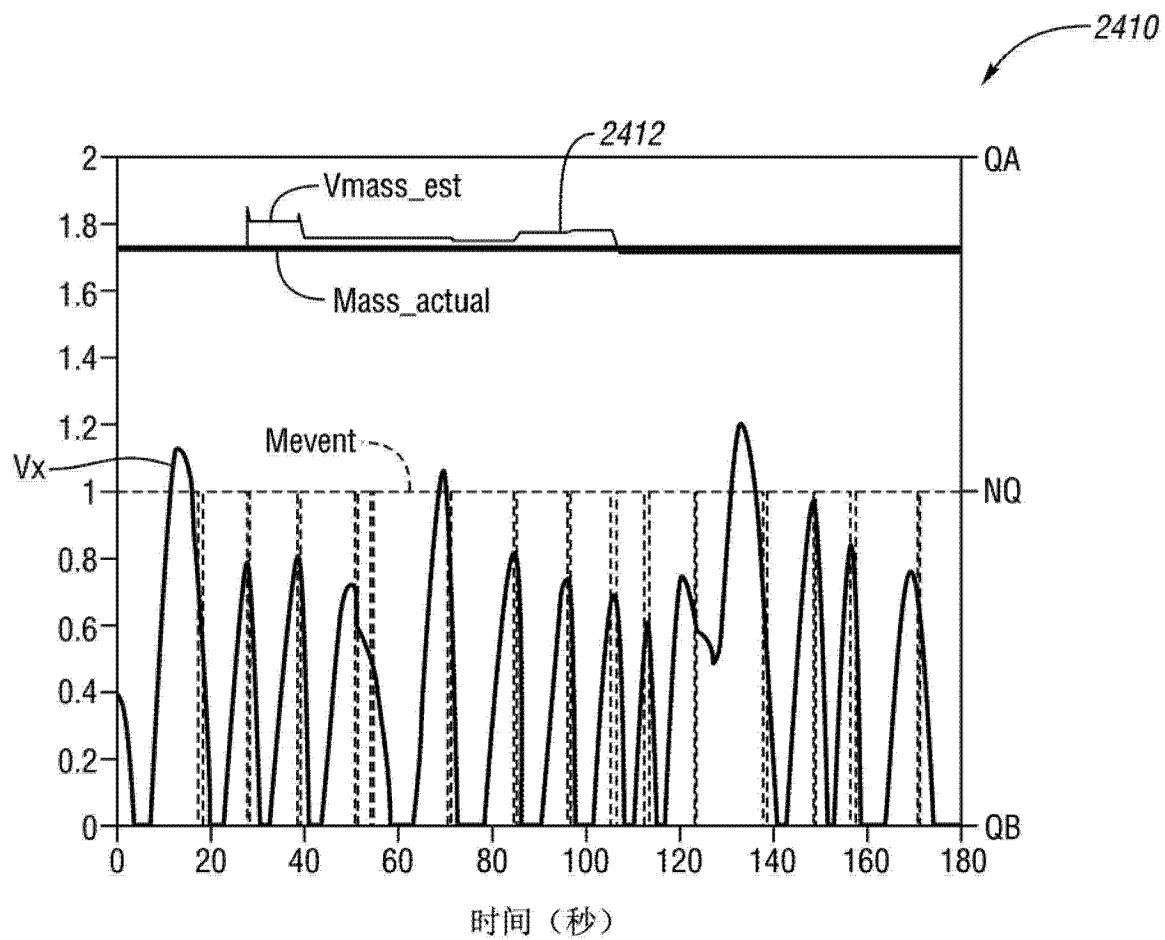


图 24

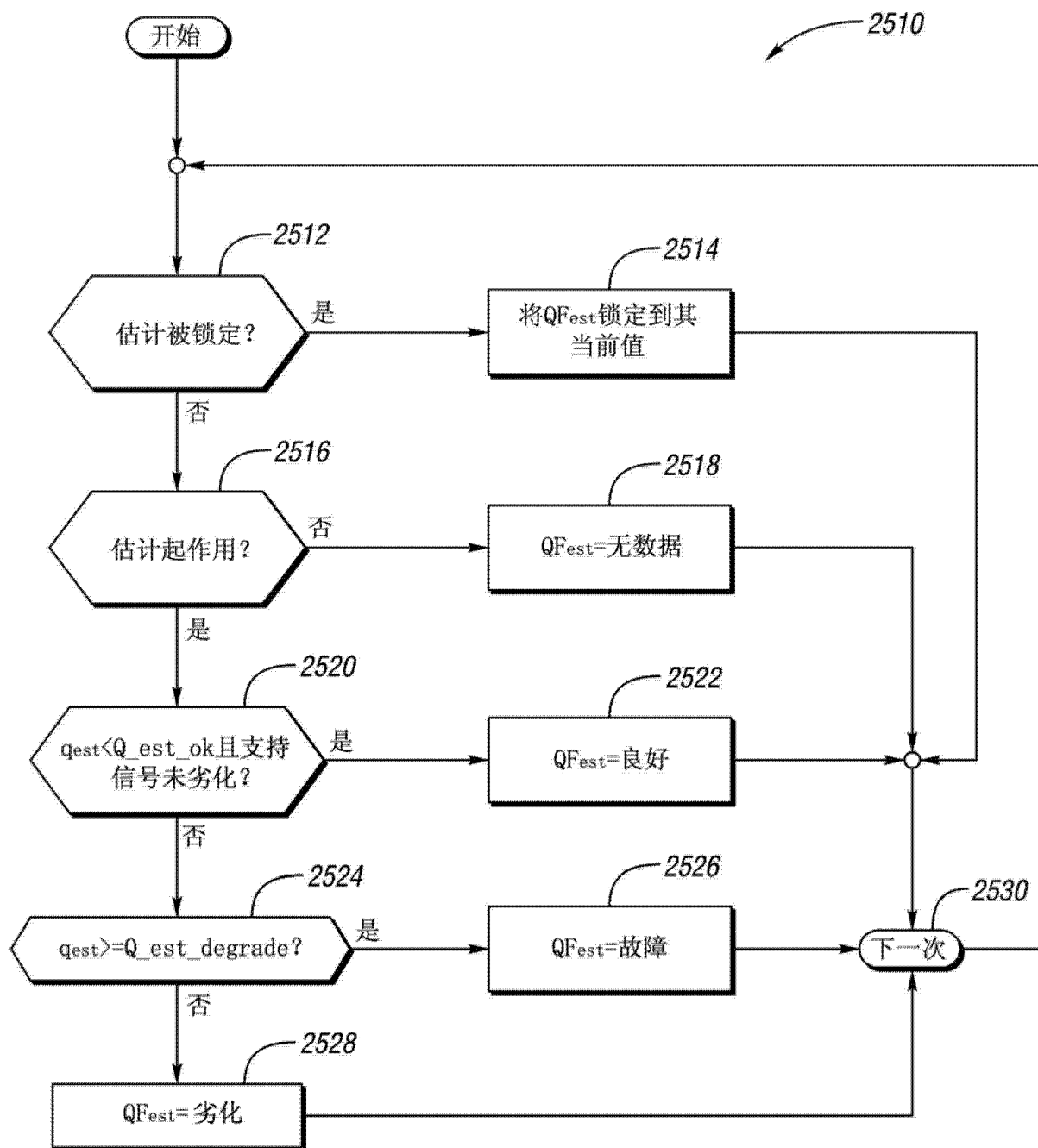


图 25

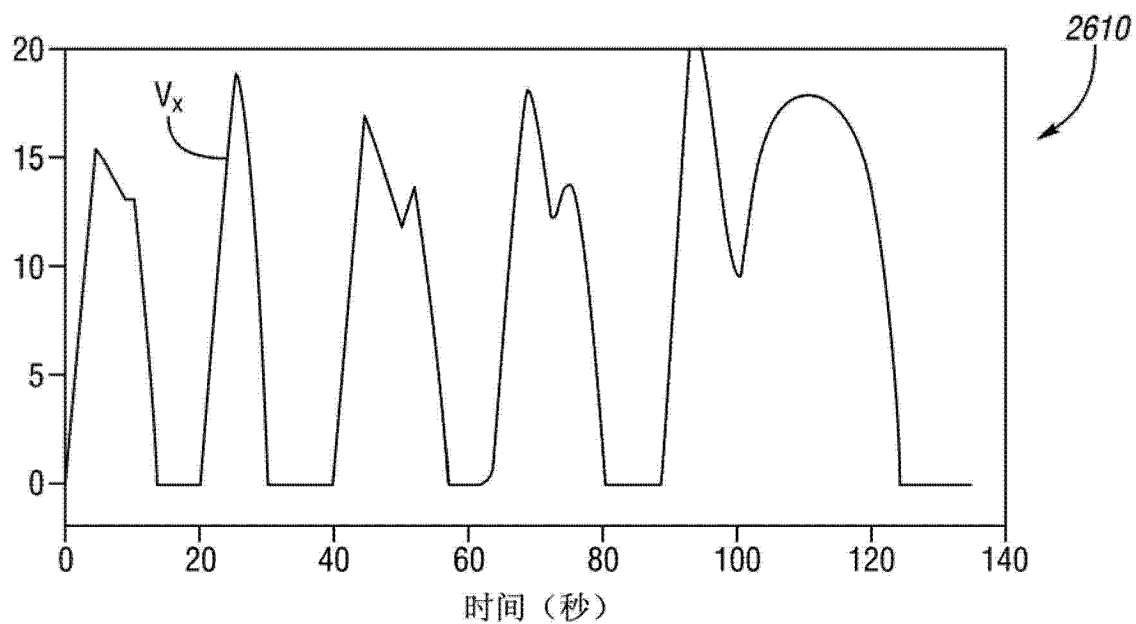


图 26A

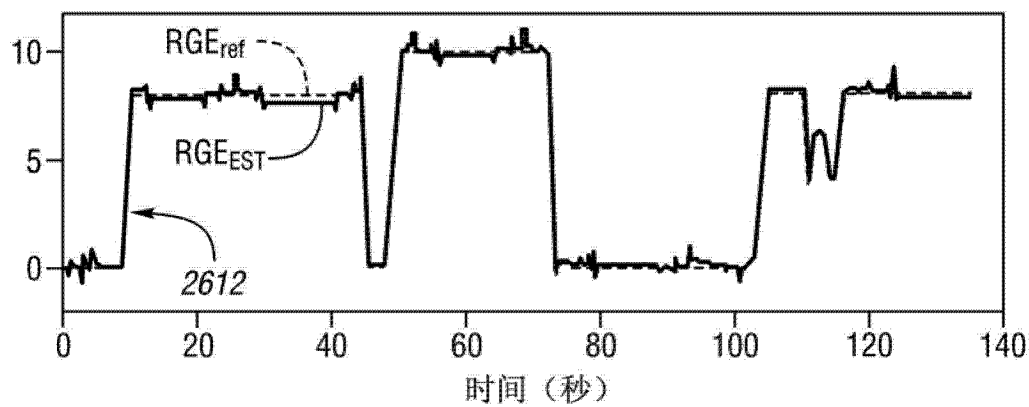


图 26B

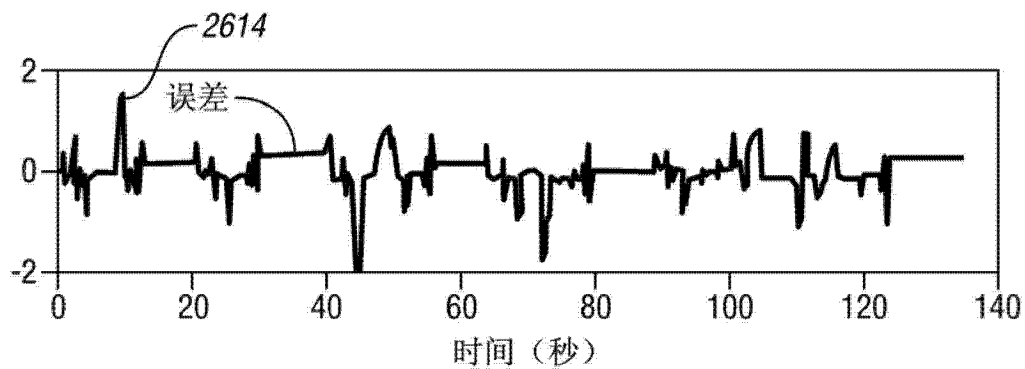


图 26C

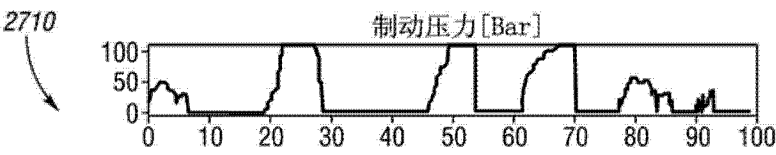


图 27A

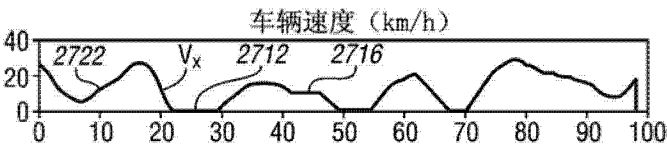


图 27B

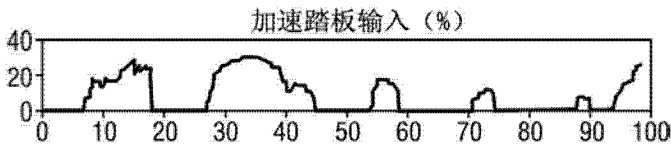


图 27C

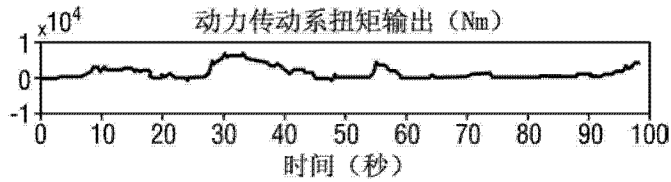


图 27D

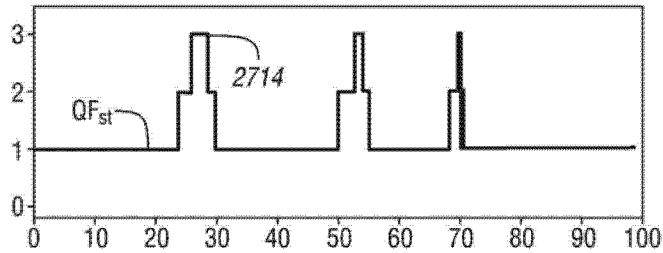


图 27E

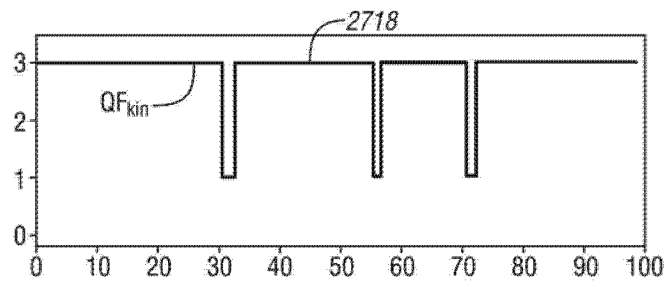


图 27F

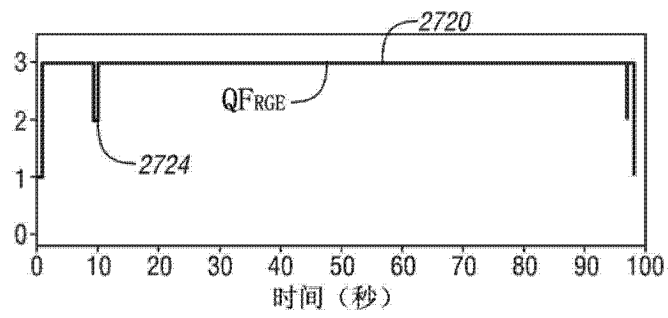


图 27G