



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102186693 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 03

(21) 申请号 200980141257. 6

(56) 对比文件

(22) 申请日 2009. 10. 30

US 2006/0208564 A1, 2006. 09. 21,

(30) 优先权数据

US 2008/0147277 A1, 2008. 06. 19, 摘要、说
明书第 0018-0057 段、附图 1.

61/109, 584 2008. 10. 30 US

US 2008/0147277 A1, 2008. 06. 19, 摘要、说
明书第 0018-0057 段、附图 1.

(85) PCT 国际申请进入国家阶段日

US 2006/0109094 A1, 2006. 05. 25,

2011. 04. 15

EP 1695859 A1, 2006. 08. 30, 摘要 .

(86) PCT 国际申请的申请数据

审查员 李红梅

PCT/US2009/062698 2009. 10. 30

(87) PCT 国际申请的公布数据

W02010/062671 EN 2010. 06. 03

(73) 专利权人 福特全球技术公司

地址 美国密歇根州

(72) 发明人 迪米塔·彼特诺夫·菲利夫 陆建波
夸库·O·普拉卡-阿桑特 曾福林

(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 郭鸿禧 金光军

(51) Int. Cl.

B60K 28/16 (2006. 01)

权利要求书2页 说明书17页 附图17页

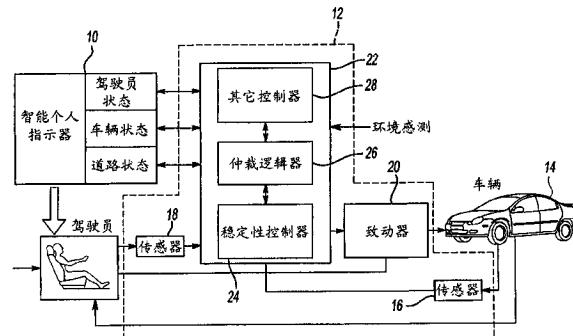
(54) 发明名称

车辆以及提醒车辆的驾驶员的方法

(57) 摘要

一种用于提醒车辆的驾驶员的方法可包括：

测量表示车辆的当前操纵条件和车辆的极限操纵
条件的多个参数；确定车辆的当前操纵条件和车
辆的极限操纵条件之间的余量；如果余量超出预
定阈值，则在车辆达到极限操纵条件之前对驾驶
员发起警报。



1. 一种车辆,包括:

电子稳定性控制系统、防抱死制动系统和牵引力控制系统中的至少一个;多个传感器,被配置为测量表示车辆的当前操纵条件和车辆的极限操纵条件的参数,其中,每个参数具有限定死区区间的上死区阈值和下死区阈值,测量的参数可在所述电子稳定性控制系统、防抱死制动系统和牵引力控制系统中的至少一个未被启动的情况下落入该死区区间内;

至少一个计算装置,与所述传感器相关联地操作并被配置为:(i)针对每个参数,确定该参数与所述参数的上死区阈值和下死区阈值中的至少一个之间的归一化差;(ii)识别所述归一化差的最小值;(iii)如果所述归一化差的最小值超出所述死区区间内的预定阈值,则对车辆的驾驶员发起警报,

其中,所述传感器包括横摆角速度传感器、转向角传感器、横向加速度传感器、纵向加速度传感器、轮速传感器和制动压力传感器中的至少一个。

2. 如权利要求1所述的车辆,该车辆还包括触觉踏板,其中,对车辆的驾驶员发起警报包括启动触觉踏板。

3. 如权利要求1所述的车辆,该车辆还包括与所述至少一个计算装置相关联地操作的音频驾驶员交界面、视频驾驶员交界面和触觉驾驶员交界面中的至少一个,其中,对车辆的驾驶员发起警报包括启动所述音频驾驶员交界面、视频驾驶员交界面和触觉驾驶员交界面中的至少一个。

4. 如权利要求1所述的车辆,其中,所述计算装置还被配置为对所述归一化差的最小值进行低通滤波。

5. 一种用于提醒车辆的驾驶员的方法,该方法包括:

测量表示车辆的当前操纵条件和车辆的极限操纵条件的多个参数;

确定车辆的当前操纵条件和车辆的极限操纵条件之间的余量;

如果余量超出预定阈值,则在车辆达到极限操纵条件之前对驾驶员发起警报,

其中,所述参数包括横摆角速度、转向角、横向加速度、纵向加速度、轮速和制动压力中的至少一种,

其中,每个参数具有限定死区区间的上死区阈值和下死区阈值,测量的参数可在未启动电子稳定性控制、防抱死制动或牵引力控制的情况下落入该死区区间内。

6. 如权利要求5所述的方法,其中,确定车辆的当前操纵条件和车辆的极限操纵条件之间的余量包括:针对每个测量的参数,确定该测量的参数与该测量的参数的上死区阈值和下死区阈值中的至少一个之间的归一化差。

7. 如权利要求6所述的方法,其中,确定车辆的当前操纵条件和车辆的极限操纵条件之间的余量包括:识别所述归一化差的最小值。

8. 如权利要求7所述的方法,其中,确定车辆的当前操纵条件和车辆的极限操纵条件之间的余量包括:对所述归一化差的最小值进行低通滤波。

9. 如权利要求5所述的方法,其中,对驾驶员发起警报包括启动触觉踏板。

10. 如权利要求5所述的方法,其中,所述警报是音频警报、视频警报和触觉警报中的至少一种。

11. 如权利要求5所述的方法,其中,所述警报是语音警报。

12. 如权利要求5所述的方法,还包括基于所述余量表征驾驶员对车辆的动态控制。

13. 如权利要求 12 所述的方法,还包括基于所述表征来改变所述预定阈值。

14. 一种机动车辆,包括:

电子稳定性控制系统、防抱死制动系统和牵引力控制系统中的至少一个;至少一个计算装置,被配置为在所述电子稳定性控制系统、防抱死制动系统和牵引力控制系统中的至少一个基于车辆的当前操纵条件和车辆的极限操纵条件之间的余量启动之前对驾驶员发起警报,

其中,所述至少一个计算装置进一步被配置为接收表示车辆的当前操纵条件和车辆的极限操纵条件的多个参数的值,

其中,所述参数包括横摆角速度、转向角、横向加速度、纵向加速度、轮速和制动压力中的至少一种,

其中,每个参数具有限定死区区间的上死区阈值和下死区阈值,测量的参数可在所述电子稳定性控制系统、防抱死制动系统和牵引力控制系统中的至少一个未被启动的情况下落入该死区区间内。

15. 如权利要求 14 所述的机动车辆,还包括驾驶员交界面,该驾驶员交界面与所述至少一个计算装置相关联地操作,其中,对驾驶员发起警报包括启动驾驶员交界面。

车辆以及提醒车辆的驾驶员的方法

[0001] 本申请要求于 2008 年 10 月 30 日提交的第 61/109,584 号美国临时申请的权益，该申请的全部内容通过引用被包含于此。

背景技术

[0002] 路面碰撞中 45% 至 75% 是驾驶员失误造成的，并且驾驶员失误也是造成所有碰撞中大部分碰撞的主因。

[0003] 车道偏离报警 (Lane-Departure Warning, LDW) 使用视觉传感器来检测车辆相对于车道的位置，并警告驾驶员出现了意外的车道偏离。特定的前向碰撞报警 (Forward Collision Warning, FCW) 系统使用环境传感器来检测车辆前方的安全隐患，并提前警告驾驶员。然而，这些现有的驾驶员报警系统是在稳定状态或准稳定状态的驾驶条件期间操作的。

发明内容

[0004] 一种机动车辆可包括电子稳定性控制系统、防抱死制动系统和牵引力控制系统中的至少一个以及至少一个计算装置。所述至少一个计算装置可被配置为在所述电子稳定性控制系统、防抱死制动系统和牵引力控制系统中的至少一个基于车辆的当前的操纵条件和极限操纵条件之间的余量启动之前对驾驶员发起警报。

[0005] 虽然示出和公开了根据本发明的示例性实施例，但是这样的公开不应当被解释为限制本发明。在不脱离本发明的范围的情况下可期望作出各种变型和替代设计。

附图说明

[0006] 图 1 是车辆控制系统的实施例的框图。

[0007] 图 2 是示例性的车辆速度曲线、牵引力曲线和制动曲线的图。

[0008] 图 3A 至图 3C 是示例性车辆运动状态 (横摆角速度 (yaw rate) 和侧偏角 (sideslip angle)) 的图。

[0009] 图 4A 至图 4C 是示例性横摆操纵极限余量、纵向操纵极限余量和侧滑操纵极限余量的图。

[0010] 图 5 是示例性的车辆速度曲线、牵引力曲线和制动曲线的图。

[0011] 图 6A 至图 6C 是示例性车辆运动状态 (横摆角速度和侧偏角) 的图。

[0012] 图 7A 至图 7C 是示例性横摆操纵极限余量、纵向操纵极限余量和侧滑操纵极限余量的图。

[0013] 图 8 是基于操纵风险因子表征四种驾驶员类别的示例性隶属函数的图。

[0014] 图 9A、图 10A 和图 11A 是示例性的最终的操纵极限余量和风险的图。

[0015] 图 9B、图 10B 和图 11B 是驾驶员风格的示例性概率的图。

[0016] 图 12 是平稳的驾驶行为和莽撞的驾驶行为的示例性行列式值 (determinant) 的图。

- [0017] 图 13A 和图 13B 分别是激进型驾驶和谨慎型驾驶的示例性平均间隔时间的图。
- [0018] 图 14A 和图 14B 分别是激进型驾驶和谨慎型驾驶的加速踏板变化率的示例性标准偏差的图。
- [0019] 图 15A 和图 15B 分别是激进型驾驶和谨慎型驾驶的制动踏板变化率的示例性标准偏差的图。
- [0020] 图 16A 和图 16B 分别是激进型驾驶和谨慎型驾驶的示例性驾驶员指数的图。
- [0021] 图 17 是针对激进型驾驶的在前一车辆和跟随车辆之间的示例性相对距离、距离误差和纵向加速度的图。
- [0022] 图 18 是选择表征图 17 中的激进型驾驶的示例性参数的图。
- [0023] 图 19 是针对谨慎型驾驶的在前一车辆和跟随车辆之间的示例性相对距离、距离误差和纵向加速度的图。
- [0024] 图 20 是选择表征图 19 中的谨慎型驾驶的示例性参数的图。
- [0025] 图 21 至图 23 是驾驶员提醒系统的实施例的框图。

具体实施方式

[0026] I. 简介

[0027] 现有的车辆电子控制系统的目地是通过识别驾驶员意图并通过控制车辆来辅助驾驶员安全、稳健和平稳地实现驾驶员的意图而使得驾驶任务变得容易。当驾驶员和电子控制系统作为系统朝着避免发生事故的同一目标共同努力并使得驾驶员在环 (driver-in-the-loop) 车辆的避免发生事故的能力最大化时, 电子控制系统的控制有效性会显著增加。实现该目标的一种途径是给驾驶员及时提供清楚和明晰的提示信息, 这样, 负责任的驾驶员可据此做出响应。这种提示信息可由通常存在于车辆上的传感器计算或采集而来, 这实现了驾驶员和电子控制之间的双向闭环控制。电子控制遵循驾驶员的意图, 而驾驶员响应于来自电子控制的提示信息来修正其驾驶输入 (例如, 松开油门 (drop throttle)、减少转向输入等)。这样, 驾驶员和电子控制系统之间的无缝配合成为可能, 并且这种无缝配合能使由于驾驶员失误造成安全隐患的影响最小化。

[0028] 除此之外, 我们考虑靠近操纵极限发出警报、车辆的稳定性控制通常介入的驾驶条件或操纵条件。除了在操纵极限附近所遇到的问题之外, 在此讨论的驾驶员提醒系统方式还可用于提高燃油经济性, 即, 在此讨论的驾驶员提醒系统方式也可被用作一种可利用建议和 / 或教导来帮助驾驶员学习节约燃油的驾驶习惯的系统。我们还讨论了当车辆接近操纵极限时使用来自于车辆稳定性控制器的数据来提供实时警告。这可以是警告功能集 (警告功能集可被定义为智能个人指示器 (IPM) 系统) 的一部分。总体来说, 可通过各种装置 (包括触觉踏板、平视显示器、音频警告装置、语音系统等) 发送 IPM 系统计算的信息 (intelligence) 来警告或建议驾驶员。

[0029] 图 1 描绘了 IPM 系统 10 的实施例与车辆 14 的其它组件 / 子系统 12 的相互作用。所述其它组件 / 子系统 12 可包括车辆传感器 16、18 (例如, 横摆角速度传感器、转向角传感器、横向加速度传感器、纵向加速度传感器、轮速传感器、制动压力传感器等)、致动器 20 以及一个或多个控制器 22。所述一个或多个控制器 22 可包括稳定性控制器 24、仲裁逻辑器 26 和其它控制器 / 系统 28 (例如, 防抱死制动系统、牵引力控制系统等)。

[0030] 对于任何控制系统,工厂模型 (plant model) 在设计有效的控制策略方面都可起作用。类似地,驾驶员模型对于产生有效的和合适的驾驶员提醒信号很重要。因此,会需要驾驶风格表征。我们讨论基于他或她的车辆操纵能力来识别驾驶员的特性的方法。虽然已经研究了驾驶员建模和驾驶员行为表征,但是我们提出(例如)可基于接近操纵极限的驾驶频率和驾驶持续时间来推断出驾驶行为 / 风格和 / 或驾驶经验级别的途径(以及其它技术)。可在各种应用中使用这种驾驶员表征信息,下面讨论一些应用。

[0031] II. 车辆稳定性控制的简要讨论

[0032] 车辆的操纵决定车辆的转弯能力和机动能力。为了使车辆的操纵能力最大化,车辆需要利用其四个轮胎接地附于道路上。超过其附着力极限的轮胎会打转、打滑或滑动。一个或多个轮胎超过其附着力极限的条件可被称为极限操纵条件,附着力极限可被称为操纵极限。一旦轮胎达到其操纵极限,一般的驾驶员通常就不能掌控了。在所谓的转向不足的情况下,汽车执行驾驶员的转向输入不足,其前轮胎超过操纵极限,车辆不顾驾驶员的转向请求继续直行。在所谓的转向过度的情况下,汽车执行驾驶员的转向输入过度,其后轮胎超过操纵极限,车辆持续打转。为了安全目的,大多数车辆在其操纵极限处都被设为转向不足。

[0033] 为了在驾驶员在操纵极限或超过操纵极限时不能控制车辆的情况下补偿车辆控制,电子稳定性控制 (ESC) 系统被设计成重新分配轮胎力,以产生与驾驶员的转向请求一致的可有效地转动车辆的力矩。即,控制车辆以避免转向不足和转向过度的情况。

[0034] 自从 1995 年面世以来,ESC 系统已经在各种平台中得以实现。在 2010 年款期间的逐渐采用和实现 2012 年款的完全安装,联邦机动车安全标准 126 要求任意车辆上的 ESC 系统均具有 10000lb 以下的额定总重量。ESC 系统可被实现为防抱死制动系统 (ABS) 和全速牵引力控制系统 (TCS) 的扩展。ESC 系统可提供有助于以驾驶员的意图为中心的车辆动力学的横摆和横向稳定性。ESC 系统还可使分配到各个车轮的制动压力(在驾驶员施加的压力之上或之下)均衡,以产生主动力矩来应对车辆意外的横摆和横向滑动运动。这使得在制动、加速或溜车期间对于任何牵引表面都能够加强在操纵极限的转向控制。更具体地,当前的 ESC 系统将驾驶员的预期路径与从车载传感器推断出来的实际车辆响应进行比较。如果车辆的响应与预期路径不同(转向不足或转向过度),则若需要将车辆保持在预期路径上并使得车辆的失控最小化,那么 ESC 控制器将制动施加于选择的车轮上并减小发动机扭矩。

[0035] 可使用 ESC 系统中已有的数据来检测极限操纵条件,从而可不需要新的传感器。例如,考虑配备有 ESC 系统的车辆,所述 ESC 系统使用横摆角速度传感器、方向盘传感器、横向加速度计、轮速传感器、主缸制动压力传感器、纵向加速度计等。如 ISO-8855 中所定义的,在坐标系中定义车辆运动变量,其中,在车身上固定的框架具有向上的竖轴,沿着车身纵向的纵轴,从乘客侧指向驾驶员侧的横轴。

[0036] 总体来说,车辆级别反馈控制可由各个运动变量(例如,横摆角速度、侧偏角或其组合)与其它控制命令(例如,驾驶员制动、发动机扭矩请求、ABS 和 TCS)中的仲裁一起计算而来。下面讨论车辆级别控制命令。

[0037] 公知的自行车模型获取车辆动力学、沿着车身的竖轴的横摆角速度 ω_z 以及在其后轴上定义的侧偏角 β_r ,并满足下面的等式,

[0038] $I_z \dot{\omega}_z = -b_f c_f (\beta_r + b \omega_z v_x^{-1} - \delta) + b_r c_r \beta_r + M_z$

[0039]

$$M(\dot{v}_x \beta_r + v_x \dot{\beta}_r + b_r \dot{\omega}_z + \omega_z v_x) = -c_f (\beta_r + b \omega_z v_x^{-1} - \delta) - c_r \beta_r \quad (1)$$

[0040] 其中, v_x 是车辆的行驶速度, M 和 I_z 是车辆的总重量和横摆转动惯量, c_f 和 c_r 是前轮胎和后轮胎的侧偏刚度 (cornering stiffness), b_f 和 b_r 是从车辆的重心到前轴和后轴的距离, $b = b_f + b_r$, M_z 是施加到车辆的主动力矩, δ 是前轮转向角。

[0041] 用于反映驾驶员的转向意图的目标横摆角速度 ω_{zt} 和目标侧偏角 β_{rt} 可利用测量的方向盘转角 δ 和估计的行驶速度 v_x 作为输入由等式 (1) 计算而来。在这样的计算中, 我们假设在表面条件正常 (例如, 具有名义侧偏刚度 c_f 和 c_r 且摩擦系数高) 的道路上驾驶车辆。还可执行针对稳定状态极限转弯的信号调节、滤波和非线性校正, 以微调目标横摆角速度和目标侧偏角。计算出的这些目标值表征驾驶员在正常路面上的期望路径。

[0042] 横摆角速度反馈控制器本质上是由横摆误差 (测量的横摆角速度和目标横摆角速度之间的差) 计算而来的反馈控制器。如果车辆左转且 $\omega_z \geq \omega_{zt} + \omega_{zdbos}$ (其中, ω_{zdbos} 是时间变化死区), 或者车辆右转且 $\omega_z \leq \omega_{zt} - \omega_{zdbos}$, 则车辆转向过度并激活 ESC 中的转向过度控制功能。例如, 可按下面的式子计算主动扭矩请求 (为减小转向过度趋势而被施加于车辆),

[0043] 在左转过程中 : $M_z = \min(0, -k_{os}(\omega_z - \omega_{zt} - \omega_{zdbos}))$

[0044]

(2)

[0045] 在右转过程中 : $M_z = \max(0, -k_{os}(\omega_z - \omega_{zt} + \omega_{zdbos}))$

[0046] 其中, k_{os} 是可按照下面的式子定义的速度相关增益,

[0047]

$$k_{os} = k_0 + (v_x - v_{xdbl}) \frac{k_{dbu} - k_{dbl}}{v_{xdbu} - v_{xdbl}} \quad (3)$$

[0048] 其中, 参数 k_0 , k_{dbl} , k_{dbu} , v_{xdbl} , v_{xdbu} 是可调的。

[0049] 如果当车辆左转时 $\omega_z \leq \omega_{zt} - \omega_{zdbus}$ (其中, ω_{zdbus} 是时间变化死区), 或者如果当车辆右转时 $\omega_z \geq \omega_{zt} + \omega_{zdbus}$, 则激活 ESC 中的转向不足控制功能。可按照下面的式子计算主动扭矩请求,

[0050] 在左转过程中 : $M_z = \max(0, -k_{us}(\omega_z - \omega_{zt} + \omega_{zdbus}))$

[0051]

(4)

[0052] 在右转过程中 : $M_z = \min(0, -k_{us}(\omega_z - \omega_{zt} - \omega_{zdbus}))$

[0053] 其中, k_{us} 是可调参数。

[0054] 侧偏角控制器是前述转向过度横摆反馈控制器的补充反馈控制器。该控制器将侧偏角估计值 β_r 与目标侧偏角 β_{rt} 相比较。如果差值超过阈值 β_{rdt} , 则激活侧偏角反馈控制。例如, 按照下面的式子计算主动扭矩请求,

[0055] 在左转过程中,

[0056] $\beta_r \geq 0 : M_z = \min(0, k_{ss}(\beta_r - B_{rt} - B_{rdt}) - k_{sscmp} \dot{\beta}_{rcmp})$

[0057] 在右转过程中,

(5)

[0058] $\beta_r < 0 : M_z = \max(0, k_{ss}(\beta_r - B_{rt} + B_{rdt}) - k_{sscmp} \dot{\beta}_{rcmp})$

[0059] 其中, k_{ss} 和 k_{sscmp} 是可调参数, $\dot{\beta}_{rcmp}$ 是侧偏角的补偿时间导数。

[0060] 可类似地产生基于变量(例如, 横摆加速度和侧偏梯度(sideslip gradient))的其他反馈控制项。当主导的车辆运动变量是横摆角速度或者侧偏角时, 可直接使用前述的主动扭矩来确定需要的控制轮和将要被传送至相应的控制轮的制动压力的量。如果车辆动力学由多个运动变量主导, 则将实施控制仲裁和确定优先级。然后, 最终仲裁的主动扭矩被用于确定最终的控制轮和相应的制动压力。例如, 在转向过度事件期间, 选择外前轮作为控制轮, 而在转向不足事件期间, 选择内后轮作为控制轮。在严重侧滑的情况下, 总是选择外前轮作为控制轮。当侧滑和转向过度横摆两者同时发生时, 可通过结合偏航误差(yaw error)和侧偏角控制命令两者来计算制动压力的量。

[0061] 除了由于驾驶员的转向操纵而超过操纵极限的上述情况之外, 车辆可在其纵向运动方向上达到其极限操纵条件。例如, 在冰雪道路上制动会导致车轮抱死, 这增加了车辆的制动距离。在类似道路上加大油门(open throttling)会导致驱动轮打转, 而车辆不向前运动。为此, 也可对这些非转向驾驶条件使用操纵极限。即, 轮胎纵向制动或驱动力达到其峰值的条件也可被包含在操纵极限的定义中。

[0062] ABS 功能监测各个车辆相对于车辆的行驶速度的旋转运动, 这可通过左前轮、右前轮、左后轮和右后轮的纵向滑移率 λ_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 来表征, λ_i 按照下面的式子计算:

$$[0063] \lambda_i = \frac{\kappa_i \omega_i}{\max((v_x + \omega_z t_f) \cos(\delta) + (v_y + \omega_z b_f) \sin(\delta), v_{min})} - 1$$

[0064]

$$\lambda_2 = \frac{\kappa_2 \omega_2}{\max((v_x + \omega_z t_f) \cos(\delta) + (v_y + \omega_z b_f) \sin(\delta), v_{min})} - 1 \quad (6)$$

$$[0065] \lambda_3 = \frac{\kappa_3 \omega_3}{\max(v_x - \omega_z t_r, v_{min})} - 1, \lambda_4 = \frac{\kappa_4 \omega_4}{\max(v_x + \omega_z t_r, v_{min})} - 1$$

[0066] 其中, t_f 和 t_r 是前轴和后轴的半轮距, ω_i 是第 i 个车轮速度传感器输出, κ_i 是第 i 个车轮速度比例因子, v_y 是车辆在其重心位置处的横向速度, v_{min} 是反映允许的最小纵向速度的预设参数。注意到等式(6)仅在车辆未处于倒车驱动模式时是有效的。当驾驶员启动的制动在车轮上产生太大滑动(例如, $\lambda_i \geq \lambda_{bp} = 20\%$)时, ABS 模块将释放该车轮上的制动压力。类似地, 在导致第 i 个从动轮上大的滑动的大油门(large throttle)应用中, TCS 模块将请求降低发动机扭矩和 / 或将制动压力施加到同一轴上的相对车轮。因此, ABS 或 TCS 的激活可通过监测 λ_i 接近 λ_{bp} 和 λ_{tp} 的程度来预测。

[0067] III 操纵极限指示器

[0068] 前述 ESC(包括 ABS 和 TCS)在实现其安全目标方面是有效的, 然而进一步加强也是可能的。例如, ESC 系统的扩展可期望用于侧倾稳定性控制。然而, ESC 试图进行的合适的校正可能会被驾驶员或环境条件所抵消。即使有 ESC 介入, 轮胎力远远超过轮胎和道路的牵引能力的超速行驶车辆也可能无法避免转向不足事故。

[0069] 我们引入了驾驶员和 ESC 系统的整合, 从而它们可朝着加强驾驶员在环系统的控制性能的方向协同地工作。在特定的实施例中, 提出的操纵极限指示器(HLM)确定当前的驾驶条件接近操纵极限的程度。

[0070] 总体来说, 操纵极限条件的精确确定将涉及道路和轮胎特性的直接测量或者来自

于许多相关变量的非常密集的信息（如果直接测量不可行）。目前，这两种方法对于实时实现而言都不够成熟。

[0071] 由于其反馈特征，所以 ESC 系统可被配置为通过监测车辆的运动变量（例如，在上一节中所描述的那些）来确定可能的极限操纵条件。当运动变量偏离其参考值预定量时（例如，超过特定的死区），ESC 系统可开始计算差动制动控制命令并确定控制轮。然后，相应的制动压力被传送到控制轮以使车辆稳定。ESC 激活的起始点可被认为是操纵极限的开始。

[0072] 更具体地讲，我们可在下面的式子中定义相对操纵极限余量 h_x ，

$$h_x = \begin{cases} \frac{\bar{x} - x}{\bar{x}} & \text{如果 } 0 \leq x \leq \bar{x} \\ \frac{x - \underline{x}}{\underline{x}} & \text{如果 } \underline{x} \leq x < 0 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (8)$$

[0073] 其中， x 是运动变量与其参考值的偏差， $[\underline{x}, \bar{x}]$ 定义在未启动 ESC、ABS 或 TCS 时 x 所落入的死区区间。 x 可以是在上一节中限定的任何控制变量（或任何其它合适的控制变量）。

[0074] 在式子 (8) 中定义的 h_x 的好处是驾驶条件可被量化地表征成不同的类别。例如，当 $h_x \leq 10\%$ 时，驾驶条件可被归类为驾驶员需要特别注意或者需要采取特别行动（例如，使车辆慢下来）的红区条件；当 $10\% < h_x < 40\%$ 时，驾驶条件可被归类为驾驶员需要一定程度的特别注意的黄区条件；当 $40\% < h_x \leq 100\%$ 时，驾驶条件可被归类为正常条件。在正常条件下，驾驶员仅需要保持其正常的驾驶注意力。当然，也可使用其它范围。

[0075] 可激活各种听得见的和 / 或看得见的警报来警告驾驶员关于操纵极限余量。例如，当 $h_x \leq 10\%$ 时，可启动警告灯 / 触觉装置来通知驾驶员他们需要慢下来。或者，语音激活的显示系统可指导驾驶员采取特别行动。当 $10\% < h_x < 40\%$ 时，听得见的语调或显示可知通知驾驶员他们正在接近不稳定的驾驶条件等。

[0076] 更具体地讲，让我们使用在上一节中计算出来的控制变量来讨论 h_x 的计算。在转向过度情况下的车辆的横摆操纵极限余量 h_{os} （其中，当车辆向左转时， $\omega_z > \omega_{zt}$ ；当车辆向右转时， $\omega_z > \omega_{zr}$ ）可通过设置 $x = \omega_z - \omega_{zt}$ 和 $\bar{x} = \omega_{zdbos} = -x$ 由式子 (8) 计算得来，其中， ω_{zdbos} 是在式子 (2) 中定义的转向过度横摆角速度死区。

[0077] 类似地，可通过设置 $x = \omega_z - \omega_{zt}$ 和 $\bar{x} = \omega_{zdbus} = -x$ 由式子 (8) 计算出针对转向不足情况的车辆的横摆操纵极限 h_{us} ，其中， ω_{zdbus} 是在式子 (4) 中定义的转向不足横摆角速度死区。注意上述死区可以是车辆速度、目标横摆角速度的幅值、测量的横摆角速度的幅值等的函数。转向不足情况 ($x < 0$) 和转向过度情况 ($x > 0$) 的死区不同，并且它们是可调的参数。

[0078] 车辆的侧滑操纵极限余量 h_{ssra} 可通过设置 $x = \beta_r - \beta_{rt}$ 和 $\bar{x} = \beta_{rd} = -x$ 由式子 (8) 计算出来。

[0079] 车辆的纵向操纵极限涉及当轮胎的驱动力或制动力接近操纵极限时的条件。第 i 个从动轮的牵引力控制操纵极限 h_{tcs} 可通过设置 $x = \lambda_i$, $\underline{x} = 0$ 和 $\bar{x} = \lambda_{ib}$ 由式子 (8) 计算得

来。第 i 个车轮的 ABS 操纵极限余量 h_{ABS_i} 可通过设置 $x = \lambda_i$, $\underline{x} = \lambda_{bp}$ 和 $\bar{x} = 0$ 由式子 (8) 计算得来。最终的牵引力操纵极限余量和制动操纵极限余量可被定义为：

[0080]

$$h_{ABS} = \min_{i \in \{1, 2, 3, 4\}} h_{ABS_i}, h_{TCS} = \min_{i \in \{1, 2, 3, 4\}} h_{TCS_i} \quad (9)$$

[0081] 注意在计算前述操纵极限余量时可使用进一步的筛选条件。例如，下面的条件中的一个或下面的条件中的一些条件的组合可用于将操纵极限余量设为 0：目标横摆角速度的幅值超过一定的阈值；测量的横摆角速度的幅值大于一定的阈值；驾驶员的转向输入超过一定的阈值；或者，极端条件，例如，车辆的转弯加速度大于 0.5g，车辆的减速度大于 0.7g，以超过阈值（例如，100mph）的速度驾驶车辆等。

[0082] 为了测试前述操纵极限余量计算并相对于已知的驾驶条件来验证它们的有效性，使用配备有在福特汽车公司开发的研究性 ESC 系统的车辆进行车辆测试。

[0083] 对于由在图 2 中示出的车辆速度、油门开度和制动所描绘的驾驶条件，在图 3A 至图 3C 中示出了测量的车辆运动变量和计算出的车辆运动变量。在图 4A 至图 4C 中示出了相应的各个操纵极限余量 h_{US} , h_{OS} , h_{TCS} , h_{ABS} 以及 h_{SSRA} 。该测试被实施为在雪道 (snow pad) 上的自由形式障碍测试（所有 ESC 计算均运转）。制动压力施加被关闭，以使得车辆接近真实的极限操纵条件。

[0084] 对于另一测试，在具有高摩擦系数的路面上驾驶车辆。在图 5 中描绘了该测试的车辆速度、牵引力和制动曲线。在图 6A 至图 6C 中示出了车辆运动状态。在图 7A 和图 7B 中示出了相应的各个操纵极限余量 h_{US} , h_{OS} , h_{TCS} , h_{ABS} 以及 h_{SSRA} 。

[0085] 所有单独的操纵极限余量的包络变量被定义为：

$$h_{env} = \min \{h_{OS}, h_{US}, h_{TCS}, h_{ABS}, h_{SSRA}\} \quad (10)$$

[0087] 考虑到可能会由于信号噪声而造成包络操纵极限余量的突变，因此使用低通滤波器 $F(z)$ 来使 h_{env} 平滑，从而获得最终的操纵极限余量：

$$h = F(z) h_{env} \quad (11)$$

[0089] 对于在图 2 和图 3A 至图 3C 上示出的车辆测试数据，在图 9A 中描绘了最终操纵极限余量，而对于在图 5 以及图 6A 至图 6C 上示出的车辆测试数据，在图 10A 中描绘了最终操纵极限余量。

[0090] IV 操纵极限驾驶风格表征

[0091] 在该节中，我们使用在式子 (11) 中计算出来的最终操纵极限余量来表征车辆操纵相关的驾驶条件和驾驶风格。我们引入操纵风险因子 (HRF) 的概念作为对驾驶条件与操纵极限相关程度的度量。操纵风险因子 r 被定义为最终操纵极限余量 h 的补数 (complement)，即，

$$r = 1 - h \quad (12)$$

[0093] 当最终操纵极限余量 h 最大 ($h = 1$) 时，操纵风险因子最小 ($r = 0$)，反之亦然。 HRF 还可用于开发描述不同类别的驾驶风格的概率模型，通过将当前的驾驶条件与操纵极限相比来反映这些驾驶风格。

[0094] 通常来讲，谨慎的驾驶员通常在驾驶时不会频繁地突变，即，转向、速度和加速度变化快。因此，将谨慎的驾驶员表征为始终避免使用极端驾驶输入和避免接近最大操纵风险的一类驾驶员是合理的。一般的驾驶员会比谨慎的驾驶员表现出更高级别的 HRF。专家

驾驶员可能在控制车辆方面更有技巧,即,他可在长时间内以相对高级别的 HRF 进行驾驶,而不会使车辆超过最大操纵极限。鲁莽的驾驶员则表现出无所顾忌的操纵行为,这种操纵行为是难以预料的并会导致快速改变。预计鲁莽的驾驶员时常以可能会非常短暂地接近最大值 ($r = 1$) 的操纵风险因子进行驾驶,从而导致频繁地触发相关的安全系统(例如,ABS、TCS、ESC)。

[0095] 注意到专家驾驶员和鲁莽的驾驶员之间的差别在于前者可长时间地保持驾驶条件处于相对高的 HRF 级别,而后者在由于驾驶员的控制能力差而导致车辆超过最大操纵极限之前仅能短时间地保持在类似的级别。由于定义例如谨慎的驾驶行为、一般的驾驶行为、专家的驾驶行为和鲁莽的驾驶行为的操纵风险因子的范围可能未被明确限定,所以我们使用模糊子集来量化这四类驾驶员。我们还基于特定的驾驶员风格进一步对这些类别进行概率评估。与谨慎的驾驶员类别、一般的驾驶员类别、专家驾驶员类别和鲁莽的驾驶员类别相关联的模糊子集可通过在 HRF 全域 [0,1] 上定义的下面的隶属函数来描述:

[0096] $\mu_c(r), \mu_e(r), \mu_a(r), \mu_r(r)$ 。

[0097] 图 8 示出了对于那些类别中的每种类别的隶属度和 HRF 之间的关系。

[0098] 对于四种示例性类别(谨慎类别、一般类别、专家类别和鲁莽类别)中的每一种类别,图 8 中的隶属函数可使用隶属度的四维矢量

[0099] $D_k = [\mu_c(r_k) \mu_e(r_k) \mu_a(r_k) \mu_r(r_k)]^T$

[0100] 给由值为 r_k 的特定 HRF 表示的任何事件赋值。例如, HRF 值 $r_k = 0.4$ (对应于操纵极限余量值 $h_k = 0.6$) 将被转换为谨慎类别、一般类别、专家类别和鲁莽类别的隶属度。

[0101] $\mu_c(0.4) = 0.46, \mu_e(0.4) = 0.85$

[0102] $\mu_a(0.4) = 0.09, \mu_r(0.4) = 0.22$

[0103] 隶属等级对由 $r = 0.4$ (或操纵极限余量 $h = 0.6$) 的 HRF 表征的事件可能与四个示例性部分中的任何一个相关联的可能性进行编码。隶属度矢量值 d_k 使得单个驾驶事件和可能的驾驶员特性之间在该事件的 HRF 方面相关联。为了表征驾驶员的长期行为,我们需要由多个事件所产生的可能性的概率解释。通过给每个事件添加隶属值,我们基本上合计了特定驾驶员可被归类为谨慎类别、一般类别、专家类别和鲁莽类别的总的可能性,即,矢量

[0104]

$$d^* = \sum_{k=1}^N [\mu_c(r_k) \mu_e(r_k) \mu_a(r_k) \mu_r(r_k)]^T \quad (13)$$

[0105] 其中, N 是样本的数量。合计的可能性可被认为是频率(有时被称为模糊频率),因为它们显示了多个事件的 HRF 可被级联(cascade)成四种示例性类别的频率和程度。合计该可能性(即,添加隶属函数)的替代方案是:如果特定的隶属等级 $\mu_i(r_k)$, $i \in \{c, a, e, r\}$ 大于规定的阈值(例如,0.8),则加1,否则为0,从而计算四种示例性类别的传统频率。根据合计的可能性,我们可计算谨慎的、一般的、专家和鲁莽的驾驶员风格的概率,

[0106]

$$p_i = d_i^* \left(\sum_{j \in \{c, a, e, r\}} d_j^* \right)^{-1} \quad (14)$$

[0107] 其中, $i \in \{c, a, e, r\}$ 。由合计的可能性(模糊频率)来计算概率,该概率可被认为是模糊概率。在此模糊化的原因是在表征四种示例性分类和 HRF 之间的关系方面的不确定性。对于类别被清楚地限定(由区间表示,而不是由模糊子集表示)的特殊情况,可能性变换为布尔值,它们的合计值变成频率,因此模糊概率被转换为传统概率。

[0108] 最可能的驾驶员类别 i^* 是以最高的概率表征的类别,即,

[0109]

$$i^* = \arg \max_{i \in \{c, a, e, r\}} (p_i) \quad (15)$$

[0110] 概率基于频率的计算可按照平均频率进行表达。

[0111]

$$p_i = d_i^* / N \left(\sum_{j \in \{c, a, e, r\}} d_j^* / N \right)^{-1} \quad (16)$$

[0112] 或者,概率基于频率的计算可通过将较高的权重赋给与最近的事件相关联的可能性的指数加权平均频率来表达。在数字上,可通过施加在时域中实现指数平滑算法的低通滤波器来实现产生较高的权重对应于近期的观测的加权平均数的过程,

[0113]

$$d_{new}^* = (1 - \alpha) d_{old}^* + \alpha d_k = d_{old}^* + \alpha (d_k - d_{old}^*) \quad (17)$$

[0114] 其中,通过将一组指数地减小的权重赋给较早的观测,常数遗忘因子 $0 < \alpha \leq 1$ 控制更新平均值 d^* 的速度。对于常数遗忘因子 α ,表达式(17)利用单位和(unit sum)递归地产生正权重矢量。

$$W = [(1 - \alpha)^k \alpha (1 - \alpha)^{k-1} \alpha (1 - \alpha)^{k-2} \dots \alpha] \quad (18)$$

[0116] 矢量 W 描绘权重指数地减小的加权平均型合计算子,所述权重通过遗忘因子 α 被参数化。参数 α 定义加权平均合计算子的存储深度(memory depth)(移动窗的长度)。因此,式子(17)中的隶属等级矢量的滤波值 d^* 表示各个可能性在权重 W 上的加权平均值。由于所有的合计可能性是在长度 $K_\alpha = 1/\alpha$ 的同一移动窗上计算来的,因此我们可将其认为是与四个概念中的每个均关联的频率的表示。加权平均值(17)在指数属于软区间(soft interval)的事件上计算得出,

$$s \in [k - K_\alpha + 1, k] \quad (19)$$

[0118] 其中,符号 $\{\$ 表示软下界,该软下界包括指数比 $(k - K_\alpha)$ 小且贡献度相对低的值。因此,形成矢量 d^* 的合计可能性可根据表达式(14)被转换为概率。

[0119] 在特定实施例中, α 可能是可选择的,从而获得针对期望时间段的表征。例如,用户可提供与 α 相关的输入,从而每半小时进行一次表征。其它方案也是可行的。

[0120] 对于图 2、图 3A 至图 3C 和图 4A 至图 4C 所描绘的车辆测试,在图 9B 上示出了各个 p_i ,指示对于大多数驾驶来说,驾驶员表现出鲁莽的驾驶行为,这与图 3C 中的大值的侧偏角(侧偏角的峰值超过 10 度)一致。对于图 5 至图 7C 所描绘的车辆测试,在图 10B 中示出了各个 p_i ,指示驾驶员最初表现出一般的驾驶行为,然后转变到鲁莽的驾驶员行为。

[0121] 针对时间窗(由遗忘因子 α 确定),计算的概率定义了基于最可能的 HRF 的驾驶员表征。通过修改移动窗,我们可学习和总结特定驾驶员基于 HRF 的长期表征和短期表征。

[0122] 为了预测 HRF 的改变对驾驶员的表征的影响,我们引入了转变概率的概念。马尔

可夫模型 P 概率性地描述了驾驶员类别的当前值和预测值之间的转变集：

[0123] $p_j(k+1) \rightarrow$

[0124] $p_{11} p_{12} p_{13} p_{14}$

[0125] $p_i(k) p_{21} p_{22} p_{23} p_{24}$

[0126] $p_{31} p_{32} p_{33} p_{34}$

[0127] $p_{41} p_{42} p_{43} p_{44}$

[0128] 其中, p_{ij} 是从在时间 k 处的类别 i 转换到在时间 k+1 处的类别 j 的概率, $p_{ii} = \max(p_i)$ 是与在时间 k 处的主导类别 i 相关的概率, $i, j \in \{c, a, e, r\}$ 。转变概率 p_{ij} 从转变合计可能性推导而来, 只有当在时间 k 处 $i = \arg \max(p_i)$ 并且 $j = \arg \max(p_i)$ ($i \in \{c, a, e, r\}$) 时, 才更新转变合计可能性。

[0129]

$$d_{if,new}^* = \begin{cases} (1-\alpha)d_{if,old}^* + \alpha d_{i,k} & \text{如果 } j = \arg \max_{l \in \{c, a, e, r\}} (p_l) \\ (1-\alpha)d_{if,old}^* & \text{其它} \end{cases} \quad (20)$$

[0130] 然后通过将合计转变可能性转换成概率来计算转变概率。最大的转变概率 p_{ij} 将从类别 i 到类别 j 的转变确定为最可能的转变。

[0131] 图 11A 和图 11B 使用驾驶车辆测试来验证长期驾驶行为表征。驾驶员通常显示谨慎的驾驶风格（其可能是新手、一般驾驶员或专家驾驶员）。从 HRF 图上的峰值可以看出, 在大约 190 秒处, 车辆有些激进地转弯, 驾驶风格转变到一般类别。由于没有进一步识别到主要的 HRF 事件, 因此对于驾驶周期剩余的时间可结合长期表征的概念来执行这一类别。

[0132] 如上所述, 可激活各种听得见的和 / 或看得见的警报来警告驾驶员关于操纵极限余量。定义是否 (和 / 或以什么类型) 将发布警报的余量阈值可基于驾驶员表征而被改变或暂停使用。例如, 如果确定驾驶员是专家驾驶员, 则警告阈值可从 $h_x \leq 10\%$ 减小到 $h_x \leq 2\%$, 或者关于操纵极限余量的警告可被暂停 (专家驾驶员可能不需要该警告)。

[0133] V. 无人监管的驾驶风格表征

[0134] 在正常的驾驶操纵期间, 驾驶员的长期纵向车辆控制可被用于确定驾驶行为, 而不管车辆的动态响应。例如, 驾驶员在高速公路上长时间驾驶期间可表现出特定的纵向控制模式。他的加速踏板致动的模式可能是平稳的或者即使在非紧急条件下也是莽撞的。可使用踏板的变化性及其走时变化 (rate change) 来区分平稳应用和莽撞应用。当驾驶条件不受限制时, 这种平稳应用或莽撞应用表现出与燃油经济性和加速性能强烈相关。例如, 可利用识别这种驾驶行为来实现燃油经济性提醒器。

[0135] 可使用异常检测来评估控制动作的整体变化性中的指示相应的行为的改变的主要变化。异常检测是一种将主要的重点放在连续的监测、机器学习和无人监管的类别上, 以识别偏离正常行为的趋势并预测潜在的重大变化的技术。驾驶员动作的总体的协方差矩阵的行列式值可用作总体的广义方差 (概率散差 (spread)) 的测量值, 并因此作为驾驶员行为改变的指示器。

[0136] 驱动扭矩请求 τ_d 及其导数的特征空间由矢量 $y = [\tau_d \dot{\tau}_d]^T$ 扩展。总体的协方差矩阵的行列式值 D 可被递归计算为 :

[0137] $D_{k+1} = (1-\alpha)^{k-1} D_k (1-\alpha + (y_k - v_k) Q_k (y_k - v_k)^T) \quad (21)$

[0138] 而

$$v_{k+1} = (1 - \alpha) v_k + \alpha y_k$$

$$Q_{k+1} = (I - G_k(y_k - v_k)) Q_k (1 - \alpha)^{-1}$$

$$G_{k+1} = Q_k(y_k - v_k)^T \alpha (1 - \alpha + \alpha (y_k - v_k) Q_k (y_k - v_k)^T)^{-1}$$

[0142] 其中, v_k 是 y_k 的滤波后的形式, Q_k 是估算的协方差矩阵的逆矩阵, α 是反映与滤波器存储深度相关的遗忘因子的常数。

[0143] 因此, 在式子 (21) 中计算出来的 D_k 针对莽撞型行为和平稳型行为具有初始平均值和标准偏差。如果 D_k 的值高于控制极限 l_{abrupt} , 则将瞬时行为归类为莽撞型, 如果 D_k 的值低于控制极限 u_{smooth} , 则将瞬时行为归类为平稳型。 l_{abrupt} 和 u_{smooth} 被定义为: $l_{\text{abrupt}} = \mu_{\text{abrupt}} - 3\sigma_{\text{abrupt}}$, $u_{\text{smooth}} = \mu_{\text{smooth}} + 3\sigma_{\text{smooth}}$, 其中, μ_{abrupt} 和 σ_{abrupt} 是莽撞行为类别的平均值和标准偏差。类似地, 针对平稳行为类别定义 μ_{smooth} 和 σ_{smooth} 。如果当前的行为要么被归类为莽撞型要么被归类为平稳型, 则递归地更新匹配行为的相应的平均值和标准偏差,

$$w_{k+1} = (1 - \beta) w_k + \beta D_{k+1}$$

$$H_{k+1} = (1 - \beta) H_k + (\beta - \beta^2) (D_{k+1} - w_k)^T (D_{k+1} - w_k)$$

$$\sigma_{k+1} = (H_{k+1})^{1/2}$$

[0147] 其中, w 和 H 是估计的平均值和方差, β 是另一个遗忘因子。

[0148] 图 12 示出了来自 8 次车辆测试的加速踏板位置及其走时变化的协方差矩阵的行列式值。实线表示的 4 次测试的行列式值是针对莽撞的加速踏板的应用。这些行列式值显示为大值, 例如, 大于 7。而虚线表示的 4 次测试的行列式值是针对平稳的加速踏板的应用。这些行列式值显示为小值, 例如, 小于 4。因此, 行列式值的大小显示独特的信息模式, 该信息模式可被用于将平稳的驾驶行为与莽撞的驾驶行为区分开。

[0149] 由于驾驶员和驾驶环境之间的相互作用包括时间长短不一的频繁的停车, 这样会需要暂停持续更新, 以防止在递归计算过程中出现数值问题。可使用下面的暂停条件: (i) 如果车辆速度小于 1mph, 则暂停与车辆速度和加速度相关的递归计算; (ii) 如果加速踏板位置小于 1%, 则暂停与踏板相关的递归计算。

[0150] 虽然上述偏差集中在加速踏板上, 但是其可被容易地应用于制动情形。由于在紧急情况 (这种情况未必指示驾驶员的通常行为) 过程中会发生突然的激进制动, 因此, 对于计算筛查, 可使用制动未处于其极端情况的准稳定状态驾驶。

[0151] 在瞬时加速和减速过程中, 车辆的某些车轮会经历严重的纵向滑移, 这些车轮的轮胎纵向力可达到其峰值。可通过监测各个车轮相对于车辆的行驶速度的旋转运动来识别这样的情况, 因此在瞬时操纵过程中的驾驶员行为可被如上所述地确定。

[0152] VI. 半监管驾驶风格表征

[0153] 并非所有的驾驶员输入都能通过电子控制系统获得。然而, 特定的变量可构造输入 - 输出对, 该输入 - 输出对可被用于推导驾驶员控制结构。例如, 在跟车操纵中, 前一汽车和跟随汽车之间的相对距离以及驾驶员的制动和油门开度请求通常是协调好的。这里, 我们考虑使用 Tagaki-Sugeno (TS) 模型来将驾驶员的制动和油门开度命令的变化与前一车辆和跟随车辆之间的相对距离和速度联系起来。

[0154] 模糊系统可利用相对于另一车辆的信号调节的平均驾驶车间时距 (间隔 - 时间) 以及加速踏板和制动踏板的走时变化的标准偏差来确定驾驶员是激进的还是谨慎的。来自

于模糊计算和规则评估的驾驶员指数值可基于跟随的汽车、车辆速度和驾驶员对加速和减速的控制动作来确定驾驶员的激进性。

[0155] 对于实时的车辆实现来说,应用兴趣变量的平均值和方差的递归估计。在采样时间 k 处的信号调节的平均间隔 - 时间可被计算为 :

$$[0156] \quad g_k = g_{k-1} + \alpha (\Delta s_k / v_{fk} - g_{k-1}) \quad (24),$$

[0157] 其中, Δs_k 是前一车辆和跟随车辆之间的相对距离, v_{fk} 是跟随车辆的速度。 α 是与在式子 (22) 中使用的 α 类似的滤波器系数。图 13A 和图 13B 示出了由两次车辆测试 (一个是针对激进驾驶,另一个是针对谨慎驾驶) 计算出来的平均间隔 - 时间。

[0158] 加速踏板变化率平均值可被计算为

[0159]

$$\bar{\rho}_k = \bar{\rho}_{k-1} + \alpha((\rho_k - \bar{\rho}_{k-1}) / \Delta T - \bar{\rho}_{k-1}) \quad (25)$$

[0160] 其中, $\bar{\rho}$ 是加速踏板平均值, ΔT 是采样时间。相应的方差可被计算为

[0161]

$$\nu_k \alpha \nu_{k-1} + (1-\alpha)(\rho_k - \bar{\rho}_k)^2 \quad (26)$$

[0162] 标准偏差由方差的平方根得到。图 14A 和图 14B 显示了针对激进驾驶和谨慎驾驶的两次测试数据的标准偏差。

[0163] 与式子 (25) 和 (26) 类似,可计算制动踏板走时变化的平均值和方差。图 15A 和图 15B 示出了针对激进驾驶和谨慎驾驶的两次测试数据的标准偏差。在将变量提供给模糊推理系统之前,首先将这些变量归一化。针对特征确定模糊集和隶属函数,以将明确的输入转换成模糊项。平均间隔 - 时间模糊集 G_s 被定义为

$$[0164] \quad G_s = \{(g, \mu(g)) \mid g \in G\} \quad (27)$$

[0165] 其中, G 由车辆路径中的间隔 - 时间 g 的有界集合给定。将间隔 - 时间隶属函数 μ 选择为高斯函数。

[0166] 使用零阶 TS 模型来计算驾驶员指数级别。0-1.0 的归一化的输出范围 (output scale) 表示从谨慎到欠激进再到激进的驾驶行为的级别。由模糊计算和规则评估获得驾驶员指数。表 1 显示了使用的规则。注意到与较低的间隔 - 时间相比,较高的间隔 - 时间相对来说更注重安全。

[0167] 表 1

[0168] 用于驾驶行为表征的规则

[0169]

间隔 - 时间	加速踏板变化率 STD	制动踏板变化率 STD	驾驶员指数
低	低	低	欠激进
高	低	低	谨慎
低	高	低	激进
低	低	高	激进

低	高	高	激进
高	高	高	欠激进
高	低	高	谨慎
高	高	低	欠激进

[0170] 图 16A 和图 16B 显示了由两次车辆测试数据计算得到的驾驶员指数：一个是针对激进驾驶，驾驶员指数大于 0.8，另一个是针对谨慎驾驶，驾驶员指数小于 0.2。

[0171] VII. 监管驾驶风格表征

[0172] 跟车任务需要驾驶员与前一车辆保持下列中的一项：(i) 零速度差；(ii) 相对距离恒定；(iii) 由相对距离除以相对速度所定义的相对间隔 - 时间恒定。

[0173] 人类驾驶员可被建模为 PD 反馈控制器。在跟车操纵期间闭环系统可被表达为

[0174]

$$(\ddot{x}_l - \ddot{x}_f - \ddot{\bar{x}}_g) = -c_v(\dot{x}_l - \dot{x}_f - \dot{\bar{x}}_g) - c_s(x_l - x_f - \bar{x}_g) \quad (28)$$

[0175] 其中， x_l 和 x_f 是前一车辆和跟随车辆的行进距离， \bar{x}_g 是间隔偏移量 (offset reference)。由于在配备有自适应巡航控制功能的车辆中使用的雷达的实施，因此测量相对距离和相对速度并将其限定为

[0176]

$$\Delta s = x_l - x_f, \Delta v = \dot{x}_l - \dot{x}_f \quad (29)$$

[0177] 配备有稳定性控制的车辆具有输出为 α_x 的纵向加速度计，该纵向加速度计测量 \ddot{x}_f 。式子 (28) 可被进一步表达为

[0178]

$$\alpha_x = c_v(\Delta v - \dot{\bar{x}}_g) + c_s(\Delta s - \bar{x}_g) + (\ddot{x}_l - \ddot{\bar{x}}_g) \quad (30)$$

[0179] 在式子 (30) 中的未知参数 c_v 和 c_s 可被用于表征驾驶员在跟车过程中的控制结构。使用低通滤波后的 Δs 和 Δv 来代替间隔偏移量 \bar{x}_g 及其导数 $\dot{\bar{x}}_g$ ，并考虑到时间延迟，我们给出下面的等式

$$\alpha_{x_{k+i}} = c_v[\Delta s_k - \mu_k(\Delta s)] + c_s[\Delta v_k - \mu_k(\Delta v)] + w \quad [0180]$$

[0181]

$$\begin{bmatrix} \mu_k(\Delta s) \\ \mu_k(\Delta v) \end{bmatrix} = (1-\alpha) \begin{bmatrix} \mu_{k-1}(\Delta s) \\ \mu_{k-1}(\Delta v) \end{bmatrix} + \alpha \begin{bmatrix} \Delta s_k \\ \Delta v_k \end{bmatrix} \quad (31)$$

[0182] 其中， $\alpha_{x_{k+i}}$ 中的下标 i 反映驾驶员的制动 / 油门致动与测量的相对距离、速度和加速度之间的时间延迟， α 是与在式子 (22) 中使用的 α 类似的低通滤波器系数， w 是可被视为白噪声的高频不确定信号。使用有条件的最小二乘法辨识算法，可从式子 (31) 实时识别 c_v 和 c_s 。驾驶员在环系统的响应时间 t_p 和阻尼比 ζ 可与 c_v 和 c_s 联系起来，

[0183]

$$t_p = 2\pi c_s / \sqrt{4c_s^2 - c_v^2}, \zeta = c_v / 2\sqrt{c_s} \quad (32)$$

[0184] 该式子可用于推导驾驶员的驾驶行为：(i) 对于正常的驾驶员来说，期望驾驶员

在环系统的瞬时响应快 (t_p 足够小, 例如, 小于 0.5s) 且有阻尼 (damped) (ζ 足够大); (ii) 对于年老的或身体有缺陷的驾驶员, t_p 可能大; (iii) 对于激进的驾驶员, ζ 可能显示为小值, 例如, 小于 0.5, 并且系统响应可能表现出过量过冲 (excessive overshoot); (iv) 对于谨慎的驾驶员, ζ 可能显示为相当大的值, 例如, 大于 0.7。

[0185] 最小二乘参数辨识为计算 c_v 和 c_s 而被实施。进行两次车辆测试。在第一次测试中, 跟随车辆中的驾驶员试图使用激进的油门开度和制动来实现他的车辆和前一车辆之间的相对间隔 - 时间恒定, 这导致更大的距离误差 $\Delta s_k - \mu_k (\Delta s)$ 。参见图 17。识别的 c_v 为大约 0.2, 识别的 c_s 为大约 0.05。参见图 18。因此, 由式子 (32) 计算出来的阻尼比显示为比 0.5 小的值, 这是弱阻尼驾驶员在环系统的表示, 因此对应于激进驾驶行为。

[0186] 在第二次测试中, 驾驶员使用谨慎的油门开度和制动应用来实现汽车跟随, 图 19 中的相对距离误差 $\Delta s_k - \mu_k (\Delta s)$ 的幅值比图 17 中示出的相对距离误差的幅值小。在图 20 中绘出了识别的 c_v 和 c_s 。除了开始的 150 秒之外, 阻尼比显示为比 0.8 大的值。参见图 20。这是强阻尼驾驶员在环系统的表示, 因此对应于谨慎驾驶行为。

[0187] VIII. 应用

[0188] 操纵极限和 / 或驾驶风格表征以及适当的监测和强化可被用于驾驶员提醒、教导、监测和安全强化。另一可能的应用涉及通过调节控制参数来适合特定的驾驶员风格以实现车辆个性化的机会。例如, ESC 或制动控制系统可利用这样的驾驶员风格表征来调节致动阈值 (actuation threshold) 以适合于个人的驾驶行为。例如, 在面对同样的驾驶条件时, 与缺乏经验的驾驶员相比, 专家驾驶员可能不需要频繁地启动 ESC。(然而, 可能存在调节阈值的最低需求, 这样专家驾驶员所犯的错误仍然能通过 ESC 功能来协助)。

[0189] 作为另一示例, 可基于驾驶员表征来调节转向灵敏度 (车辆对于给定的转向输入的转向响应的程度) 以及加速踏板灵敏度 (车辆对于给定的加速踏板输入的加速响应的程度)。如果驾驶员的特征是专家型的, 则可使方向盘和 / 或加速踏板更加灵敏 (提供更高的车辆响应度)。如果驾驶员的特征是谨慎型的, 则可使方向盘和 / 或加速踏板的灵敏度差些 (可能导致燃油经济性提高)。其它应用也是可能的。

[0190] 图 21 是用于车辆 32 的提醒系统 30 的实施例的框图。提醒系统 30 可包括: 多个车辆状态传感器 34 (例如, 横摆角速度传感器、转向角传感器、横向加速度传感器、纵向加速度传感器、轮速传感器、制动压力传感器等); 一个或多个控制器 36, 被配置为执行 (例如) 电子稳定性控制、防抱死制动和牵引力控制以及上述操纵极限和驾驶员表征; 音频和 / 或视频指示器系统 38 (例如, 显示面板、扬声器系统、LED 阵列、USB 口等); 车辆输入和 / 或控制系统 40 (例如, 加速踏板、动力传动控制器、方向盘等)。

[0191] 车辆状态传感器 34 可检测上述各种参数, 例如, 车辆速度、车轮滑动等, 所述各种参数表征车辆 32 的运动 (例如, 当前的操纵条件和极限操纵条件) 以及上述驾驶员输入 (例如, 加速踏板位置和制动踏板位置等)。一个或多个控制器 36 可使用该信息作为上述操纵极限和 / 或驾驶员表征算法的输入。基于这些算法的输出, 上述一个或多个控制器 36 可: (i) 启动音频和 / 或视频指示器系统 38 以 (例如) 警告或教导驾驶员; 或者 (ii) 修改车辆输入和 / 或控制系统 40 的多个方面以使得车辆的响应符合驾驶员类型。

[0192] 作为示例, 基于由传感器 34 采集的信息, 执行上述算法的一个或多个控制器 36 可确定车辆 32 的驾驶员正在鲁莽驾驶。由于驾驶员已被归类为鲁莽型, 因此一个或多个控制

器 36 可（例如）经由音频和 / 或视频指示器系统 38 开始发布驾驶指令，以鼓励驾驶员改变其行为。一个或多个控制器 36 还可 / 改为启动车辆输入和 / 或控制系统 40 的触觉元件（例如，触觉加速踏板），以警告驾驶员他们的鲁莽行为。

[0193] 可被一个或多个控制器 36 访问的存储器可包括与特定的预定义规则一一对应的指令数据库（音频和 / 或视频）。示例性规则可以是：对于特定的时间段，如果驾驶员是鲁莽型的并且方向盘角度的变化率落入某限定的范围内（即，驾驶员持续顺时针和逆时针地快速转动方向盘），则指导驾驶员减少其转向输入。

[0194] 图 22 是用于车辆 132 的提醒系统 130 的另一实施例的框图，其中，类似的标号与图 21 中的标号具有类似的描述。然而，在该实施例中，车辆 132 包括标记识别系统 142，该标记识别系统以公知的方式被配置，以识别标记 144。例如，标记 144 可以是钥匙，该钥匙包括识别特定驾驶员或驾驶员的种类（例如，青少年驾驶员）的识别芯片。在该实施例中，标记识别系统 142 可包括以公知的方式被布置在车辆 132 的点火系统中的芯片读取器，以读取识别芯片并将该信息传输到一个或多个控制器 136。作为另一示例，标记 144 可以是其中嵌入有 RFID 芯片的遥控钥匙（key-fob）或塑料卡。在该实施例中，标记识别系统 142 可包括以公知的方式被布置在车辆 132 中的 RFID 芯片读取器，以检测和读取 RFID 芯片并将该信息传输到一个或多个控制器 136。作为另一示例，标记 144 可以是蜂窝电话。在该示例中，标记识别系统 142 可包括公知的模块（例如，福特 SYNC 技术），这些公知的模块被配置为识别蜂窝电话并将该信息传输到一个或多个控制器 136。其它布置和方案也是可行的。

[0195] 可基于上述的驾驶员识别和操纵极限和 / 或驾驶风格表征来实现各种功能。作为示例，如果标记识别系统 142 将识别出驾驶员是青少年驾驶员的信息提供给一个或多个控制器 136，则当接近操纵极限时，一个或多个控制器 136 可经由音频和 / 或视频指示器系统 138 给驾驶员发布指令让其松开油门或进行制动。一个或多个控制器 136 可实现与上述命令类似的基于规则的命令，以实现这种驾驶指令。（示例性规则可以是：如果驾驶员是青少年驾驶员，并且如果操纵极限余量小于 15%，则指导驾驶员慢下来。）

[0196] 作为另一示例，如果标记识别系统 142 将识别出驾驶员是青少年驾驶员的信息提供给一个或多个控制器 136，则一个或多个控制器 136 可记录操纵极限余量和 / 或驾驶员风格表征的计算历史，以产生描述驾驶员行为的报告。例如，对于给定的旅程，这些报告可详细记载该青少年驾驶员超过一定水平的操纵极限余量的次数。例如，这些报告还可将该青少年驾驶员描述为在任意给定的旅程期间是谨慎型、激进型、鲁莽型等。可以以任何合适的形式（例如，通过音频和 / 或视频指示器系统 138）访问、报告或显示这样的报告。

[0197] 作为另一示例，可基于上述驾驶员识别来实现驾驶员教导和 / 或指导。例如，一个或多个控制器 136 可发布指令来鼓励驾驶员给车辆 132 提供将会导致将驾驶员归类为谨慎型的驾驶输入。例如，如果驾驶员开始频繁地加速和减速，则一个或多个控制器 136 可经由音频和 / 或视频指示器系统 138 指导驾驶员来增加车辆 132 和其前方车辆之间的距离，以降低加速和制动的频率。可使用与上述规则类似的规则或者任何其它合适的智能技术（例如，神经网络等）来方便指导。在为以后的报告而记录驾驶行为的实施例中，驾驶员听从指令还是忽视指令也可被记录为驾驶员行为的表示。

[0198] 图 23 是用于车辆 232 的提醒系统 230 的另一实施例的框图，其中，类似的标号与图 21 中的标号具有类似的描述。该实施例包括雷达和 / 或拍摄系统 246（然而，可使用任

何合适的前向感测系统),该雷达和 / 或拍摄系统 246 可以以公知的方式周期性地 / 连续地检测车辆 232 与车辆 232 前方的另一车辆之间的距离。(虽然未显示,但是提醒系统 230 还可包括标记识别系统以及与参照图 22 讨论的能力类似的相关能力。其它构造也是可行的。)

[0199] 在某些情况下,由系统 246 采集的距离信息可由一个或多个控制器 236 监测。如果距离小于某预限定的阈值(例如,20 英尺),则一个或多个控制器 236 可经由音频和 / 或视频指示器系统 238 警告驾驶员和 / 或启动车辆输入和 / 或控制系统 240 的元件(如果这些元件是触觉型的,例如,触觉加速踏板、触觉方向盘、触觉座椅等)。

[0200] 在其它情况下,由系统 246 采集的距离信息 X 连同距离随时间的变化 V_x 和车辆 232 的纵向加速度 A_x 一起可被一个或多个控制器 236 使用,以通过下面的等式来确定该车辆 232 将要与车辆 232 前方的车辆发生碰撞的时间 t_c 。

$$[0201] \quad t_c = \frac{-V_x \pm \sqrt{(V_x)^2 + 2(A_x)(X)}}{(A_x)}$$

$$[0202] \quad \text{或} \quad t_c = \frac{X}{V_x}$$

[0203] 如果将要碰撞的时间小于预限定的阈值,则一个或多个控制器 236 可如上所述地警告驾驶员。

[0204] 在其它情况下,一个或多个控制器 236 可以以车辆 232 和该车辆前方的车辆之间的间隔时间(如上所述)作为警告阈值的基础。如果间隔时间小于阈值,则一个或多个控制器 236 可(例如)启动车辆输入和 / 或控制系统 240 的触觉元件或者使这些元件振动等。

[0205] 或者,一个或多个控制器 236 可访问距离表和速度 / 相对速度表来确定何时警告驾驶员。作为示例,如果该距离落入一定的范围内并且该速度落入一定的范围内,则一个或多个控制器 236 可启动触觉加速踏板。其它方案也是可行的。

[0206] 车辆输入和 / 或控制系统 240 的触觉元件被激活的强度(频率和 / 或幅度)可取决于车辆 232 与其前方车辆之间的距离、将要发生碰撞的时间、间隔时间等。作为示例,随着这些参数的减小,强度可增加。这种增加的强度可发出紧急程度增加的信号。

[0207] 预限定的阈值可取决于驾驶员的类型。即,一个或多个控制器 236 可实施上述驾驶员表征算法,并基于表征来提高或降低警告阈值。例如,对于专家驾驶员可降低阈值,因为他们经历由于追尾造成事故的可能性低。对于鲁莽型或激进型驾驶员可提高阈值,因为他们经历由于追尾等造成事故的可能性高。

[0208] 可基于驾驶员是否听从预限定阈值所指示的警告来改变预限定阈值。作为示例,如果驾驶员在触觉加速踏板启动之后并没有增加其与前方车辆的跟随距离,则用于触发触觉踏板的启动的预限定的跟随距离可减小,以避免成为驾驶员的麻烦。类似地,可减小与将要发生碰撞的时间和间隔时间相关联的预限定阈值。然而,可建立最小值,阈值的减小将不能超过该最小值。

[0209] 对于本领域普通技术人员明显的是,在此公开的算法可以以多种形式被传送至处理装置,该处理装置可包括任何现有的电子控制单元或专用的电子控制单元,所述多种形式包括但不限于,永久存储在非可写的存储介质(例如,ROM 装置)上的信息以及可更改地存储在可写的存储介质(例如,软盘、磁带、CD、RAM 装置)和其它磁性和光学介质上的信息。

所述算法还可在软件可执行的对象中实现。或者，可利用合适的硬件组件（例如，专用集成电路（ASIC）、状态机、控制器）或其它硬件组件或装置或者硬件、软件和固件组件的组合整体或部分地实现所述算法。

[0210] 虽然已经示出和描述了本发明的实施例，但是这些实施例并不意图示出和描述本发明所有可能的形式。在说明书中使用的词语是描述性的词语，而非限制性的词语，应当理解，在不脱离本发明的精神和范围的情况下可进行各种改变。

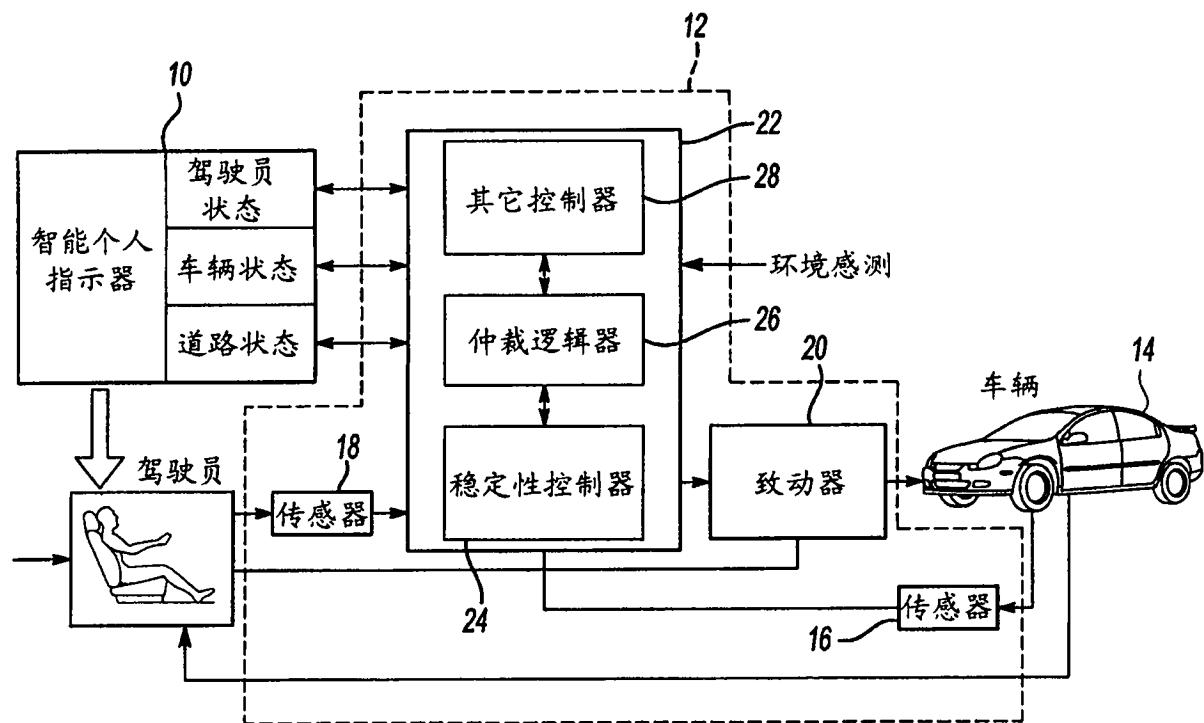


图 1

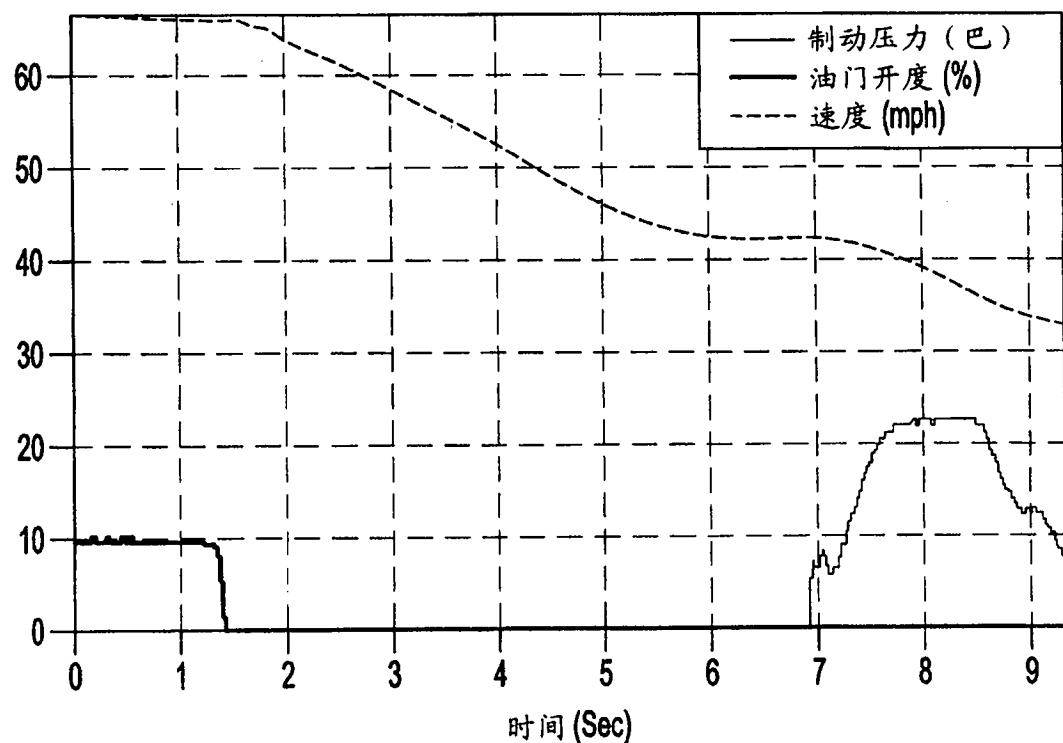


图 2

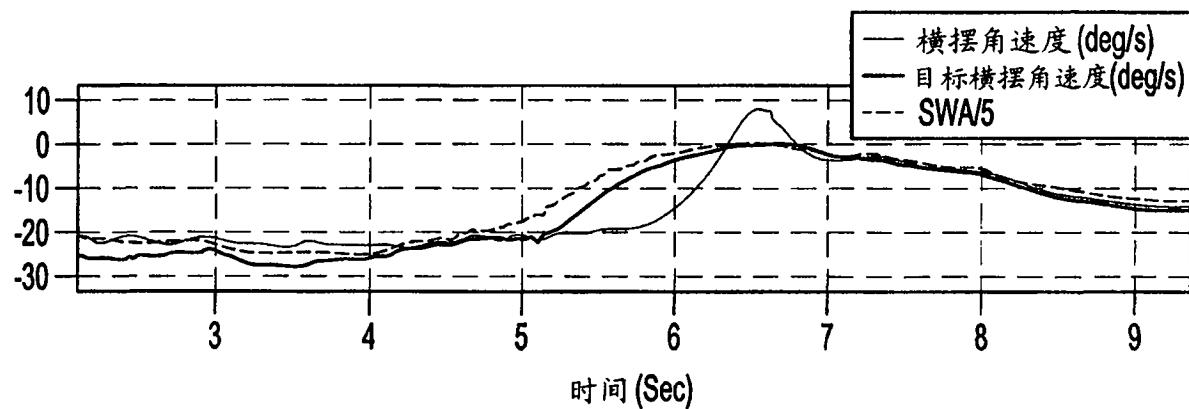


图 3A

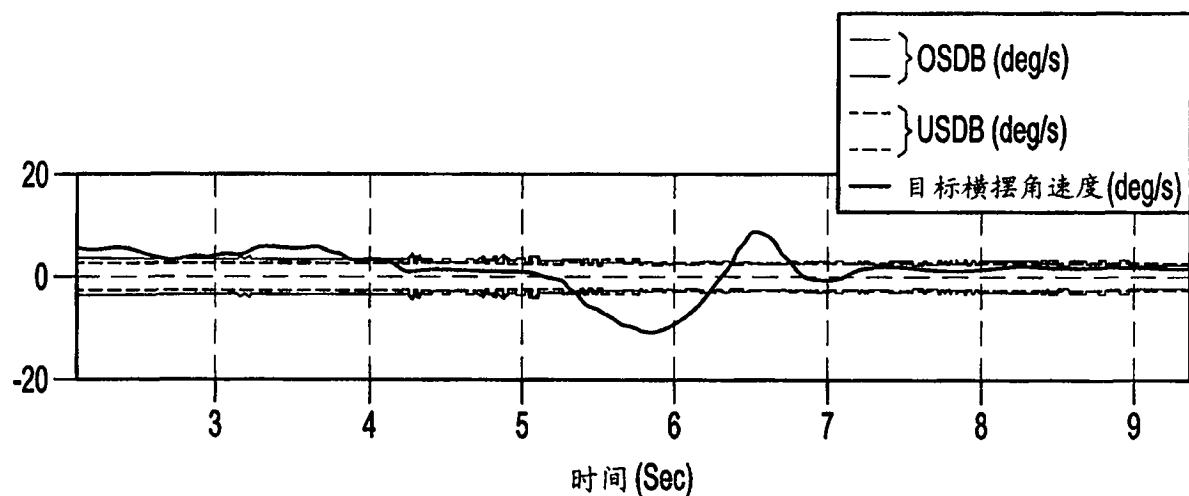


图 3B

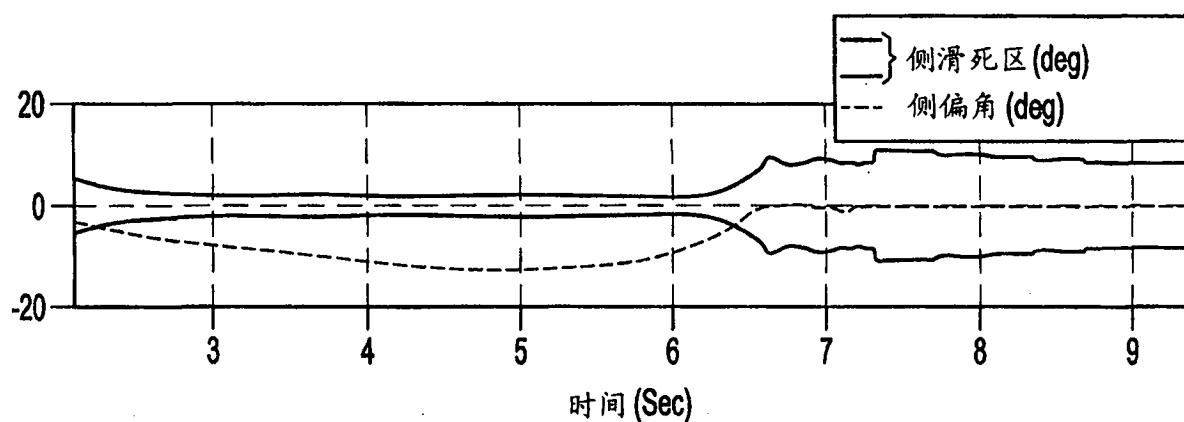


图 3C

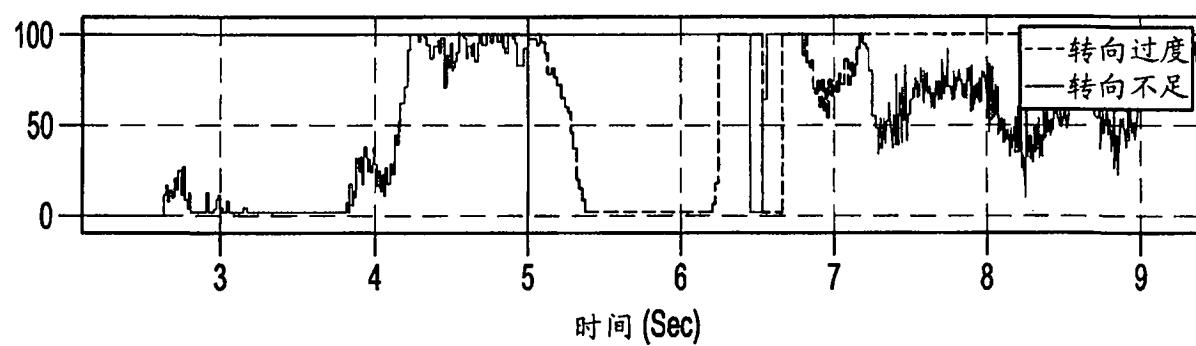


图 4A

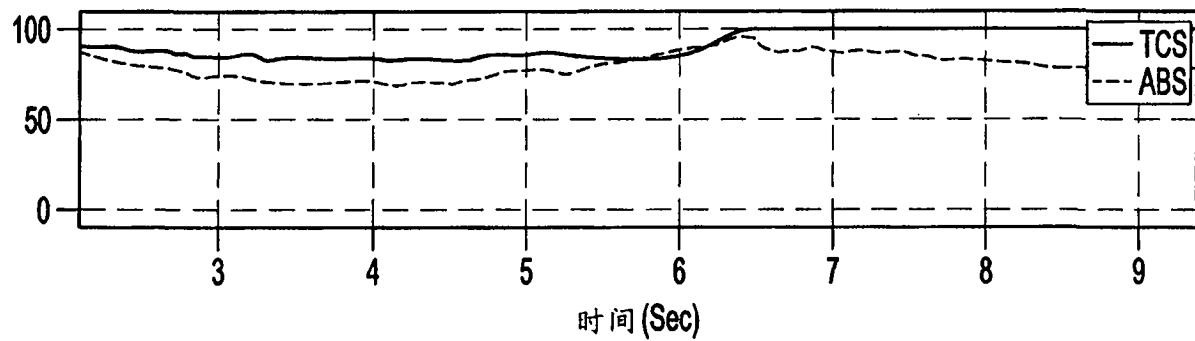


图 4B

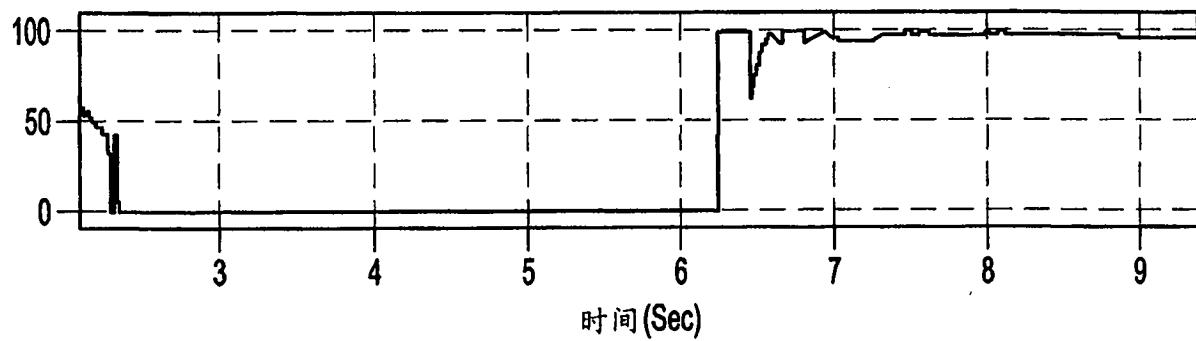
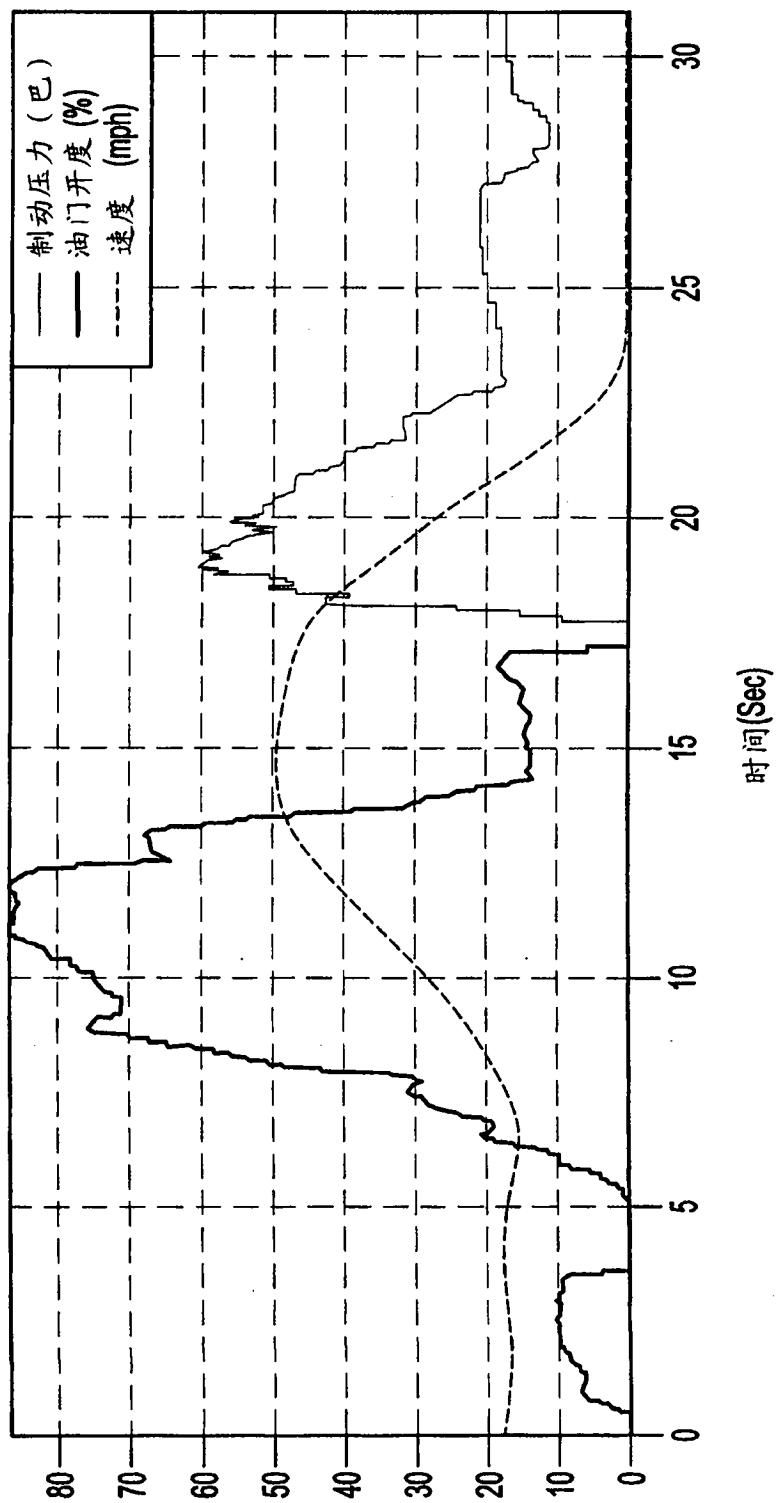


图 4C



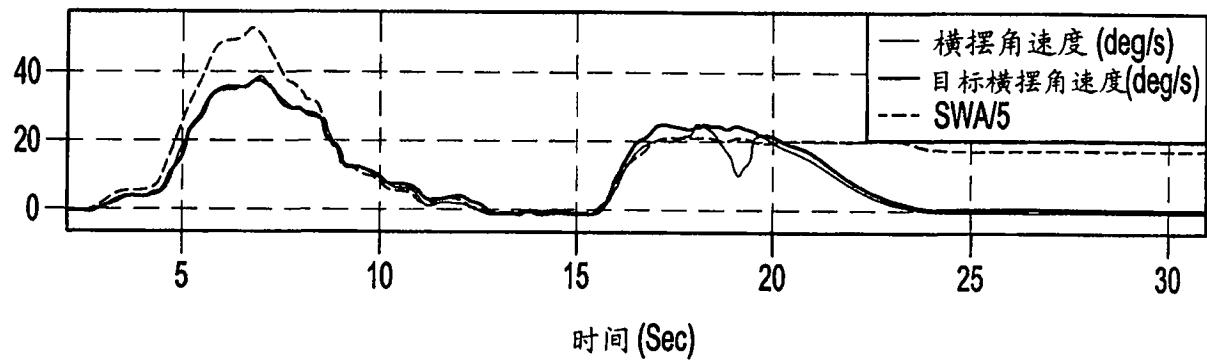


图 6A

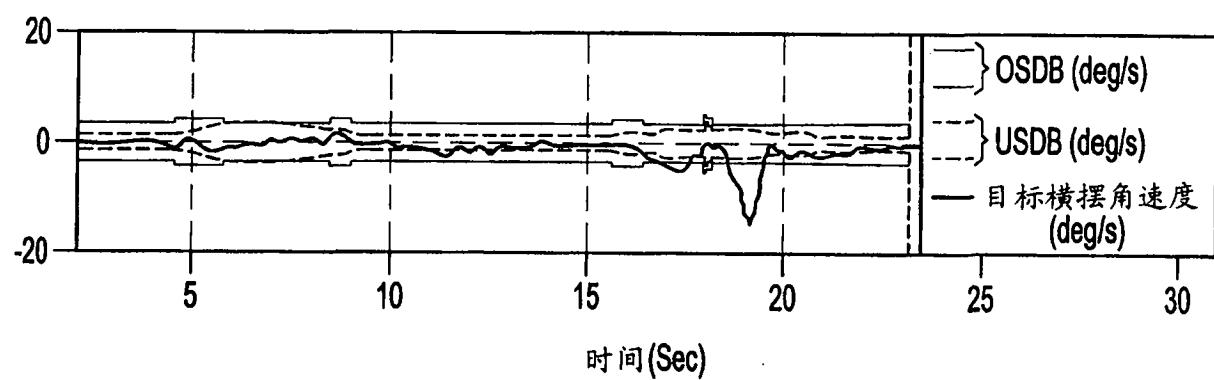


图 6B

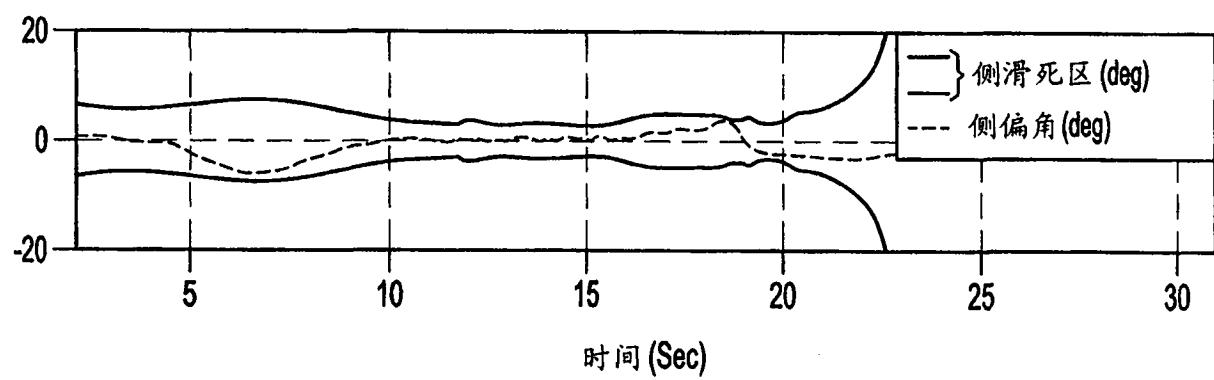


图 6C

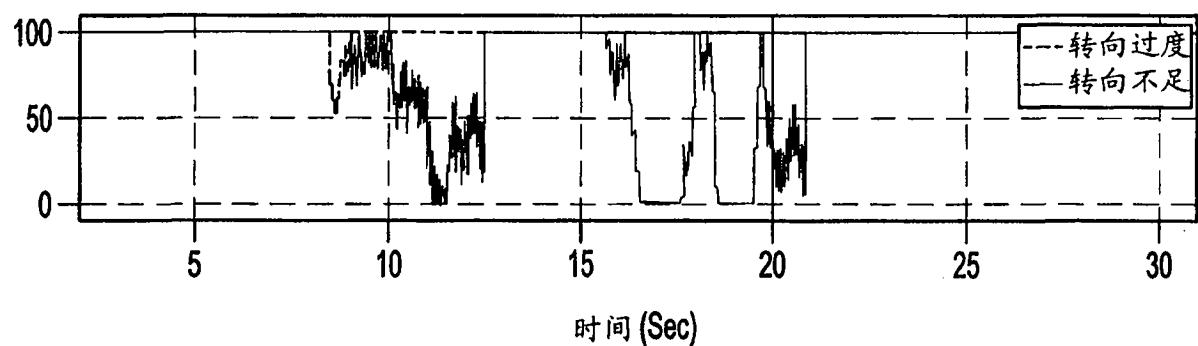


图 7A

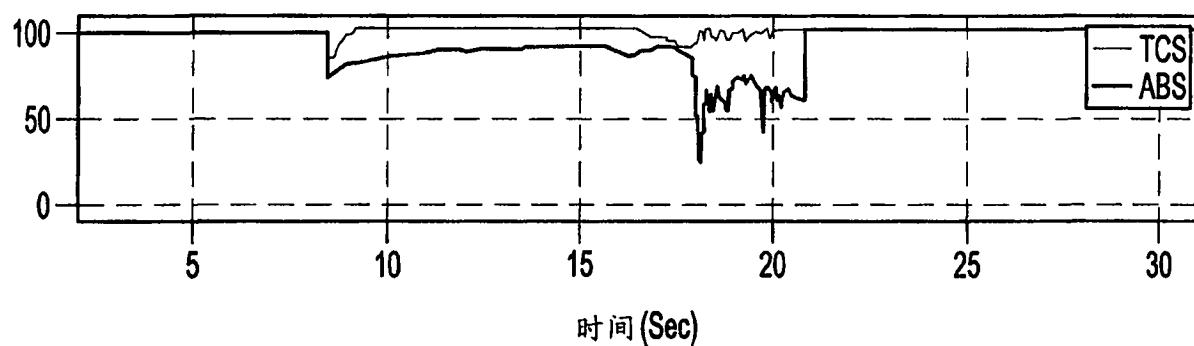


图 7B

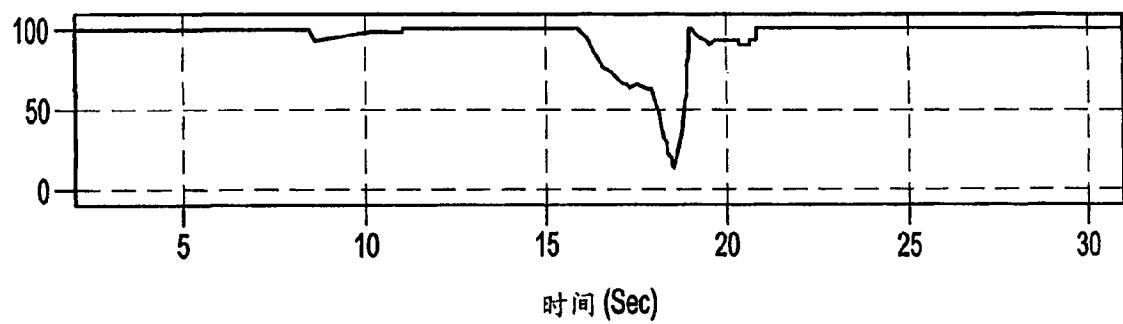


图 7C

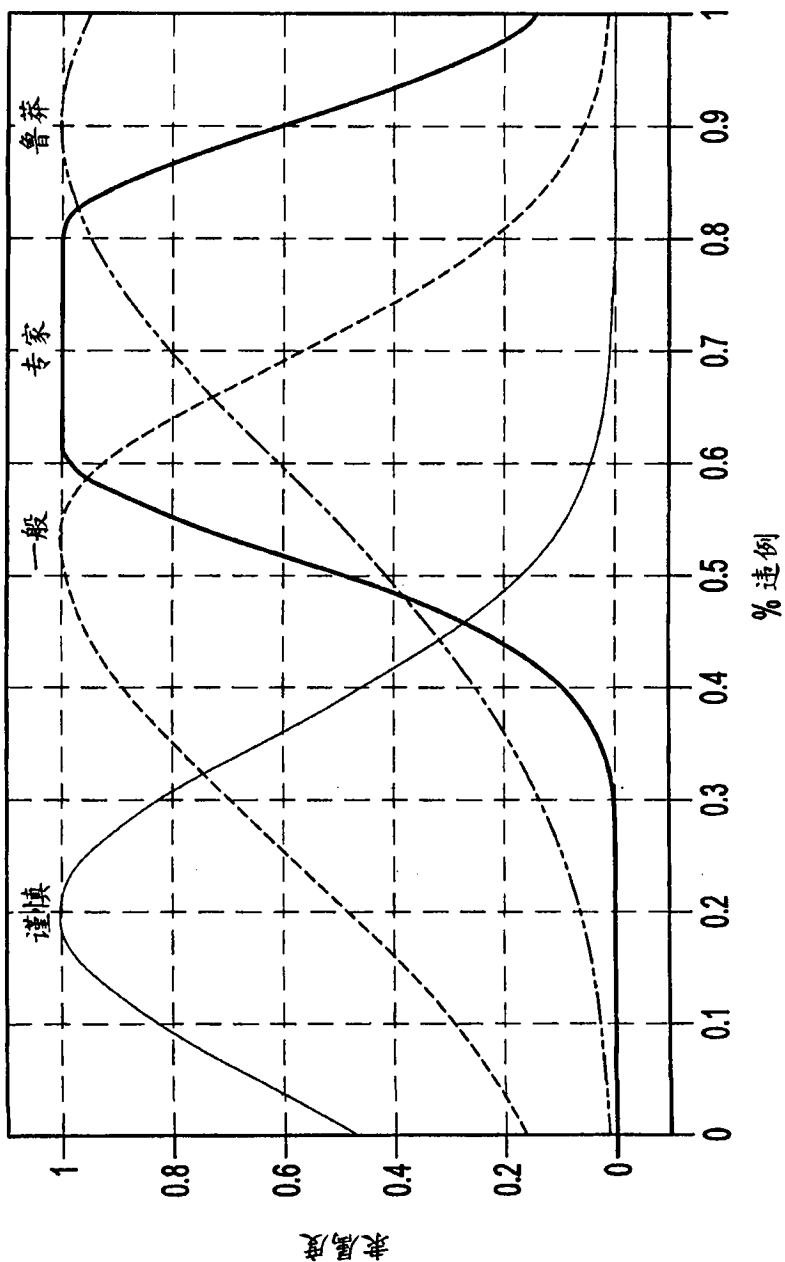


图 8

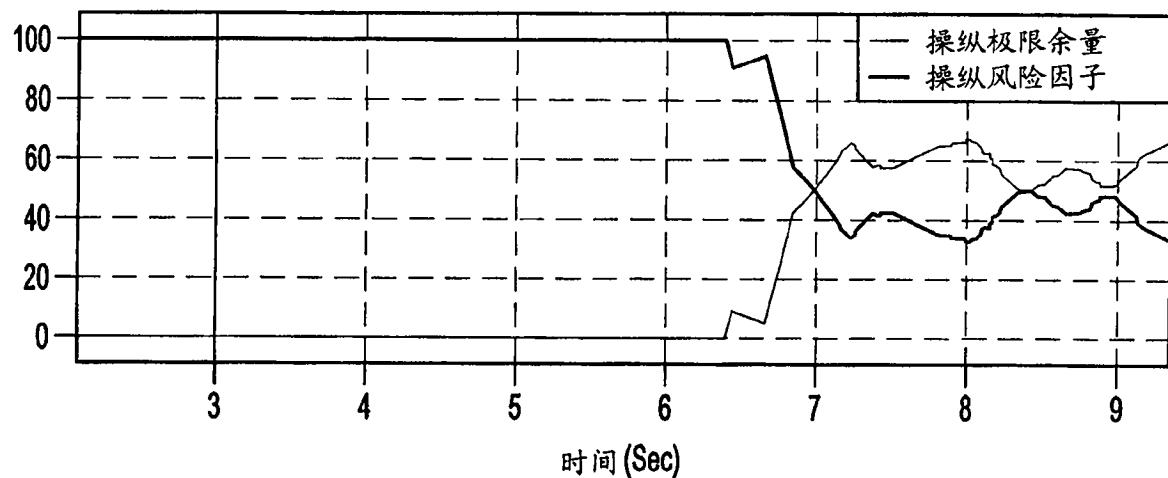


图 9A

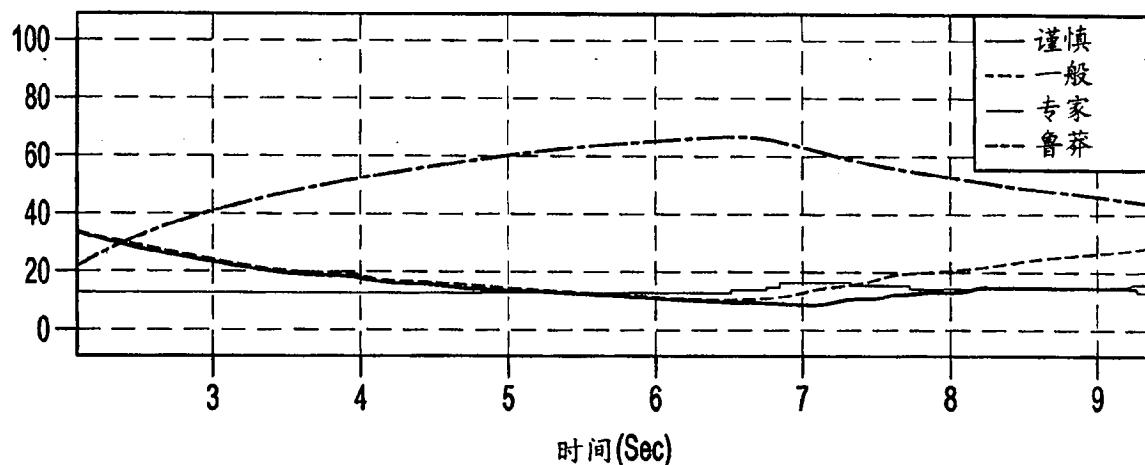


图 9B

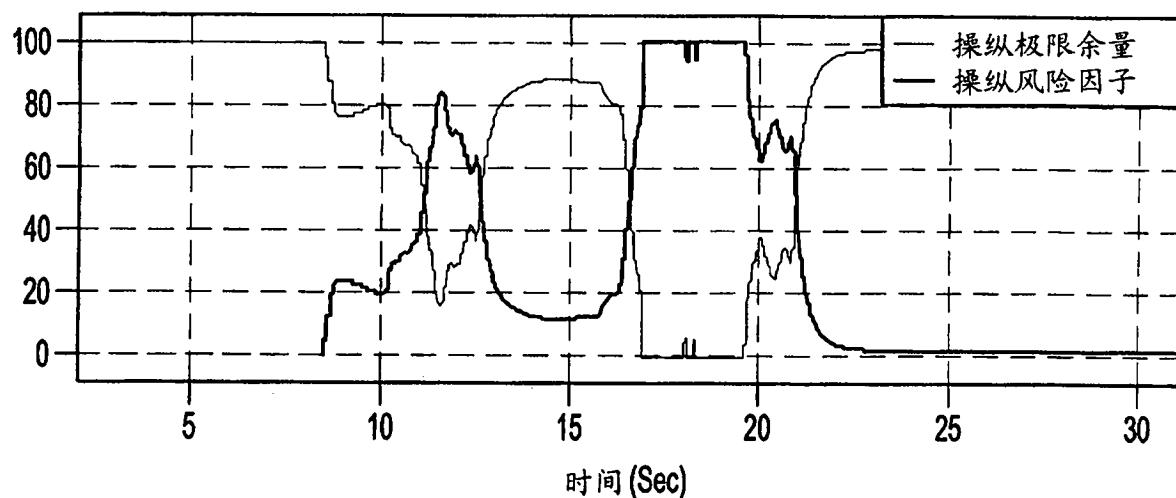


图 10A

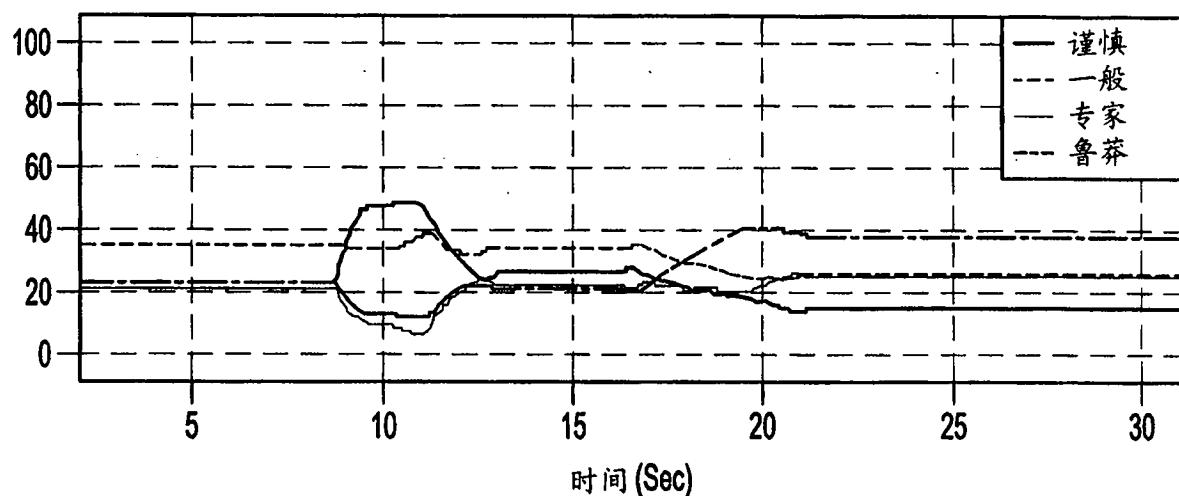


图 10B

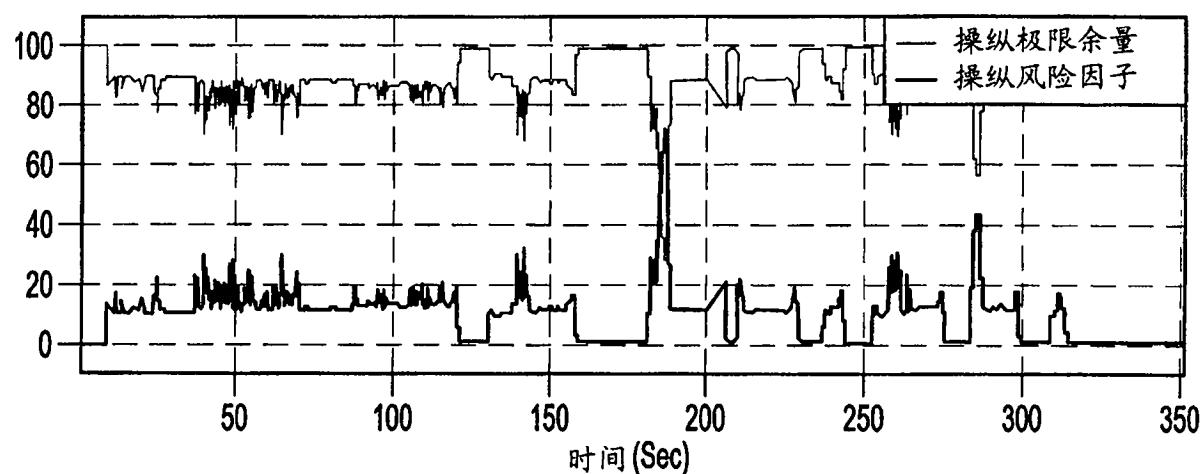


图 11A

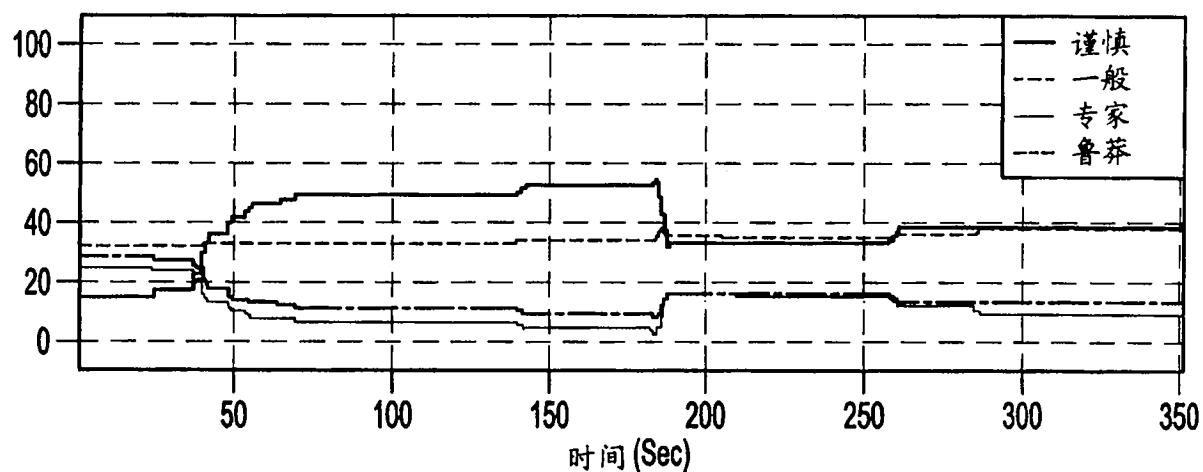


图 11B

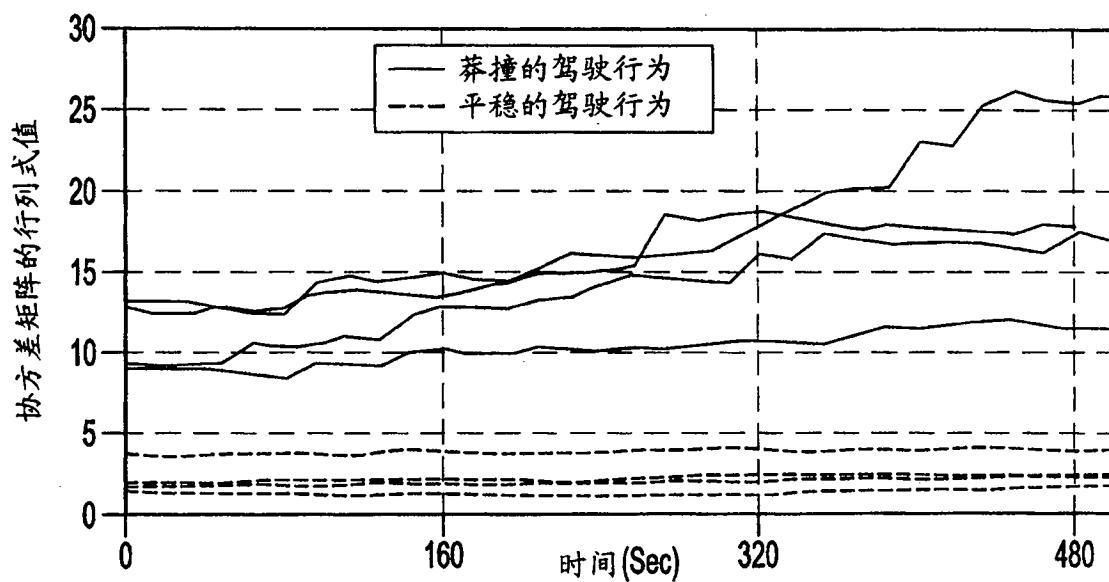


图 12

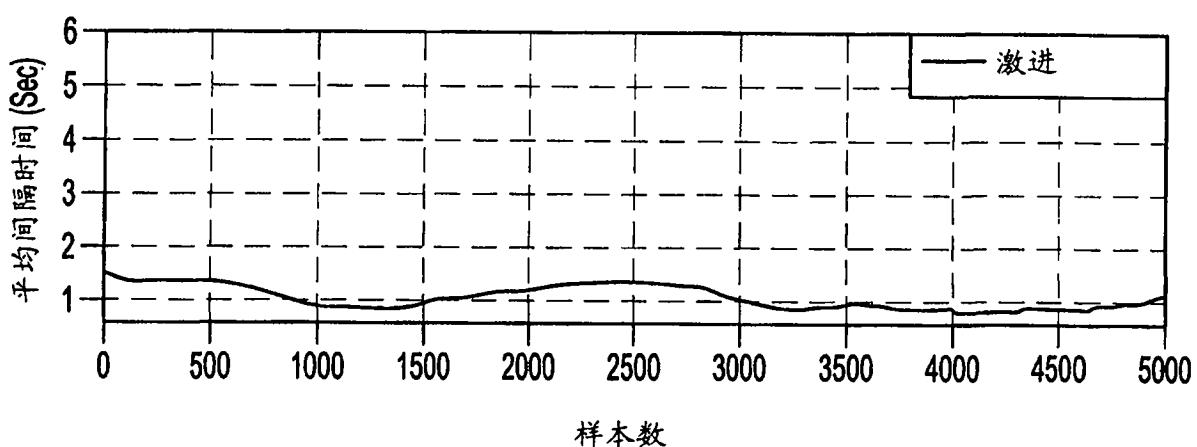


图 13A

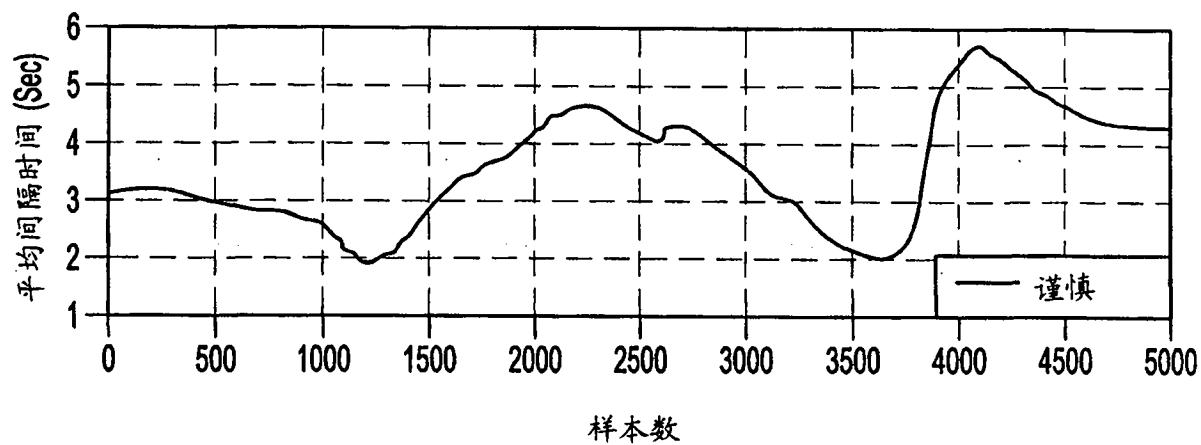


图 13B

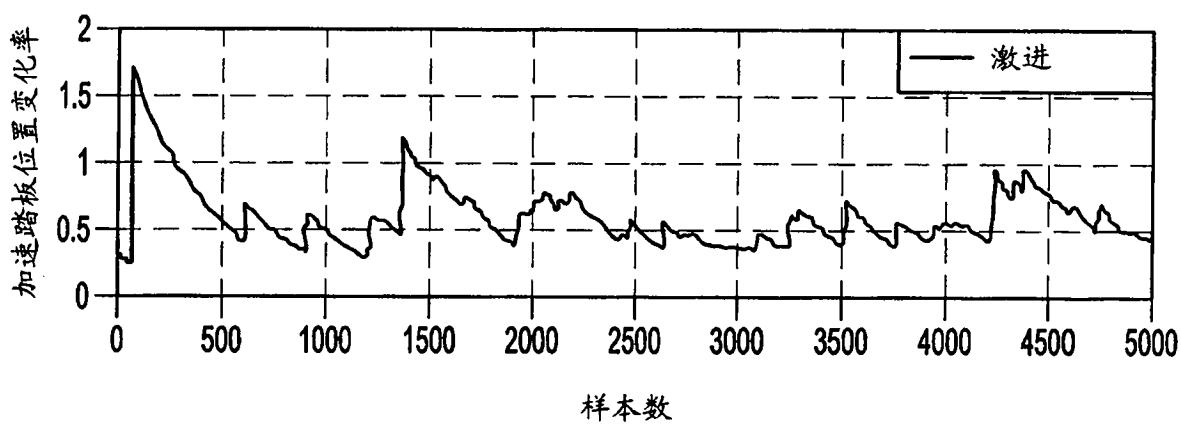


图 14A

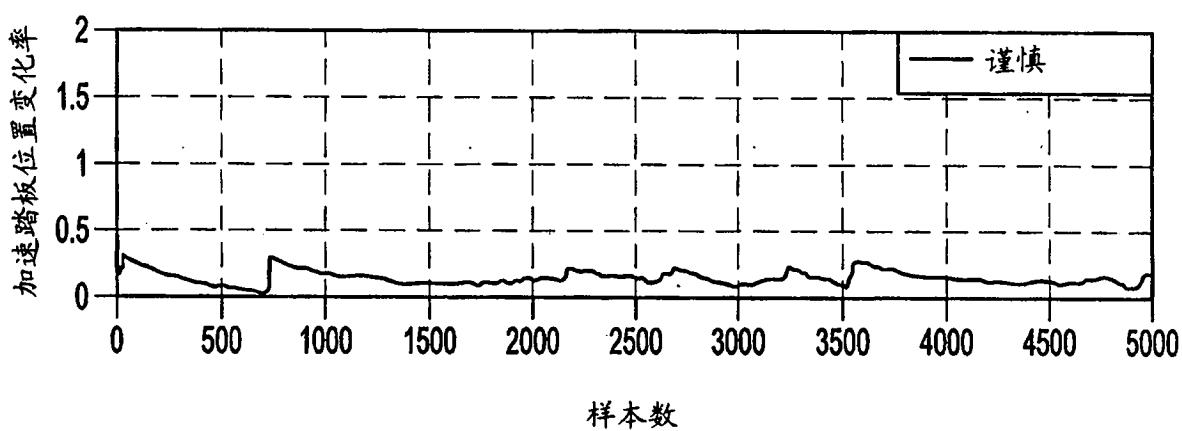


图 14B

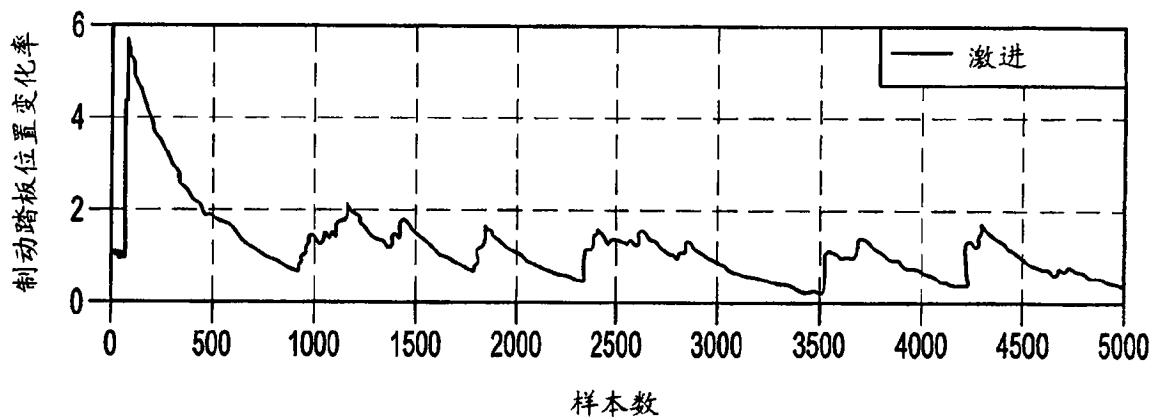


图 15A

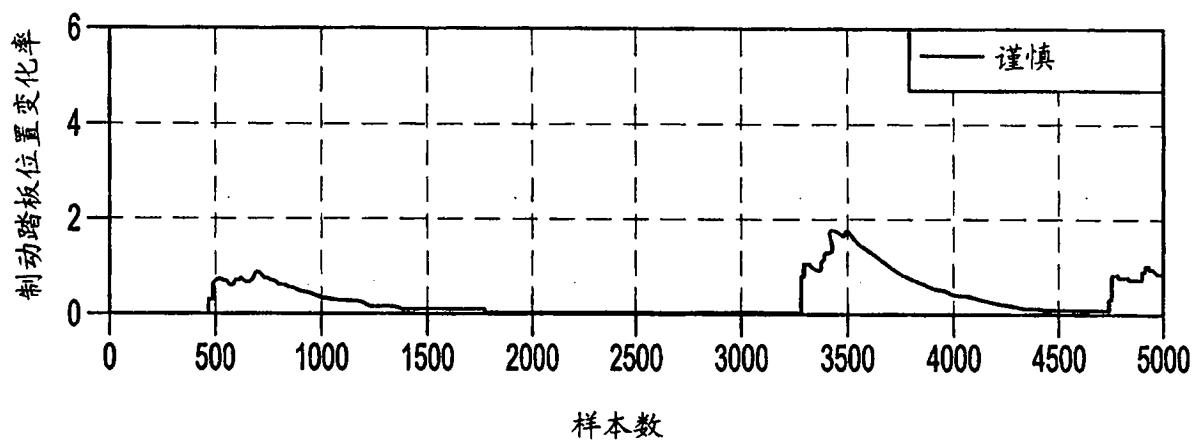


图 15B

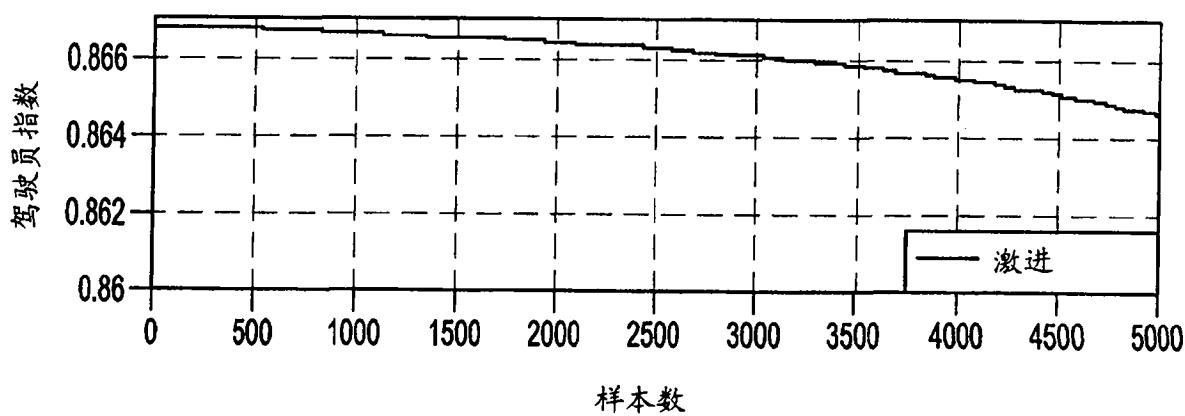


图 16A

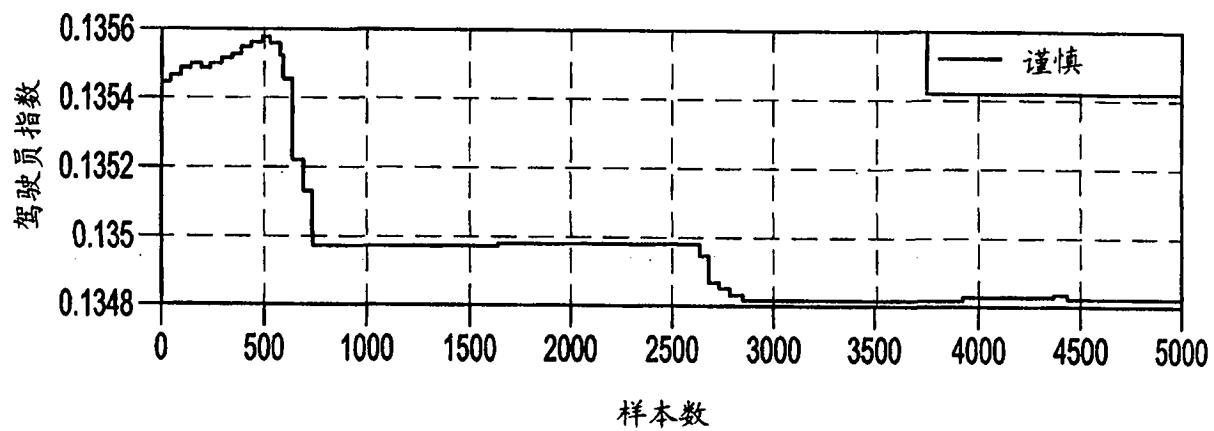


图 16B

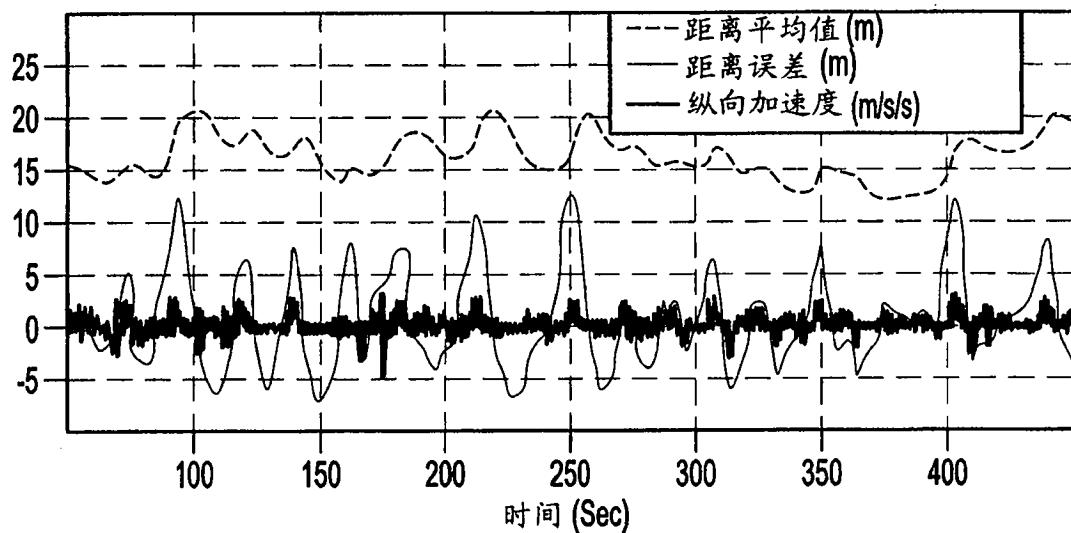


图 17

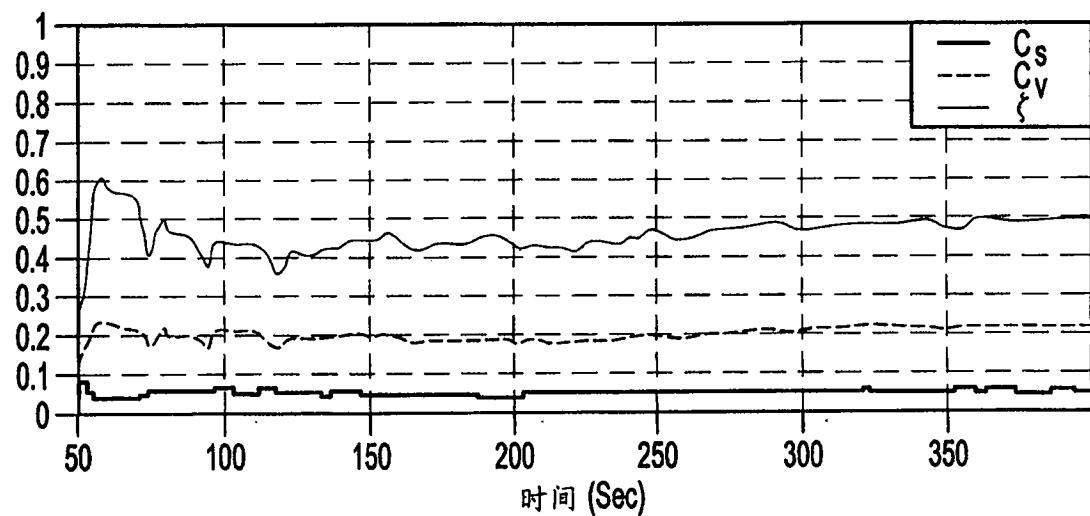


图 18

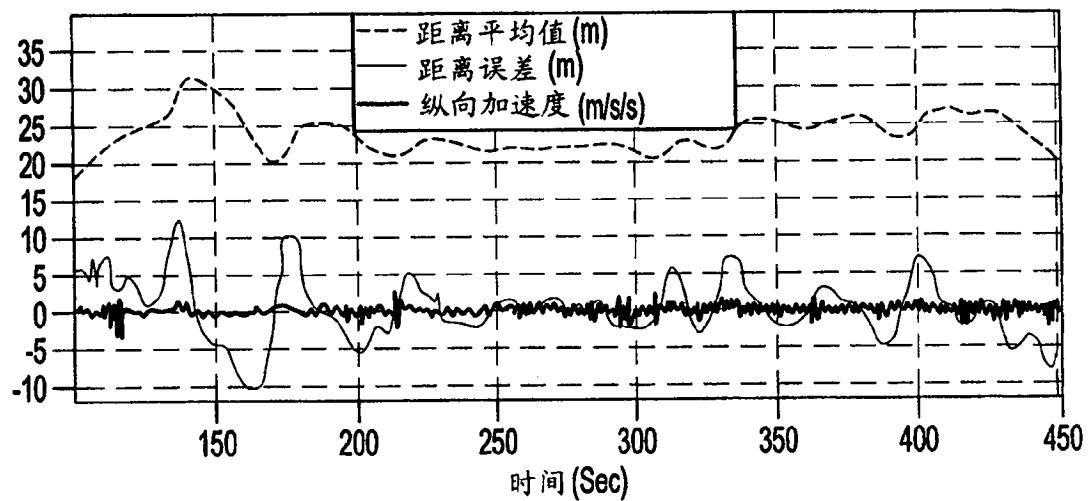


图 19

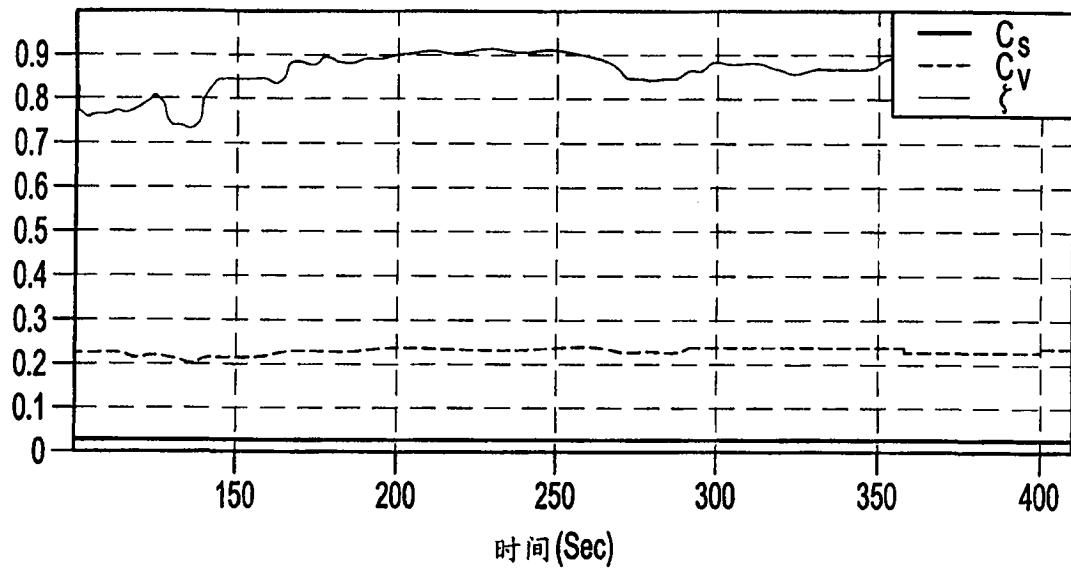


图 20

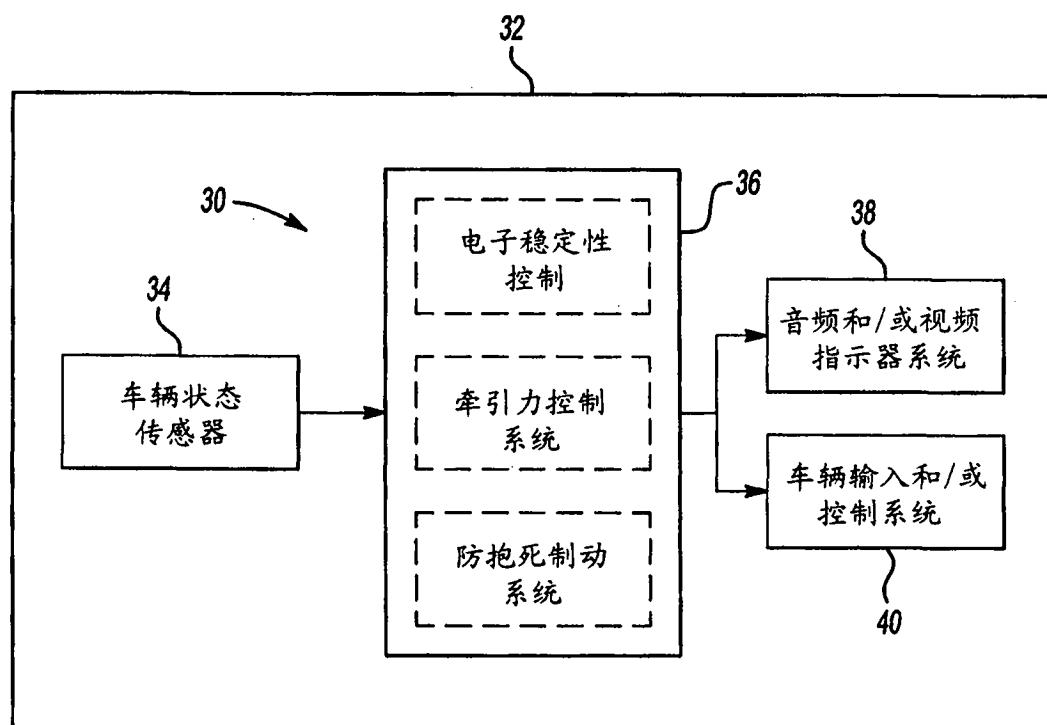


图 21

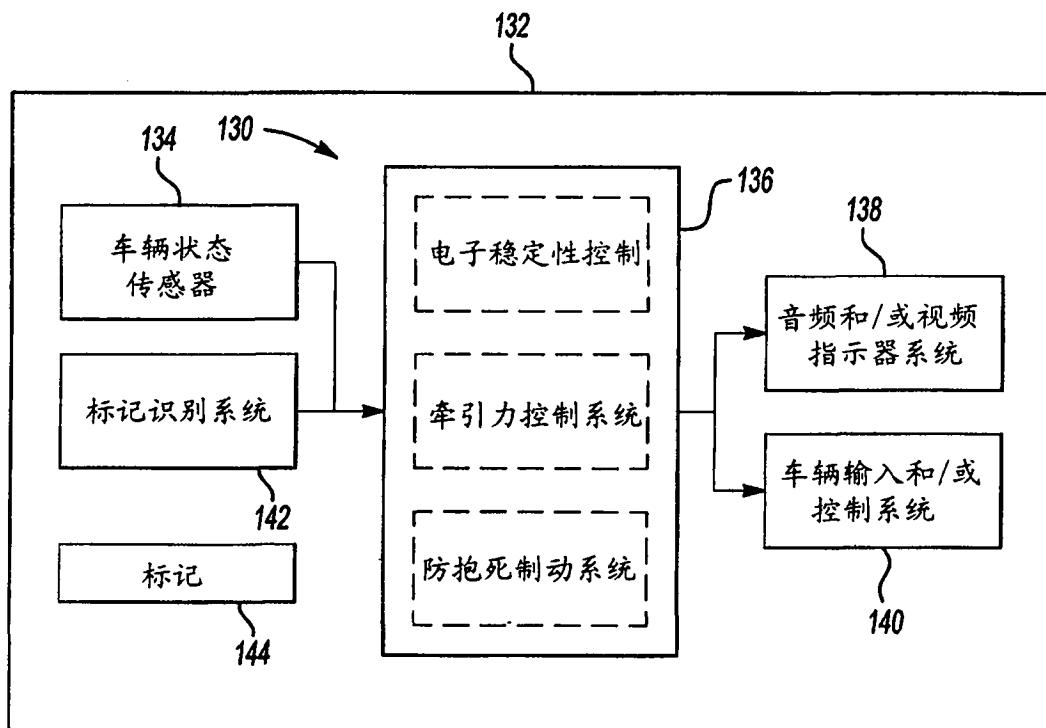


图 22

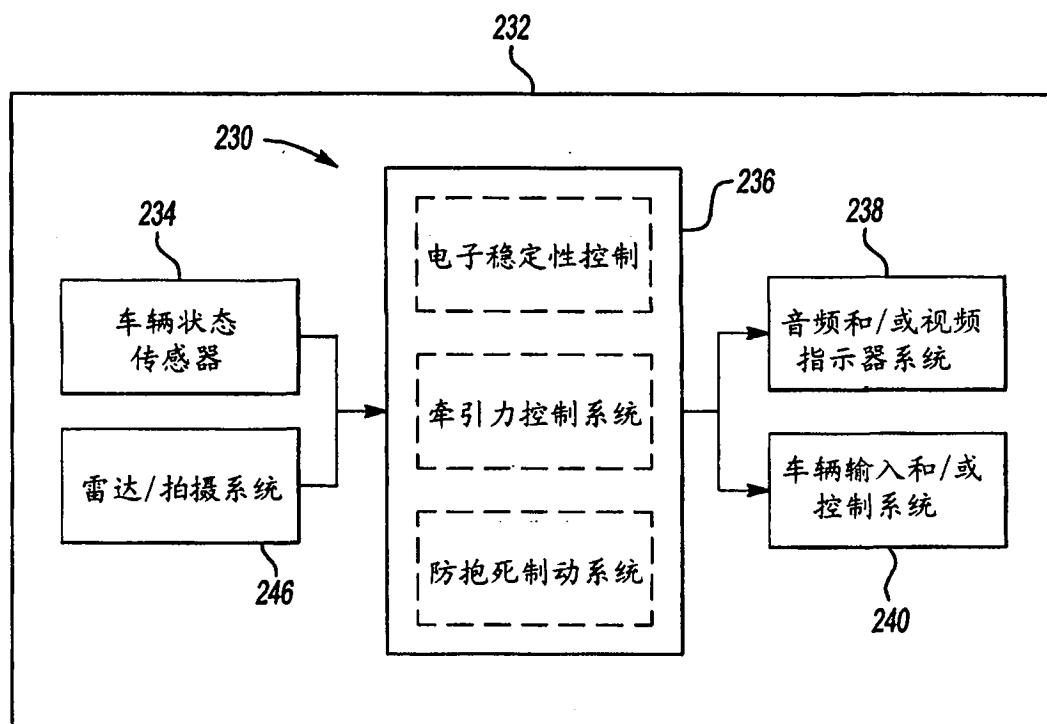


图 23