



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115243948 A

(43) 申请公布日 2022. 10. 25

(21) 申请号 202180018437.6

(22) 申请日 2021.02.23

(30) 优先权数据

102020202757.9 2020.03.04 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.09.01

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/DE2021/200020 2021.02.23

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2021/175383 DE 2021.09.10

(71) 申请人 大陆汽车科技有限公司

地址 德国汉诺威

(72) 发明人 P·凯斯勒

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

专利代理师 吴鹏 马江立

(51) Int.Cl.

B60W 30/02 (2012.01)

B62D 5/04 (2006.01)

B62D 6/00 (2006.01)

B62D 15/02 (2006.01)

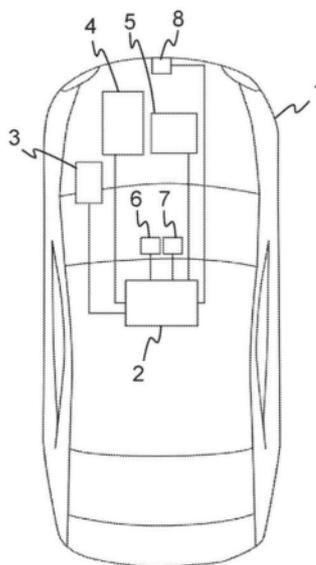
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

用于控制车辆的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于沿轨迹控制车辆(1)的方法,其中车辆(1)具有控制设备(2),该控制设备在轨迹的可限定的搜索空间内规划该轨迹并且可以访问车辆(1)的执行器(3、4、5),以便控制车辆(1)。为执行器(3、4、5)的至少一个控制变量确定至少一个极限值,并且使用至少一个极限值限定控制变量的搜索空间(9),其中,使用搜索空间(9)来规划轨迹。



1. 一种用于沿轨迹控制车辆(1)的方法,其中,  
该车辆(1)具有控制设备(2),该控制设备在轨迹的可限定的搜索空间内规划该轨迹并且能够访问该车辆(1)的执行器(3、4、5),以便控制该车辆(1),其中,  
为执行器(3、4、5)的至少一个控制变量确定至少一个极限值,  
基于该至少一个极限值限定该控制变量的搜索空间(9),其中,  
使用该搜索空间(9)来规划该轨迹。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,将转向系统(3)或转向系统(3)的EPS马达设置为该执行器。
3. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,将转向角和/或转向角速度和/或道路的曲率和/或EPS马达的马达扭矩设置为该控制变量。
4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,将该控制变量的向左的最大时间进展和该控制变量的向右的最大时间进展设置为该极限值,并且使这些最大时间进展与该规划器相协调。
5. 根据权利要求2至4中任一项所述的方法,其特征在于,确定当前施加给该EPS马达的力与最大可用力之间的差,并且使用该差来估计该EPS马达的潜力。
6. 根据前述权利要求中至少一项所述的方法,其特征在于,确定非线性摩擦力(F<sub>Fric</sub>),并且在考虑这些非线性摩擦力(F<sub>Fric</sub>)的情况下来确定该极限值。
7. 根据前述权利要求中至少一项所述的方法,其特征在于,确定道路力(F<sub>Str</sub>),并且在考虑这些道路力(F<sub>Str</sub>)的情况下来确定该极限值。
8. 根据前述权利要求中至少一项所述的方法,其特征在于,使用基于虚拟弹簧的建模来确定这些道路力(F<sub>Str</sub>)。
9. 根据前述权利要求中至少一项所述的方法,其特征在于,经由车辆速度和马达扭矩来确定该虚拟弹簧的弹簧刚度(c)。
10. 根据前述权利要求中至少一项所述的方法,其特征在于,使用最小二乘法、特别是使用递归最小二乘法(RLS)来确定该弹簧刚度(c)。
11. 根据前述权利要求中至少一项所述的方法,其特征在于,设置用于检测周围环境的至少一个传感器,特别是摄像机(6)和/或激光雷达传感器(7)和/或雷达传感器(8)和/或超声波传感器。
12. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,使用所检测到的环境来限定该搜索空间(9)和/或用于进行轨迹规划。
13. 一种具有程序代码的计算机程序,当该计算机程序在计算机上被执行时,该程序代码执行根据前述权利要求中至少一项所述的方法。
14. 一种包括指令的计算机可读存储介质,这些指令使计算机执行根据权利要求1至12中至少一项所述的方法,这些指令在该计算机上被执行。
15. 一种用于沿轨迹控制车辆(1)的控制设备(2),其特征在于,使用根据权利要求1至12中至少一项所述的方法来控制该车辆(1)。

## 用于控制车辆的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于沿轨迹控制车辆的方法。本发明还涉及一种被设计成使用根据本发明的方法来沿轨迹控制车辆的控制设备,而且涉及一种具有用于执行根据本发明的方法的程序代码的计算机程序,以及涉及一种使计算机执行根据本发明的方法的计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质在该计算机上被执行。

### 背景技术

[0002] 现代车辆,比如乘用车、卡车、机动两轮车或从现有技术中已知的其他运输工具,越来越多地配备有(驾驶员)辅助系统,这些辅助系统在合适的传感器或传感器系统的帮助下可以检测环境、识别交通状况并例如藉由制动或转向干预或者通过输出视觉或听觉警告来协助驾驶员。雷达传感器、激光雷达传感器、摄像机传感器、超声波传感器等经常用于检测环境的传感器系统。根据由传感器确定的传感器数据,可以得出有关环境的结论。然后可以基于这些结论来实施通用辅助功能,例如车道保持控制或者车道保持辅助(LKA-Lane Keep Assist)。

[0003] 此外,现代车辆通常包括电动转向功能或转向辅助(EPS=Electric Power Steering(电动助力转向)、EPAS=Electric Power Assisted Steering(电动助力辅助转向))或者通过减少要由驾驶员施加以便操作方向盘的力来辅助驾驶员的动力转向。例如,这可以凭借布置在转向系统的机构上(例如在转向柱或转向传动机构上)的电动伺服马达(EPS马达或电动助力转向马达)或者伺服电机,并且凭借由所施加的马达扭矩或伺服扭矩对驾驶员的转向运动的辅助或叠加来执行。在这种情况下,电动伺服马达和相关联的控制单元可以定位在转向系(C-EPS或转向柱助力式EPS)中、定位在转向传动机构小齿轮(P-EPS或小齿轮助力式EPS)上、或者平行/同心地围绕齿条(R-EPS或齿条助力式EPS)定位。此外,提供了传感器系统,该传感器系统包括绝对方向盘角度传感器、转向扭矩传感器和马达的相对转子位置角度传感器、以及(如果必要的话)电流传感器,例如,可以由该电流传感器估计马达扭矩或伺服扭矩。

[0004] 在辅助功能和自动驾驶领域,通常经由一系列规划器(例如机动动作规划器和轨迹规划器)和控制器对车辆进行控制。在这种情况下,控制器尝试遵循规划器生成的轨迹。然而,根据规划方法,可能发生规划器规划的轨迹无法或仅能非常困难地被控制器或被车辆行驶,这是由于规划器不知道或规划器无法处理的执行器限制导致。执行器因此可能达到它们的极限,并且可能在控制中出现饱和和效应(wind-up effect)。这意味着在规划周期期间,车辆可能偏离期望的轨迹,这意味着新规划的轨迹必须改变更多以补偿该偏离。这在规划器与控制器之间产生内部动态,这使得车辆的管理行为恶化,并且可以被驾驶员注意到,例如就像在车道中摆动一样。如果轨迹无法被行驶,则驾驶员必须进行干预。在规划和/或控制中存在模型预测方法,这些模型预测方法的优点是可以在规划期间以模型的形式考虑车辆动态和执行器限制。利用该方法,如果模型准确性高,则可以省去下级控制器。然而,随着模型复杂性增加,此类方法需要更多的计算工作量,然而对于简单的模型计算工作量

就已经非常高,结果是此外还考虑执行器动态和限制的模型是不切实际的。

[0005] DE 10 2016 221 723 A1披露了一种用于具有多个执行器或致动器(例如转向系统、动力传动系、行车制动器和驻车制动器)的车辆的控制系统。在这种情况下,控制系统包括用于控制车辆运动的模块、用于控制致动器的模块、用于指定要实施的车辆操作策略的模块、以及用于协调扭矩的模块,其中,施加在车辆上的运动要求用于形成由此产生并且具有纵向分量、横向分量和竖直分量的归一化要求向量。此外,控制系统被配置成基于车辆操作策略和要求向量形成在致动器之间分配的扭矩。

[0006] DE 10 2015 209 066 A1描述了一种用于车辆的成本降低的轨迹规划的方法,在该方法中,基于近似的结束时间来限制用于确定轨迹的搜索空间。在这种情况下,用于确定驾驶机动车动作的轨迹的搜索空间被限制于在近似的结束时间前后的特定范围,特别是在近似的结束时间前后的10%的范围,以便减少确定轨迹所需的计算工作量。

## 发明内容

[0007] 因此,本发明基于提供一种用于控制车辆的通用方法的目的,在该方法中,以简单且成本有效的方式改进了轨迹规划。

[0008] 上述目的通过权利要求1和独立权利要求的全部教导来实现。在从属权利要求中要求保护了本发明的有利设计方案。

[0009] 在根据本发明的用于沿轨迹控制车辆的方法中,车辆具有控制设备,该控制设备在可限定的搜索空间(轨迹的搜索空间或用于进行轨迹规划的搜索空间)内规划轨迹并且可以访问车辆的执行器,以便控制车辆,其中,为执行器的至少一个控制变量确定至少一个极限值,并且基于一个或多个极限值来限定控制变量的搜索空间。然后使用控制变量的搜索空间来规划轨迹。在这种情况下,控制变量的搜索空间构成轨迹的搜索空间的子空间,这意味着限制控制变量的搜索空间也隐含地限制了轨迹的搜索空间。根据本发明的方法因此可以计算与执行器动态相关的轨迹。此外,例如与将执行器动态集成到MPC(model predictive control、模型预测控制)模型中的方法相比,这可以节省大量计算时间。由于该方法与规划器分离的事实,因此该方法还可以用于不同的规划器方法,从而也可以容易地考虑马达扭矩和转向速度的软件限制以及转向系统的劣化。由此更进一步提高操作可靠性。此外,所描述的方法也可以用于多个执行器并且独立于复杂的车辆模型。

[0010] 优选地将车辆的转向系统或电动转向系统的EPS马达设置为执行器。

[0011] 可以方便地将转向角和/或转向角速度和/或道路的曲率和/或EPS马达的马达扭矩设置为控制变量。

[0012] 有利地,可以将控制变量的向左的最大时间进展和控制变量的向右的最大时间进展设置为极限值,然后使这些最大时间进展与规划器相协调。如果将转向角设置为控制变量或作为控制变量之一,则这可以优选地是向左的最大转向角和向右的最大转向角。替代性地或另外地,还可以将(车道的)向左的最大可行驶曲率和(车道的)向右的最大可行驶曲率设置为极限值。

[0013] 根据本发明的进一步的有利配置,可以确定当前施加给EPS马达的力与最大可用力之间的差,例如凭借EPS或EPS马达的功率在开始时设置或者可由EPS作为输入信号以供预测的事实。这得到的优点是也可以表示不同的劣化水平,例如,如果只有功率的仅一部分

可用。因此,例如,可以凭借越来越大的差指示劣化水平越来越大而使用差来估计EPS马达的潜力和/或检查EPS马达的功率。

[0014] 此外,可以确定转向系统的非线性摩擦力,其中,在考虑非线性摩擦力的情况下来确定极限值。

[0015] 可以方便地估计道路力,结果是可以在考虑道路力的情况下来确定极限值。

[0016] 在这种情况下,可以使用基于虚拟弹簧的建模来确定道路力。

[0017] 可以有利地经由车辆速度和马达扭矩来确定或计算虚拟弹簧的弹簧刚度。例如,可以使用由纯速度相关的第一部分(例如来自车辆速度)以及速度相关且扭矩相关的第二部分(例如来自车辆速度和最大可用马达扭矩或EPS扭矩)组成的数学项来描述弹簧刚度。

[0018] 在这种情况下,优选地使用估计方法、例如最小二乘法、特别是使用递归最小二乘(RLS)法,来确定弹簧刚度。然而,替代性地,也可以使用其他估计或估计方法。例如,可以提供例如也可以离线执行并且不需要递归方法(比如RLS)的初始估计。尽管这种方法独立于方法流程,但它可能严重依赖于其他参数,例如所使用的轮胎。

[0019] 此外,可以设置用于检测周围环境的至少一个传感器,特别是摄像机和/或激光雷达传感器和/或雷达传感器和/或超声波传感器。可以使用来自一个或多个传感器的传感器数据来检测车辆环境和位于其中的物体和道路使用者。在这种情况下,也可以融合来自多个传感器的传感器数据,以便改进对环境和物体的检测。

[0020] 以实际的方式,所检测到的车辆周围环境(包括位于其中的物体和道路使用者)可以用于限定控制变量的和/或用于进行轨迹规划的搜索空间。这可以例如通过另外限制可能的轨迹的搜索空间来执行,因为由传感器检测到的物体位于先前受限的搜索空间中。此外,可以在轨迹规划期间或之后以考虑避免碰撞的方面的方式选择要沿着行驶的轨迹,例如,通过选择沿着道路的路线延伸并且不与其他物体/道路使用者碰撞的轨迹。

[0021] 本发明还包括具有程序代码的计算机程序,当该计算机程序在计算机中或者在现有技术已知的另外的可编程计算机中被执行时,该计算机程序执行根据本发明的方法。因此,该方法也可以是纯计算机实现的方法的形式,其中在本发明的意义上,术语“计算机实现的方法”描述了使用计算机实施或执行的方法流程或过程。计算机,例如计算机网络或现有技术中已知的另外的可编程设备(例如包括处理器、微控制器等的计算机设备)在这种情况下可以使用可编程的计算规则来处理数据。

[0022] 此外,本发明还涉及一种包括指令的计算机可读存储介质,这些指令使计算机执行如前述权利要求中至少一项所述的方法,这些指令在该计算机上被执行。

[0023] 并列地或隶属地,本发明还包括一种用于沿轨迹控制车辆的控制设备,该控制设备被设置成使得使用根据本发明的方法来控制车辆。

[0024] 在本发明的含义内,术语“车辆轨迹的或者用于进行轨迹规划的搜索空间”被理解为控制单元在其内搜索可能的可行驶轨迹的空间和时间延伸范围,其中,可以在搜索空间内规划多个轨迹,以便然后选择适合于情况的相应轨迹。在本发明的含义内,术语“控制变量的搜索空间”被理解为控制单元在其内搜索可能的控制变量的空间和时间延伸范围。在这种情况下,控制变量的搜索空间构成了车辆轨迹的搜索空间的子空间。

[0025] 在本发明的含义内,术语“极限值”被理解为控制变量的最大值或最小值,即其例如沿着行驶的距离或时间 $t$ 的进展可以被检测的最大值或最小值。

[0026] 本发明还明确包括特征或权利要求的未明确提及的特征组合、所谓的子组合。

## 附图说明

[0027] 下面参考有利的示例性实施例更详细地描述本发明。在这种情况下：

[0028] 图1示出了车辆的简化示意图，其中使用根据本发明的方法来预测最大控制变量；

[0029] 图2示出了虚拟刚度对车辆速度和最大EPS扭矩的相关性的简化示意图；

[0030] 图3示出了使用根据本发明的方法限制的转向角的搜索空间的简化图，以及

[0031] 图4示出了根据本发明的方法的流程图的简化示意图。

## 具体实施方式

[0032] 图1中的附图标记1表示具有各种执行器(转向系统3、动力设备4、制动器5)的车辆，该车辆具有控制设备2(ECU、电子控制单元)，该控制设备可以针对一个或多个执行器动态执行轨迹规划。在这种情况下，轨迹是使用轨迹规划器计算的，其中，对相应执行器的最大控制变量进行预测，特别是在关于轨迹规划器的搜索空间限制的横向方向上，并且将对最大控制变量的预测用于进行轨迹规划。在这种情况下，轨迹规划器可以是控制设备2的硬件模块的形式或者纯软件模块的形式。车辆1还具有用于检测周围环境的传感器(摄像机6、激光雷达传感器7和雷达传感器8)，来自这些传感器的传感器数据用于识别周围环境和物体，结果是可以实施各种辅助功能，例如紧急制动辅助(EBA、电子制动辅助)、自适应巡航控制(ACC、自动巡航控制)、车道保持控制或车道保持辅助(LKA、Lane Keep Assist)等。以实际的方式，辅助功能也可以经由控制设备2或专用控制设备来执行。

[0033] 根据本发明的方法通常可以应用于在通用车辆中找到的所有执行器，因此也可以应用于通用运输工具中使用的所有转向系统类型。因此，该方法也可以应用于具有额外执行器的车辆，即还具有前桥和后桥转向的车辆。下面通过示例参考具有前桥转向的车辆描述根据本发明的方法，其中，转向角 $\delta$ 用作控制变量，即首先可以测量当前转向角 $\delta$ 作为起始值。这里可以假设所使用的轨迹规划器方法可以处理最大转向角 $\delta_{\max}$ 。然而，替代性地或附加地，也可以是其他控制变量，例如转向角速度或曲率。转向系统中的力平衡可以用数学方法描述如下：

[0034] (1)  $m_{\text{EPS}} \cdot a = F_{\text{Mot}} - d \cdot v - F_{\text{摩擦}} - F_{\text{载荷}}$ ，在这种情况下， $m_{\text{EPS}}$ 是转向系统的累计质量、 $a$ 是齿条的加速度、 $F_{\text{Mot}}$ 是EPS马达提供的力、 $d$ 是EPS的阻尼、 $v$ 是齿条的速度、 $F_{\text{摩擦}}$ 是EPS的非线性摩擦、 $F_{\text{载荷}}$ 是施加给EPS的载荷，该载荷包括道路力 $F_{\text{Str}}$ 和来自方向盘的力。例如当正在道路上驾驶时，此类道路力施加在车辆车轮上。为了消散这些道路力的能量传递，通常在车辆悬架系统中使用弹簧或阻尼器组件。

[0035] 基于在没有任何干扰的情况下可用的执行器功率方便地确定最大控制变量。在这种情况下，可以忽略干扰变量，比如被包括在来自方向盘的力中的驾驶员手动扭矩。忽略外部作用的干扰变量，例如侧风，这是因为这种干扰可以通过例如控制来得到补偿。另一方面，剩余的道路力 $F_{\text{Str}}$ 以及因此 $F_{\text{载荷}}$ 不能被轻易地忽略，这是因为道路力 $F_{\text{Str}}$ 和 $F_{\text{载荷}}$ 对最大转向角有显著影响，因此不被视为干扰，因为它们总是出现。在单轨模型中在车辆层面观察道路力 $F_{\text{Str}}$ 表明，这些道路力取决于当前的转向角、车辆速度和道路摩擦系数。但是，这里可以忽略道路摩擦系数的影响，结果是只考虑具有高摩擦系数的场景。这是可以

实现的,因为虽然减小的摩擦系数会引起更高的最大转向角,但这并不一定会引起更高的可行驶曲率,因此也不会引起可行驶轨迹。相应地,道路力 $F_{Str}$ 对转向角和车辆速度的依赖性仍然存在。由于用于对道路力 $F_{Str}$ 建模的转向角依赖性,因此使用了具有车辆速度相关的弹簧刚度 $c$ 的虚拟弹簧。弹簧刚度 $c$ 还依赖于最大地设置的EPS扭矩 $M_{Mot\_max}$ ,如图2所示。这是由非线性(如齿条行程与车轮转向角之间的传动比或者转向角相关的后续运行)引起的。

[0036] 因此,从等式(1)得出以下结果:

[0037] (2)  $m_{EPS} \cdot a = F_{Mot} - d \cdot v - F_{摩擦} - c(v_{veh}, M_{Mot\_max}) \cdot x$ 。

[0038] 在这种情况下, $v_{veh}$ 是车辆速度,并且 $x$ 是齿条位置,可以使用传动比 $i$ 将该齿条位置换算成转向角 $\delta$ 。在这种情况下,项 $c(v_{veh}, M_{Mot\_max})$ 由纯速度相关部分 $c_1(v_{veh})$ 以及速度相关且扭矩相关部分 $c_2(v_{veh}, M_{Mot\_max})$ 组成:

[0039] (3)  $c(v_{veh}, M_{Mot\_max}) = c_1(v_{veh}) + c_2(v_{veh}, M_{Mot\_max})$ 。

[0040] 这可以用于得出弹簧刚度 $c$ 的查找表(根据图2),例如,可以从在不同速度下对转向系统的阶跃激励得出该查找表。例如,可以基于速度使用RLS(递归最小二乘法)算法来估计和调整弹簧刚度 $c$ 。在这种情况下,只需要调整 $c_1(v_{veh})$ ,因为项 $c_2(v_{veh}, M_{Mot\_max})$ 反映了结构性的、不变的关系。因此,在这种情况下,应该预测向左和向右的最大可设置的转向角 $\delta$ ,在这种情况下,为 $F_{Mot}$ 选择EPS马达仍然可以设置的最大力并将其作为阶跃施加,该阶跃用马达时间常数 $T_{Mot}$ 根据以下方式滤波:

[0041] (4)  $F_{Mot} = 1 / (T_{Mot} \cdot s + 1) \cdot F_{Mot\_max}$ 。

[0042] 在这种情况下, $F_{Mot\_max}$ 是当前施加的力与最大可用力之间的差。最大可用力可以使用EPS的功率来确定,或者可由EPS作为输入信号以供预测。例如,如果功率中的仅一部分可用,则这可以表示EPS马达的不同劣化水平。非线性摩擦 $F_{摩擦}$ 对应于系统中的静摩擦并且也可以经由马达力 $F_{Mot}$ 中的所谓死区来考虑,因为只考虑了恒定的运动方向,静摩擦的滞后效应因此不起作用。因此得出下式:

[0043] (5)  $F_{Mot\_Fric} = 0$ , 如果  $|F_{Mot}| < F_{粘附}$

[0044]  $F_{Mot} - F_{粘附}$ , 如果  $F_{Mot} > F_{粘附}$

[0045]  $F_{Mot} + F_{粘附}$ , 如果  $-F_{Mot} < F_{粘附}$ 。

[0046] 这里, $F_{粘附}$ 是粘附力的幅度。此外,由等式(2)得到等式(6):

[0047] (6)  $m_{EPS} \cdot a = F_{Mot\_Fric} - d \cdot v - c(v_{veh}, M_{Mot\_max}) \cdot x$ , 其对应于二阶延迟环节。在这种情况下,可以将阻尼 $d$ 选择为常数。

[0048] 因此,可以通过根据等式(6)中的加速度进行转换和二重积分来预测最大齿条位置或最大转向角 $\delta_{max}$ 。然后可以对时间 $t$ 上向右的最大转向角( $\delta_{max\_re}$ )和向左的最大转向角( $\delta_{max\_li}$ )的所得向量进行采样,以便减少要发送并转发给规划器作为反馈信号的数据量。这两个向量指示控制变量的搜索空间的上极限和下极限,轨迹规划器可以在该搜索空间中搜索最优解,如图3所示,使用有限搜索空间 $\theta$ ,该有限搜索空间使用两个向量 $\delta_{max\_re}$ 、 $\delta_{max\_li}$ 之间的虚线展示。

[0049] 在根据图4的方法流程的示例性实施例中,输出针对具有前桥转向的车辆的预测的向左和向右的转向角的最大时间进展。在这种情况下,首先确定或测量转向角 $\delta$ 作为起始值(转向角确定12),并且例如使用所描述的查找表(参见图2)来确定弹簧刚度 $c$ (弹簧刚度

的确定10)。此外,尤其基于当前施加的马达扭矩(马达扭矩检测),即当前施加的马达扭矩  $M_{Mot}$ ,来确定马达特性和特征11a(左侧)和11b(右侧)。马达特性和特征可能向左和向右是不同的,例如由于转向系统不对称或人为引入的不对称,例如在LDP(车道偏离保护)功能的过程中,在该过程中,在朝向更靠近车道边界的方向上转向更加受限。然后可以基于弹簧刚度以及马达特性和特征来预测最大控制变量的进展,在这种情况下为向左的最大转向角(左侧13的预测)和向右的最大转向角(右侧14的预测)。然后将预测的转向角转发给规划器15。如果车辆也具有后桥转向,则可以以与前桥转向角相同的方式来确定后桥转向角,即针对后桥转向在后桥上有两个另外的向量,一个针对向左的最大转向角,一个针对向右的最大转向角。因此,图4中的方法流程一方面描述了用于确定前桥或后桥的最大转向角的方法流程。替代性地或附加地,要行驶的曲率可以用作控制变量,而不管是否存在后桥转向。这种配置的优点是只出现两个向量(向左的最大曲率和向右的最大曲率),即使存在后桥转向也是如此。然而,随后应该再次提供车辆模型以进行确定。

[0050] 以实际的方式,预测的控制变量极限也可以用于控制器中的抗饱和概念。此外,还可以使用根据图2的关系和刚度的查找表来估计车辆的载荷。

[0051] 附图标记列表:

[0052]	1	车辆
[0053]	2	控制设备
[0054]	3	转向系统
[0055]	4	动力设备
[0056]	5	制动器
[0057]	6	摄像机
[0058]	7	激光雷达传感器
[0059]	8	雷达传感器
[0060]	9	(控制变量或转向角的) 搜索空间
[0061]	10	弹簧刚度的确定
[0062]	11a	马达特性和特征(左侧)
[0063]	11b	马达特性和特征(右侧)
[0064]	12	转向角确定
[0065]	13	左侧的最大转向角的预测
[0066]	14	右侧的最大转向角的预测
[0067]	15	轨迹规划器
[0068]	$\delta$	转向角
[0069]	c	弹簧刚度

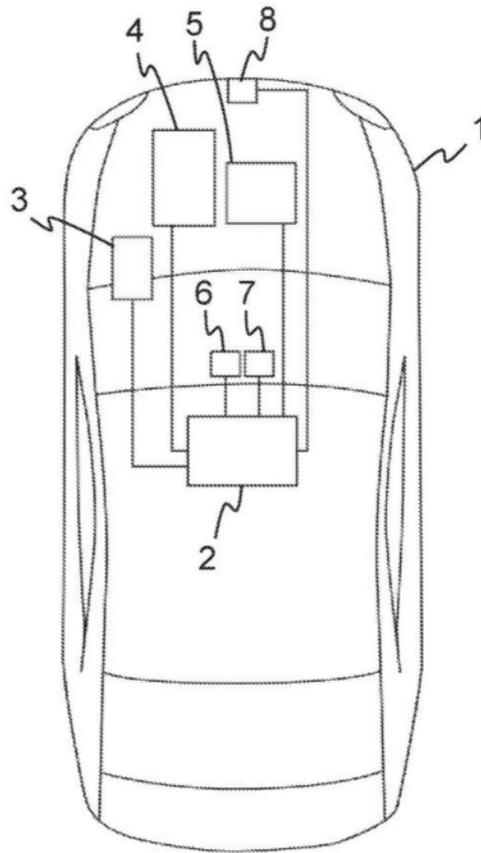


图1

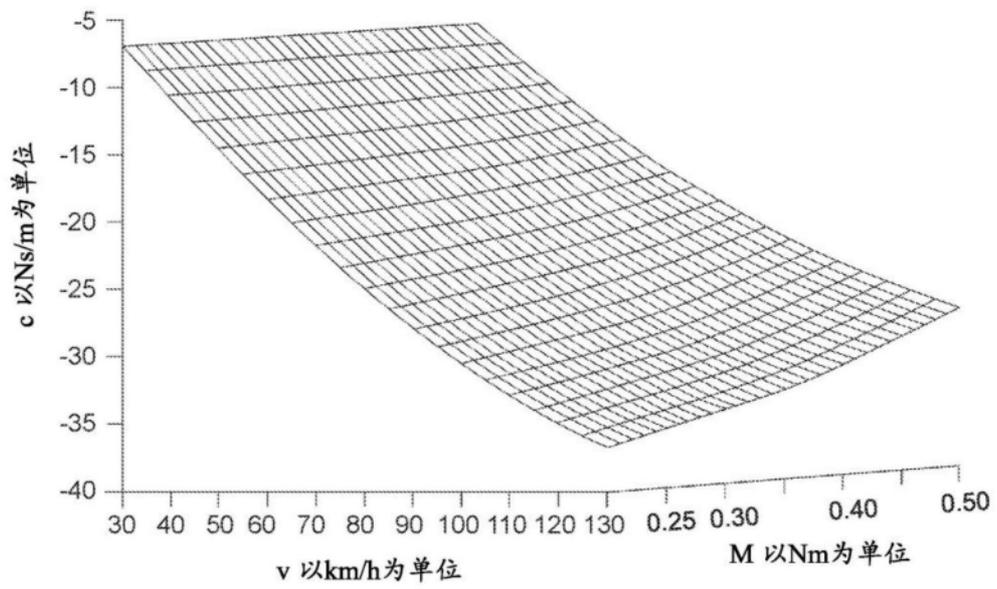


图2

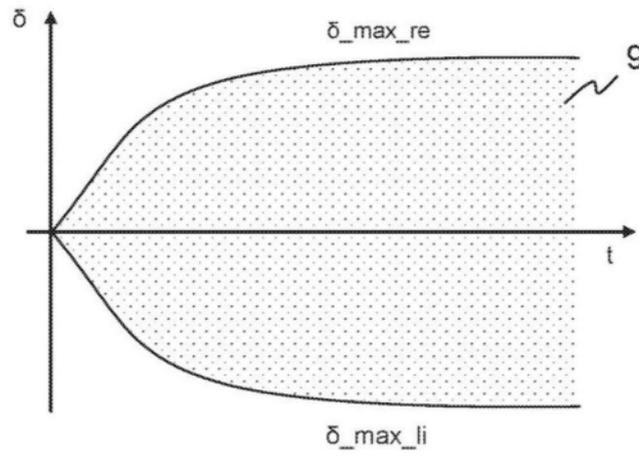


图3

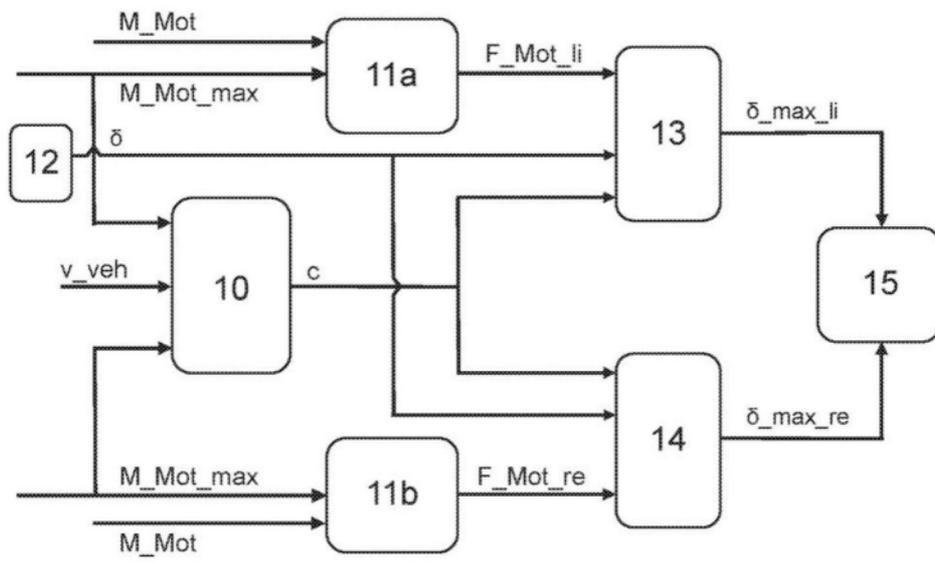


图4