(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 114604247 A
(43)申请公布日 2022.06.10

(21)申请号 202111346414.6

(22)申请日 2021.11.15

(30)优先权数据
20209772.1 2020.11.25 EP

(71)申请人 沃尔沃卡车集团
地址 瑞典,哥德堡

(72)发明人 阿迪耶·阿里凯雷 里奥·莱恩 里昂·亨德森 西德汉特·雷

(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司 11219
专利代理师 车文 赵晓祎

(51)Int.Cl.
B60W 30/18(2012.01)
B60W 10/08(2006.01)
B60W 10/184(2012.01)

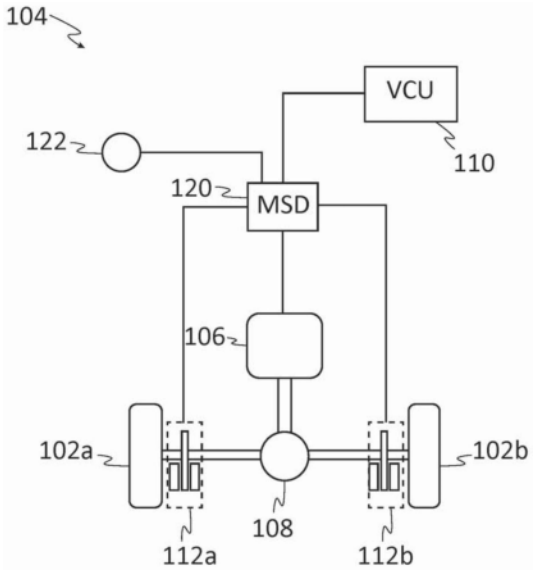
权利要求书3页 说明书12页 附图4页

(54)发明名称

用于控制车辆的车轮滑移的系统和方法

(57)摘要

一种用于控制车辆的车轮滑移的系统和方法,尤其是,本发明涉及用于控制车辆的车轮滑移的系统和在车辆控制单元VCU中执行的方法,其中,该车辆包括由至少主致动器通过开放式差速器驱动的至少两个车轮。该主致动器被控制以产生主致动器的滑移λ_{em}的速度旋转。通过将可配置值与主致动器的滑移λ_{em}相加来确定带符号的车轮滑移极限λ_{lim},使得$\lambda_{lim}>\lambda_{em}$。所述至少两个车轮被控制,使其以产生小于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}的相应车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转,其中,λ_l、λ_r和λ_{em}中的每一个都是带符号的数值。



CN 114604247 A

1.一种用于控制车辆(100)的车轮滑移的系统(104),其中,所述车辆包括:至少两个车轮(102、102a、102b),所述至少两个车轮(102、102a、102b)由至少一个主致动器(106)通过开放式差速器(108)驱动;和单独的副致动器(112a、112b),所述单独的副致动器(112a、112b)用于分别向单独的车轮提供附加力,

所述系统包括车辆控制单元VCU(110)和运动支持装置MSD(120),

其中,所述VCU(110)被配置成:

-请求所述主致动器(106)以产生所述主致动器的滑移λ_{em}的速度旋转,

-通过将可配置值与所述主致动器的滑移λ_{em}相加来确定带符号的车轮滑移极限λ_{lim},使得$\lambda_{lim}>\lambda_{em}$,并且

-向所述运动支持装置MSD(120)发送控制信号,用于控制所述车辆的所述至少两个车轮(102a、102b)以产生低于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}的相应的车轮滑移λ_l、λ_r车轮速度旋转,其中λ_l、λ_r和λ_{em}中的每一个都是带符号的数值,

其中,所述MSD(120)被配置成:

-从所述VCU(110)接收所述控制信号,

-计算所述至少两个车轮中的每一个车轮的当前相应的车轮滑移λ_l、λ_r或能够转换为所述相应的车轮滑移λ_l、λ_r的当前相应的旋转速度,并且

-基于所接收到的控制信号,当所述当前相应的车轮滑移λ_l、λ之一超过所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}时,则所述MSD(120)被配置成激活具有超标的车轮滑移的车轮的相应的副致动器(112a、112b),以便将扭矩传递到另一个(或多个)车轮。

2.根据权利要求1所述的系统(104),其中,所述可配置值是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的阈值$\lambda_{thr}$。

3.根据权利要求2所述的系统(104),其中,所述阈值λ_{thr}是固定值。

4.根据权利要求1-2中的任一项所述的系统(104),其中,所述VCU(110)被配置成适当地基于一个或多个车辆行驶参数的当前状态来动态地配置所述可配置值,所述车辆行驶参数例如是所述车辆(100)的当前速度。

5.根据权利要求1-3中的任一项所述的系统(104),其中,所述可配置值是从所述主致动器(106)的滑移λ_{em}的函数获得的。

6.根据权利要求1-3中的任一项所述的系统(104),其中,所述可配置值是使用所述主致动器(106)的滑移λ_{em}作为索引从查找表中获得的。

7.根据权利要求1-3中的任一项所述的系统(104),其中,所述带符号的车轮滑移极限$\lambda_{lim}=\lambda_{em}+\lambda_{thr}$,其中$\lambda_{thr}$是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的定义阈值。

8.根据权利要求1-3中的任一项所述的系统(104),其中,当所述车辆(100)加速或减速时,所述VCU(110)被配置成:控制所述至少两个车轮(102a、102b)以产生等于或大于零但小于$2\lambda_{em}$的相应的车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转。

9.根据权利要求1-3中的任一项所述的系统(104),其中,所述VCU(110)被配置成基于以下等式请求所述主致动器(106)以产生所述主致动器的滑移λ_{em}的旋转速度ω_{em}旋转:

$$\lambda_{em}=\frac{\omega_{em}i_g i_{fd}R-v_x}{\max\left(\left|\omega_{em}i_g i_{fd}R\right|,\left|v_x\right|\right)}$$

其中，i_g是齿数比，i_{fd}是最终传动比，R是车轮半径，v_x是车辆速度。

10.根据权利要求1-3中的任一项所述的系统(104)，其中，所述主致动器(106)是电机(106)，和/或其中，所述副致动器(112a、112b)是用于向相应的车轮提供摩擦力的行车制动器(112a、112b)。

11.一种在车辆控制单元VCU中执行的用于控制车辆的车轮滑移的方法(200)，其中，所述车辆包括由至少一个主致动器通过开放式差速器驱动的至少两个车轮，所述方法包括：

-请求(S1)所述主致动器以产生所述主致动器的滑移λ_{em}的速度旋转，

-通过将可配置值与所述主致动器的滑移λ_{em}相加来确定(S2)带符号的车轮滑移极限λ_{lim}，使得$\lambda_{lim}>\lambda_{em}$，以及

-控制(S3)所述车辆的所述至少两个车轮以产生低于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}的相应的车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转，其中，λ_l、λ_r和λ_{em}中的每一个都是带符号的数值。

12.根据权利要求11所述的方法，其中，所述可配置值是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的阈值$\lambda_{thr}$。

13.根据权利要求12所述的方法，其中，所述阈值λ_{thr}为固定值。

14.根据权利要求11-12中的任一项所述的方法，包括适当地基于一个或多个车辆行驶参数的当前状态来动态地配置所述可配置值，所述车辆行驶参数例如是所述车辆的当前速度。

15.根据权利要求11-13中的任一项所述的方法，其中，所述可配置值是根据所述主致动器的滑移λ_{em}的函数获得的。

16.根据权利要求11-13中的任一项所述的方法，其中，所述可配置值是使用所述主致动器的滑移λ_{em}作为索引从查找表中获得的。

17.根据权利要求11-13中的任一项所述的方法，其中，所述带符号的车轮滑移极限$\lambda_{lim}=\lambda_{em}+\lambda_{thr}$，其中$\lambda_{thr}$是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的定义阈值。

18.根据权利要求11-13中的任一项所述的方法，还包括：

-当所述车辆加速或减速时，控制所述至少两个车轮以产生等于或大于零但小于$2\lambda_{em}$的相应的车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转。

19.根据权利要求11-13中的任一项所述的方法，还包括：

-基于以下等式控制所述主致动器以产生所述主致动器的滑移λ_{em}的旋转速度ω_{em}旋转：

$$\lambda_{em}=\frac{\omega_{em}i_g i_{fd}R-v_x}{\max\left(\left|\omega_{em}i_g i_{fd}R\right|,\left|v_x\right|\right)}$$

其中i_g是齿数比，i_{fd}是最终传动比，R是车轮半径，v_x是车辆速度。

20.根据权利要求11-13中的任一项所述的方法，其中，所述主致动器(106)是电机(106)。

21.一种计算机可读介质(710)，所述计算机可读介质(710)携载有包括程序代码组件(720)的计算机程序，所述程序代码组件(720)用于当所述计算机程序在计算机上或在车辆控制单元VCU(110)的处理电路上运行时执行权利要求11-20中的任一项所述的方法。

22.一种车辆控制单元VCU(110)，用于控制车辆(100)的车轮滑移，所述控制单元被配置成执行根据权利要求11-20中的任一项所述的方法。

23.一种车辆(100)，其包括根据权利要求1-10中的任一项所述的系统(104)或根据权

利要求22所述的车辆控制单元VCU(110)。

用于控制车辆的车轮滑移的系统和方法

技术领域

[0001] 本公开涉及一种用于控制车辆的车轮滑移的系统。本公开还涉及一种在车辆控制单元中执行的用于控制车辆的车轮滑移的方法。此外，本公开涉及一种计算机程序、计算机可读介质和车辆控制单元。此外，本公开还涉及一种包括这种系统或这种车辆控制单元的车辆。

[0002] 本发明可以应用于重型车辆，例如卡车、公共汽车和建筑设备。尽管将针对诸如半挂车和卡车的货物运输车辆来描述本发明，但本发明不限于这种特定车辆，而是也可用在诸如轿车的其它车辆中。

背景技术

[0003] 重型车辆的制动系统是车辆安全运行的关键。制动系统不仅在需要时限制车辆速度，而且在维持车辆稳定性方面起到重要作用。例如，如果车辆的左轮在道路的结冰区域上行驶，导致摩擦力和抓地力降低，而相应的右轮在道路不滑的部分上行驶，则可以激活制动系统以补偿并抵消所出现的滑移情况。

[0004] 请求特定轮胎力的常用方法是在致动器级别使用扭矩控制。然而，这种方法具有显著的性能限制。如果出现安全危急或过度滑移的情况，则相关的安全功能(牵引力控制、防抱死制动等)就会介入并请求扭矩超控(override)，以使滑移恢复控制。这样做的一个问题是：由于滑移控制和致动器的主要控制被分配给两个不同的控制器，所以它们之间的通信所涉及的延迟显著限制了滑移控制性能。

[0005] 上述方法的解决方案可以是使用轮胎模型将扭矩请求转换为车轮滑移请求。因此，不是争取在致动器级别控制的特定轮胎力，而是通过控制车轮滑移(即，车轮的旋转速度)可以获得更快的控制响应。然而，当左轮和右轮由电机通过开放式差速器驱动时，在差异化摩擦场景(有时也称为双摩擦系数场景(split-mu scenarios))期间，致动器之间滑移极限或目标的协调具有挑战性。缺乏对致动器的滑移极限的适当选择可能导致牵引力损失和/或致动器彼此“冲突”。因此，希望为包括由电机通过开放式差速器驱动的左轮和右轮的车辆提供改进的车轮滑移控制。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种减轻现有技术缺点的系统。通过根据本公开的第一方面的系统来实现该目的和将在下文中变得明显的其它目的。

[0007] 本发明构思是基于以下认识：通过设定带符号的车轮滑移极限(signed wheel slip limit)，并且通过在车辆一侧上的车轮的车轮滑移超过所述带符号的车轮滑移极限时激活致动器(例如行车制动器)，扭矩可以有效地被传递到车辆另一侧上的车轮。以此方式，可以有效地降低致动器彼此冲突的风险。在下文中将讨论不同的方面及示例性实施例。

[0008] 根据本公开的第一方面，提供了一种用于控制车辆的车轮滑移的系统，其中，该车辆包括由至少一个主致动器(例如电机)通过开放式差速器驱动的至少两个车轮、以及用于

分别向单独的车轮提供附加力(例如摩擦力)的单独的副致动器(例如行车制动器),该系统包括车辆控制单元VCU和运动支持装置MSD,其中,该VCU被配置成:

[0009] -请求主致动器以产生所述主致动器的滑移λ_{em}的速度旋转,

[0010] -通过将可配置值与主致动器的滑移λ_{em}相加来确定带符号的车轮滑移极限λ_{lim},使得$\lambda_{lim}>\lambda_{em}$,并且

[0011] -向运动支持装置MSD发送控制信号,用于控制车辆的所述至少两个车轮,使其以产生相应的车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转,该车轮滑移λ_l、λ_r小于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim},其中,λ_l、λ_r和λ_{em}中的每一个都是带符号的数值,

[0012] 其中,所述MSD被配置成:

[0013] -从VCU接收所述控制信号,

[0014] -计算所述至少两个车轮中的每一个车轮的当前相应的车轮滑移λ_l、λ_r或者能够转换为所述相应的车轮滑移λ_l、λ_r的当前相应的旋转速度,以及

[0015] -于所接收到的控制信号,在当前相应的车轮滑移λ_l、λ_r之一超过所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}时,则所述MSD被配置成激活具有超标的车轮滑移的车轮的相应的副致动器,以便将扭矩传递给另一个(或多个)车轮。

[0016] 所述至少两个车轮例如可以是由主致动器通过开放式差速器驱动的左轮和右轮。因此,为了简单起见,本公开中讨论的车轮滑移已被表示为λ_l和λ_r,其中选择了下标“l”和“r”,因为它们对“左”和“右”的引用很容易理解。然而,应当理解,本发明并不专门限于左轮和右轮。还可以在通过开放式差速器驱动多个轮轴或所有车轮的实施例中实现总体发明构思。例如,该总体发明构思可以适当地用于全轮驱动车辆,其中所有车轮都通过开放式差速器被驱动。因此,带符号的车轮滑移极限λ_{lim}将与所有车轮相关,而不是仅与两个车轮相关。另一个示例实施例是多轮轴驱动,其中第一驱动轮轴和第二驱动轮轴的轮间差速器被锁定(在每个轮轴上,左轮和右轮具有相同的速度),但轮轴间差速器未被锁定(第一驱动轮轴和第二驱动轮轴平均速度不必相同)。还可以针对这样的示例实施例来实施总体发明构思,其中,带符号的车轮滑移极限λ_{lim}被发送到这两个驱动轮轴的所有车轮。

[0017] 因此,应当理解,尽管为了清楚起见、本公开中的讨论集中在两个车轮上,并且本公开的正文中仅象征性地包括两个λ_l和λ_r,但该总体发明构思适用于两个或更多个车轮,其中MSD可以被配置成控制每个这种车轮的车轮滑移。

[0018] 还应当理解,虽然所述主致动器可以适当地是电机,例如电动车辆中的电动机(因此下标“em”已经用于主致动器的滑移λ_{em}),但是其它主致动器也是可以想到的。例如,所述主致动器可以是内燃发动机(例如柴油发动机)或缓速器。

[0019] 所述副致动器可以是行车制动器,每个制动器与所述至少两个车轮中的相应一个车轮相关联,用于向车轮提供摩擦力。然而,副致动器可以是任何其它合适的致动器,其可以被激活以便将扭矩从具有超标的车轮滑移的车轮传递到另一个或多个车轮。

[0020] 从上面的讨论中,现在应该清楚,各种示例性实施例是可以想到的,其中之一可以例如如下。根据至少一个示例性实施例,提供了一种用于控制车辆的车轮滑移的系统,其中,该车辆包括由至少一个电机通过开放式差速器驱动的左轮和右轮、以及用于分别向左轮和右轮提供摩擦力的左行车制动器和右行车制动器,该系统包括车辆控制单元VCU和运动支持装置MSD,

[0021] 其中，该VCU被配置成：

[0022] -请求电机以产生电机的滑移λ_{em}的电机速度旋转，

[0023] -通过将可配置值与电机的滑移λ_{em}相加来确定带符号的车轮滑移极限λ_{lim}，使得$\lambda_{lim}>\lambda_{em}$，并且

[0024] -向运动支持装置MSD发送控制信号，用于控制车辆的左轮和右轮，使其以产生相应的车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转，该车轮滑移λ_l、λ_r小于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}，其中，λ_l、λ_r和λ_{em}中的每一个都是带符号的数值，

[0025] 其中，该MSD被配置成：

[0026] -从VCU接收所述控制信号，

[0027] -计算左轮的当前车轮滑移λ_l和右轮的当前车轮滑移λ_r或者能够转换为车轮滑移λ_l、λ_r的当前相应的旋转速度，并且

[0028] -基于所接收的控制信号，当左轮的当前车轮滑移λ_l和右轮的当前车轮滑移λ_r之一超过所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}时，则MSD被配置成激活具有超标的车轮滑移的车轮的相应的行车制动器，以便将扭矩传递给另一个车轮。

[0029] 在下文中，为了方便起见，讨论将主要集中在如下情形：主致动器是电机，副致动器是行车制动器，并且所述至少两个车轮是左轮和右轮。然而，鉴于以上说明，应当理解，所讨论的实施例和特征对于主致动器、副致动器和由主致动器驱动的至少两个车轮的其它布局也可容易地实施。

[0030] 对于具有由主致动器(例如，电机)通过开放式差速器驱动的n个车轮的车辆，车轮滑移将使得它们的平均值等于主致动器的滑移λ_{em}。

[0031] $$\lambda_{em}=\frac{\lambda_1+\lambda_2+\cdots+\lambda_n}{n}$$

[0032] 因此，对于具有由主致动器(例如电机)通过开放式差速器驱动的左轮和右轮的车辆，车轮滑移λ_l和λ_r将使得它们的平均值等于电机的滑移λ_{em}：

[0033] $$\lambda_{em}=\frac{\lambda_l+\lambda_r}{2}$$

[0034] 因此，每个单独的车轮滑移λ_l和λ_r可以等于电机的滑移λ_{em}，或者车轮滑移中的一个(例如λ_l)可以高于λ_{em}，而另一个(例如λ_r)可以低于λ_{em}。只要车轮滑移λ_l和λ_r仅在允许范围内偏离电机的滑移λ_{em}，MSD就不需要干预任何纠正动作。然而，当偏差超出允许范围时，即当车轮滑移之一超过所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}时，则MSD将采取纠正措施以将扭矩传递到另一个车轮。因此，低摩擦侧的车轮将受到行车制动器的作用，以便将扭矩传递到高摩擦侧上的车轮。由此，对于通过开放式差速器驱动的车轮实现了有效的滑移控制，并且可以降低失去牵引力和/或致动器(例如制动致动器)彼此“冲突”的风险。

[0035] 根据至少一个示例性实施例，所述可配置值是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的阈值$\lambda_{thr}$。该下限确保了在使用相关的行车制动器启动滑移控制之前，车轮的车轮滑移大于λ_{em}。这确保了当电机单独执行滑移控制时相关联的行车制动器不会干扰。该上限确保了车轮的车轮滑移低于$2\lambda_{em}$，这是当其中一个车轮(即，低摩擦侧的车轮)没有可用牵引力时的最坏情况。

[0036] 由上述内容，可以理解的是，定义所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}的一种简单方式是$\lambda_{lim}=\lambda_{em}+\lambda_{thr}$，其中$\lambda_{thr}$是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的定义阈值。在本公开内容中将进一步涉及

其它方式。

[0037] 根据至少一个示例性实施例，阈值λ_{thr}是固定值。这提供了一种设定所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}的简单方法。例如，该固定值可以通过对特定车辆和轮胎的测试凭经验来确定。例如，该固定值可以设定在0.02-0.08范围内的某处，例如在0.03-0.07的范围内，例如0.04-0.06。根据至少一个示例性实施例，阈值λ_{thr}可以是0.05。

[0038] 根据至少一个示例性实施例，所述VCU被配置成适当地基于一个或多个车辆行驶参数(例如车辆的当前速度)的当前状态来动态地配置所述可配置值。这是有利的，因为滑移控制在车辆的更高速度下可能变得更加关键。例如，在车辆的较高速度下可以将所述可配置值设定为较低值(即，与电机的滑移λ_{em}相比，车轮滑移λ_l、λ_r的较小的容许偏差)，反过来，在车辆的较低速度下可以将所述可配置值设定为较高值(即，较大的容许偏差)。换句话说，由于可以动态地配置所述可配置值，所以也可以动态地配置所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}(通过将所述可配置值与电机的滑移λ_{em}相加来获得)。

[0039] 根据至少一个示例性实施例，根据主致动器的滑移λ_{em}的函数来获得所述可配置值。因此，在主致动器是电机的情况下，所述可配置值是从电机的滑移λ_{em}的函数中获得的。这是有利的，因为它提供了各种不同的配置备选方案。例如，所述可配置值可以被设定为$k+x\lambda_{em}^{y}$，其中k、x和y可以根据人们希望如何配置相对于电机的滑移λ_{em}的所述可配置值而提供不同的数字。在一些示例性实施例中，所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}可以是电机的滑移λ_{em}的单调递增函数。

[0040] 根据至少一个示例性实施例，所述可配置值是使用主致动器的滑移λ_{em}作为索引从查找表中获得的。因此，根据至少一个示例性实施例，使用电机的滑移λ_{em}从查找表中获得所述可配置值。这也提供了一种设定所述可配置值的简单方法、以及许多不同的配置选择。例如，在一些示例性实施例中，所述可配置值可以使得所产生的带符号的车轮滑移极限λ_{lim}是逐步改变的函数。

[0041] 从前面的讨论中可以理解，根据至少一个示例性实施例，当车辆正在加速或减速时，VCU被配置成控制所述至少两个车轮(例如所述左轮和右轮)，使其以产生等于或大于零但小于$2\lambda_{em}$的相应的车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转。特别地，根据至少一个示例性实施例，当车辆加速时，车轮的最大正车轮滑移可以被选择为大于λ_{em}但小于$2\lambda_{em}$。选择满足此条件的固定滑移极限会自动导致系统在双摩擦系数(split-mu)场景中对于推进而言运行良好。

[0042] 计算合适的阈值λ_{thr}的另一个输入可以是车辆的转向角和/或横向加速度和/或偏航率。当车辆转弯时，可以预期轮轴上的一个车轮比另一个车轮转得更快。可以将阈值λ_{thr}适当地设定为高于这个实际可能的“标称”速度差。在转弯时，可以减小λ_{thr}以确保轮胎不会由于过多的纵向滑移而饱和，并因此保持足够的横向能力以进行转弯。

[0043] 根据至少一个示例性实施例，所述VCU被配置成基于如下等式而请求电机(主致动器)以产生电机的滑移λ_{em}的旋转电机速度ω_{em}旋转，

[0044] $$\lambda_{em}=\frac{\omega_{em}i_g i_{fd}R-v_x}{\max\left(\left|\omega_{em}i_g i_{fd}R\right|,\left|v_x\right|\right)}$$

[0045] 其中i_g是齿轮比，i_{fd}是最终传动比，R是车轮半径，v_x是车辆速度(在车轮的坐标系中)。

[0046] 因此，λ_{em}被界定在-1和1之间，并且量化了电机相对于路面的滑移程度。换句话说，如果车轮滑移λ_l、λ_r均等分布(例如，如果左轮和右轮都在干燥的路面上行驶，并且轮胎被基本均匀地加载并且处于基本均匀的条件下)，则λ_{em}量化了每个车轮相对于路面滑移的程度。因此，在$\lambda_l=\lambda_r$的情况下，则λ_{em}量化了每个车轮相对于路面滑移的程度。因此，当VCU请求电机以产生电机的滑移λ_{em}的电机速度ω_{em}旋转时，其可以视为对期望的车轮滑移的间接请求。然而，根据本公开，实际的车轮滑移可能在一定程度上偏离所述期望的车轮滑移，但容许的偏差是有限的，即，受限于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}。因此，通过将对电机速度的请求与设定车轮滑移的最大容许偏差相结合，对于由电机通过开放式差速器驱动的车轮，也可以实现良好的车轮滑移控制。所述VCU可以适当地维护关于v_x的最新信息，而速度传感器等可以用于确定ω_{em}。

[0047] 需要注意的是，车轮滑移极限λ_{lim}是带符号的车轮滑移极限，而不是绝对极限。因此，当在推进期间应用所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}时，带符号的车轮滑移极限λ_{lim}设定了最大容许正滑移。然而，在制动期间，带符号的车轮滑移极限λ_{lim}设定了最小容许负滑移。应该理解的是，针对推进和制动的滑移极限(正负滑移)可以被单独发送到MSD，即，不需要对推进和制动都使用相同的滑移极限信号。然而，在其它示例性实施例中，相同的滑移极限信号可以用于推进和制动两种情况。

[0048] 虽然本公开涉及一种用于控制车轮滑移的系统，并且该系统的VCU将控制信号发送到运动支持装置MSD，用于控制车辆的所述至少两个车轮以产生小于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}的相应车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转，但实际控制信号不一定需要包括(一个或多个)滑移极限值。例如，所述VCU可以被配置成将滑移极限λ_{lim}重新计算为速度极限ω_{lim}，因此该控制信号可以替代地包括(一个或多个)速度值。该MSD可以通过使用如下滑移等式来计算相应车轮的旋转速度，所述旋转速度可以转换为车轮滑移：

[0049] $$\lambda = \frac{R\omega - v_x}{max(|R\omega|, |v_x|)}$$

[0050] 其中λ为纵向车轮滑移，$R\omega$为车轮的旋转速度，R为车轮半径(单位为米)，ω为车轮的角速度，并且v_x为车轮的纵向速度(在车轮的坐标系中)。因此，最终结果将是相同的，无论来自VCU的控制信号是否包括(一个或多个)滑移值或(一个或多个)速度值，因此无论MSD是否分别计算当前车轮滑移或当前旋转速度，所述控制信号都控制车轮以产生小于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}的相应车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转。

[0051] 在其它示例性实施例中，所述控制信号可以包括速度偏移(其中速度偏移＝致动器速度-v_x)。该速度偏移实际上可能是任意数量的参数的函数，例如λ_{thr}、转向角、偏航率、横向加速度、车辆速度等。

[0052] 根据本公开的第二方面，提供了一种在车辆控制单元VCU中执行的用于控制车辆的车轮滑移的方法，其中，该车辆包括由至少一个主致动器(例如电机)通过开放式差速器驱动的至少两个车轮(例如左轮和右轮)，该方法包括：

[0053] -请求主致动器以产生主致动器的滑移λ_{em}的速度旋转，

[0054] -通过将可配置值与主致动器的滑移λ_{em}相加来确定带符号的车轮滑移极限λ_{lim}，使得$\lambda_{lim}>\lambda_{em}$，以及

[0055] -控制车辆的所述至少两个车轮，使其以产生小于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}的相应车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转，其中，λ_l、λ_r和λ_{em}中的每一个都是带符号的数值。

[0056] 第二方面的各种实施例的优点在很大程度上类似于第一方面的先前讨论的对应实施例的优点。第二方面的方法的示例性实施例包括以下内容。

[0057] 根据至少一个示例性实施例，所述可配置值是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的阈值$\lambda_{thr}$。

[0058] 根据至少一个示例性实施例，该阈值λ_{thr}是固定值。

[0059] 根据至少一个示例性实施例，该方法包括适当地基于一个或多个车辆行驶参数(例如车辆的当前速度)的当前状态来动态地配置所述可配置值。

[0060] 根据至少一个示例性实施例，所述可配置值是根据主致动器的滑移λ_{em}的函数获得的。

[0061] 根据至少一个示例性实施例，所述可配置值是使用主致动器的滑移λ_{em}作为索引从查找表中获得的。

[0062] 根据至少一个示例性实施例，所述带符号的车轮滑移极限$\lambda_{lim}=\lambda_{em}+\lambda_{thr}$，其中$\lambda_{thr}$是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的定义阈值。

[0063] 根据至少一个示例性实施例，该方法还包括：当车辆加速或减速时，控制所述至少两个车轮，使其以产生等于或大于零但小于$2\lambda_{em}$的相应车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转。根据至少一个示例性实施例，当车辆加速时，车轮的最大正车轮滑移可以被选择为大于λ_{em}但小于$2\lambda_{em}$。

[0064] 根据至少一个示例性实施例，该方法还包括基于如下等式控制主致动器以产生主致动器的滑移λ_{em}的旋转速度ω_{em}旋转：

[0065] $$\lambda_{em}=\frac{\omega_{em}i_g i_{fd}R-v_x}{\max(|\omega_{em}i_g i_{fd}R|,|v_x|)}$$

[0066] 其中i_g是传动比，i_{fd}是最终传动比，R是车轮半径，v_x是车辆速度。

[0067] 根据本公开的第三方面，提供了一种包括程序代码组件的计算机程序，该程序代码组件用于当所述程序在计算机上或在车辆控制单元VCU的处理电路上运行时执行根据第二方面(包括其任何实施例)的方法。第三方面的计算机程序的优点在很大程度上对应于其它方面(包括其任何实施例)的优点。

[0068] 根据本公开的第四方面，提供了一种携载有计算机程序的计算机可读介质，该计算机程序包括程序代码组件，该程序代码组件用于当所述程序产品在计算机上运行或在车辆控制单元VCU的处理电路上运行时执行根据第二方面(包括其任何实施例)的方法。第四方面的计算机可读介质的优点很大程度上对应于其它方面(包括其任何实施例)的优点。

[0069] 根据本公开的第五方面，提供了一种车辆控制单元VCU，用于控制车辆的车轮滑移，该控制单元被配置成执行根据第二方面(包括其任何实施例)的方法。第五方面的VCU的优点很大程度上对应于其它方面(包括其任何实施例)的优点。

[0070] 所述VCU可以包括微处理器、微控制器、可编程数字信号处理器或其它可编程设备。所述VCU还可以包括或替代地包括专用集成电路、可编程门阵列或可编程阵列逻辑、可编程逻辑器件或数字信号处理器。在所述VCU包括诸如上述微处理器、微控制器或可编程数字信号处理器的可编程设备的情况下，该处理器还可以包括控制所述可编程设备的操作的

计算机可执行代码。

[0071] 根据本公开的第六方面，提供了一种车辆，该车辆包括根据第一方面(包括其任何实施例)的系统或根据第五方面(包括其任何实施例)的车辆控制单元VCU。第六方面的车辆的优点很大程度上对应于其它方面(包括其任何实施例)的优点。

[0072] 一般而言，权利要求书中使用的所有术语应根据它们在技术领域中的通常含义来解释，除非本文另有明确定义。除非另有明确说明，否则所有对“一/一个/元件、设备、部件、装置、步骤等”的引用应被开放地解释为指该元件、设备、部件、装置、步骤等的至少一个实例。除非明确说明，否则本文中公开的任何方法的步骤不必按照所公开的确切顺序执行。当研究所附权利要求书和以下描述时，本发明的进一步的特征和优点将变得明显。本领域技术人员会认识到，在不脱离本发明的范围的情况下，本发明的不同特征可以组合以产生除了下文中描述的那些实施例之外的实施例。

附图说明

[0073] 参考附图，以下是作为示例引用的本发明的实施例的更详细描述。

[0074] 在这些图中：

[0075] 图1示出了根据本发明的至少一个示例性实施例的车辆。

[0076] 图2示出了根据本发明的至少一个示例性实施例的用于控制车辆的车轮滑移的系统。

[0077] 图3a和图3b是曲线图，其示意性地示出了：对于推进场景，当不执行滑移控制时与当根据本公开执行滑移控制时相比的滑移差异。

[0078] 图4a和图4b是曲线图，其示意性地示出了：对于制动场景，当不执行滑移控制时与当根据本公开执行滑移控制时相比的滑移差异。

[0079] 图5示意性地示出了根据本发明的示例性实施例的方法。

[0080] 图6示意性地示出了根据本发明的至少一个示例性实施例的控制单元。

[0081] 图7示意性地示出了根据本发明的至少一个示例性实施例的计算机程序产品。

具体实施方式

[0082] 现在将在下文中参考附图更全面地描述本发明，附图中示出了本发明的某些方面。然而，本发明可以以许多不同的形式实施，且不应被解释为限于这里阐述的实施例和各个方面；而是，这些实施例是通过示例的方式提供的，以便本公开将是彻底和完整的，并且将本发明的范围充分传达给本领域技术人员。因此，应当理解，本发明不限于在此描述和在附图中示出的实施例；如上，本领域技术人员将认识到，在所附权利要求书的范围内可以进行许多修改和变型。在整个说明书中，相同的附图标记指代相同的元件。

[0083] 图1示出了根据本发明的至少一个示例性实施例的车辆100。图1中的示例性图示示出了用于牵引拖车单元(未示出)的牵引车单元，它们一起构成半挂车车辆。然而，本发明也适用于其它类型的车辆。例如，该车辆可以是用于货物运输的不同类型的车辆，例如卡车，或具有被布置成用于牵引挂车单元的台车单元(dolly unit)的卡车等。此外，应当理解，本发明构思不限于重型车辆，而是也可实施在其它车辆中，例如轿车。

[0084] 所示出的车辆100被支撑在车轮102上，其中一些车轮102是驱动轮。尽管图1中的

车辆100仅具有四个车轮102,但本发明构思适用于诸如上述不同类型的车辆中的具有更多车轮的车辆。

[0085] 每个车轮102或至少大部分车轮与相应的车轮制动器、行车制动器相关联。该车轮制动器例如可以是气动盘式制动器或鼓式制动器,但是本公开的大部分方面也适用于在车辆减速期间产生电力的再生制动器、以及能够根据请求减慢车轮旋转速度的电机。车轮制动器由运动支持装置(MSD)控制,该运动支持装置可以控制在诸如图1中的车辆100之类的车辆的至少一个车轮102上施加的制动力。每个MSD可通信地联接到控制单元(图1中未示出),以允许控制单元与MSD通信,从而控制车辆制动。该控制单元可以潜在地包括分布在车辆100上的多个子单元,或者它可以是单个物理单元。该控制单元可以例如在车轮之间分配制动力以维持车辆稳定性。

[0086] 每个驱动轮102可以由合适的电机(例如电动机、组合式电动机/发电机等)驱动。该电机可以驱动不止一个车轮,例如跨开放式差速器工作。根据本公开,至少一对车轮(例如,左轮和右轮)由至少一个主致动器通过开放式差速器驱动,并且单独的副致动器被配置成向所述车轮提供附加力。在以下的讨论中,作为纯粹的说明性示例,主致动器为电机的形式,副致动器是被配置成向相应车轮提供摩擦力的行车制动器的形式。然而,应该注意,不同的主致动器(例如柴油发动机或缓速器)可以以对应的方式用作电机,而其它副致动器(例如其它局部制动装置)可以用来代替行车制动器。此外,本发明可以在多于下文所例示的两个车轮上实施。

[0087] 在一些示例性实施例中,车辆100的其它驱动轮可以由单独关联的电机推进。在任一情况下,上述控制单元可以适当地被可通信地联接到这种电机,用于在车轮之间分配推进力。现在将结合图2的图示对上述控制单元进行更详细的讨论。

[0088] 图2示出了根据本发明的至少一个示例性实施例的用于控制车辆的车轮滑移的系统104。如图所示,该车辆包括由至少一个电机106通过开放式差速器108驱动的左轮102a和右轮102b。安装有左行车制动器112a和右行车制动器112b,分别用于向左轮102a和右轮102b提供摩擦力。行车制动器112a、112b在此被示出为盘式制动器,然而,如前所述,其它类型也是可以想到的。例如,该制动系统还可以包括一个或多个附加电机、和/或不同制动致动器的组合。

[0089] 该系统包括运动支持装置(MSD)120,该运动支持装置(MSD)120被布置成通过激活行车制动器112a、112b之一或二者来控制车轮制动。相同或不同的MSD可以被配置成控制电机106的操作。系统104还包括车辆控制单元(VCU)110,例如车辆运动管理系统。MSD 120被可通信地联接到VCU 110。虽然MSD 120和VCU 110已经被图示为两个功能分离的实体,但应理解,它们可以在结构上被提供为一个公共实体。因此,在一些示例性实施例中,MSD 120和VCU 110被提供为一个单元。在其它示例性实施例中,MSD 120和VCU 110可以在结构上分离。在一些示例性实施例中,每个致动器可以有各自单独的MSD(即,一个MSD用于电机106,另一个MSD用于左行车制动器112a,还一个MSD用于右行车制动器112b;或者,一个MSD用于电机106,而左行车制动器112a和右行车制动器、112b共用一个MSD)。还应当理解,VCU 110可以分布在若干个结构实体上,其中一些结构实体可以远离该车辆,例如在车外。例如,一些功能(例如由VCU 110进行的计算)可以是基于云的,其中,可以在一个或多个远程服务器等处来提供VCU 110的一部分。

[0090] VCU 110被配置成请求电机106以产生电机106的滑移λ_{em}的电机速度旋转。该请求可以适当地从VCU 110被发送到MSD 120。使电机106以特定电机速度旋转的该请求可以视为对车轮102a、102b的特定旋转速度的间接请求。换言之，由所述特定电机速度产生的电机106的期望滑移λ_{em}可以视为对特定的期望车轮滑移的间接请求。然而，由电机106通过开放式差速器108驱动的左轮102a和右轮102b可能不一定获得所述期望车轮滑移。在完美条件下，左轮102a和右轮102b中的每一个可能确实分别获得车轮滑移λ_l和λ_r，该λ_l和λ_r等于电机106的滑移λ_{em}。然而，在实践中，所述条件通常是使得车轮滑移λ_l和λ_r中的一个将具有比电机106的滑移λ_{em}高的值，而另一个将具有更低的值。例如，当一个车轮的轮胎在道路的与另一个车轮的轮胎在其上行驶的区域相比具有不同特性(例如更湿、更滑等)的区域上行驶时，可能会出现这种情况。因此，车轮和道路之间的摩擦可能因此不同，因而车轮滑移λ_l和λ_r也可能彼此不同，因此也与电机106的滑移λ_{em}的值不同。通过遵循本公开的教导，可以防止或至少抵消与所述值的过度偏离。

[0091] 更具体地，VCU 110被配置成通过将可配置值与电机106的滑移λ_{em}相加来确定带符号的车轮滑移极限λ_{lim}，使得$\lambda_{lim}>\lambda_{em}$。确实应该指出，车轮滑移极限$\lambda_{lim}$是一个带符号的值。因此，对于正滑移(推进场景)，即滑移值高于零，与电机106的滑移λ_{em}相比，车轮滑移极限λ_{lim}将具有更高的正值(即，更远离零)。然而，对于负滑移(制动场景)，即滑移值低于零，与电机106的滑移λ_{em}相比，车轮滑移极限λ_{lim}将具有更小的负值(即，更接近零)。

[0092] VCU 110被配置成向MSD 120发送控制信号，用于控制车辆的左轮102a和右轮102b，使其以产生相应的车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转，该车轮滑移λ_l、λ_r小于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}。λ_l、λ_r和λ_{em}中的每一个都是带符号的数值。因此，带符号的车轮滑移极限λ_{lim}为左轮102a和右轮102b中的任一个设定了最大容许车轮滑移。

[0093] 在本公开中，当讨论车轮滑移时，旨在是指纵向车轮滑移。就此而言，应当注意，纵向是指所讨论的车轮的径向方向，特别是平行于路面并且在正常条件下车轮沿其前进的径向方向。车轮的(纵向)车轮滑移λ(即，左轮102a的λ_l或右轮102b的λ_r)是无单位的，并且可以表示为：

[0094] $$\lambda = \frac{R\omega - v_x}{max(|R\omega|, |v_x|)}$$

[0095] 其中R是以米为单位的车轮半径，ω是车轮的角速度，v_x是车轮的纵向速度(在车轮的坐标系中)。因此，λ介于-1和1之间，并且量化了车轮相对于路面滑移的程度。在制动期间，$v_x>R\omega$，因此车轮滑移为负。在加速期间，$v_x<R\omega$，因此车轮滑移为正。VCU 110可以保持/获得关于v_x的信息(在车轮的参考系中)，而车轮速度传感器可以用于确定ω。图2示意性地示出了系统104可以包括这种车轮速度传感器122或被可操作地连接到这种车轮速度传感器122。车轮速度传感器122例如可以是霍尔效应传感器或其它类型的车轮速度传感器。测量到的旋转速度可以通过有线或无线通信链路从车轮速度传感器122传送到MSD 120。车辆的速度可以由另一传感器(未示出)(例如雷达传感器、激光雷达传感器或全球定位系统(GPS)接收器)测量，测量到的速度可以由VCU 110和/或MSD 120获得。还可以基于来自车辆上未被驱动的其它轮轴的车轮速度来计算车辆的速度。尽管上述等式通常用于确定车轮滑移，但也可以使用其它定义。例如，如本公开中之前提到的，速度偏移可以是另一种选择。

[0096] 因此，当MSD 120已经从VCU 110接收到控制信号时，它将例如通过上述等式以及通过来自车轮速度传感器122的输入来计算左轮102a的当前车轮滑移λ_l和右轮102b的当前车轮滑移λ_r。基于所接收到的控制信号，当左轮102a的当前车轮滑移λ_l和右轮102b的当前车轮滑移λ_r之一超过所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}时，则MSD 120被配置成激活具有超标的车轮滑移的车轮的相应的行车制动器112a、112b，以便将扭矩传递到另一个车轮。以这种方式，车轮滑移将基本被保持在容许范围内，即，如果超过了极限，则车轮滑移将被控制返回到容许值。

[0097] 如上所述，VCU 110被配置成通过将可配置值与电机106的滑移λ_{em}相加来确定所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}，使得$\lambda_{lim}>\lambda_{em}$。该可配置值可以是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的阈值$\lambda_{thr}$。在一些示例性实施例中，阈值$\lambda_{thr}$可以是固定值。在其它示例性实施例中，VCU 110被配置成适当地基于一个或多个车辆行驶参数的当前状态(例如车辆的当前速度)动态地配置该可配置值。在一些示例性实施例中，该可配置值是从电机106的滑移λ_{em}的函数中获得的。在一些示例性实施例中，该可配置值是使用电机106的滑移λ_{em}作为索引从查找表中获得的。在一些示例性实施例中，其中，带符号的车轮滑移极限$\lambda_{lim}=\lambda_{em}+\lambda_{thr}$，其中$\lambda_{thr}$是被选择为$0<\lambda_{thr}<\lambda_{em}$的定义阈值。在一些示例性实施例中，当车辆加速时，VCU 110被配置成控制左轮102a和右轮102b，使其以产生相应的车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转，该车轮滑移λ_l、λ_r等于或大于零，但小于$2\lambda_{em}$。

[0098] VCU 110可以被配置成基于如下等式来请求电机106以产生电机106的滑移λ_{em}的旋转电机速度ω_{em}旋转：

[0099] $$\lambda_{em}=\frac{\omega_{em}i_g i_{fd}R-v_x}{\max\left(\left|\omega_{em}i_g i_{fd}R\right|,\left|v_x\right|\right)}$$

[0100] 其中i_g是齿数比，i_{fd}是最终传动比，R是车轮半径，v_x是车辆速度。

[0101] 如前所述，如果车轮滑移λ_l、λ_r均等分布(例如，如果左轮102a和右轮102b都在干燥路面上行驶，并且轮胎被基本上均匀地加载并且处于基本上均匀的条件下)，则λ_{em}量化了每个车轮102a、102b相对于路面滑移的程度。因此，在$\lambda_l=\lambda_r$的情况下，则λ_{em}量化了每个车轮102a、102b相对于路面滑移的程度。因此，当VCU 110请求电机106以产生电机106的滑移λ_{em}的电机速度ω_{em}旋转时，它可以视为对期望的车轮滑移的间接请求。然而，如已经说明的，实际的车轮滑移可能在一定程度上偏离所述期望的车轮滑移。通过将对电机速度的请求与设定车轮滑移的最大容许偏差(即，设定λ_{lim})相结合，可以实现良好的车轮滑移控制，现在将参考图3a、图3b、图4a和图4b中的说明性图表进行讨论。

[0102] 图3a和图3b是曲线图，其示意性地示出了：对于推进场景，当不执行滑移控制时(图3a)与当根据本公开执行滑移控制时(图3b)相比的滑移差异。VCU 110在两个曲线图中都已经请求了0.1的滑移(λ_{em})。因此，MSD 112将控制电机106的速度以使其达到0.1的滑移目标(λ_{em})。

[0103] 在图3a中，示出了一个相当极端的场景，然而，出于说明和解释的目的，考虑它是有用的。在图3a中，左轮以恒定速度旋转，完全没有任何滑移，而右轮自旋。因此，在图3a中，左轮的车轮滑移λ_l为零，而右轮的车轮滑移λ_r是电机滑移λ_{em}的两倍，因此满足以下等式：

[0104] $$\lambda_{em} = \frac{\lambda_l + \lambda_r}{2}$$

[0105] 然而，图3b示出了对应的场景，其中双摩擦μ补偿(split-μcompensation)提供了根据本公开的滑移极限λ_{lim}。在图3b的图示中，滑移极限λ_{lim}已根据等式$\lambda_{lim}=\lambda_{em}+\lambda_{thr}$设定，其中阈值$\lambda_{thr}$已经被选择为0.05。然而，如上文所解释的，阈值$\lambda_{thr}$可以与此不同地选择，甚至可以动态地选择，并且滑移极限λ_{lim}可以用其它方式和不同的等式来计算，如上面已经讨论的。

[0106] 与图3a类似，在图3b中，右轮的车轮滑移λ_r在增加。然而，在某个时间点，刚好在该曲线图中的2秒之前，车轮滑移λ_r的值超过了所设定的滑移极限λ_{lim}。已经从VCU 110接收到控制信号的MSD 120现在将激活与右轮102b相关联的行车制动器112b，结果，扭矩被从右轮102b传递到左轮102a。这将导致：在该曲线图的滑移控制区域中，即刚好在两个第二标记之前开始，左轮的车轮滑移λ_l将开始上升。上面的等式仍然是准确的，即，左车轮滑移λ_l和右车轮滑移λ_r的总和等于电机106的滑移λ_{em}的两倍。以这种方式，VCU 110可以通过为电机106提供滑移请求并指示MSD 120监视和作用于车轮滑移输入来执行有效的滑移控制，使得车轮滑移不会过度偏离对电机106的滑移请求(如上所述，这可以视为对期望的车轮滑移的间接请求)。

[0107] 图4a和图4b是曲线图，其示意性地示出了：对于制动场景，当不执行滑移控制时(图4a)与当根据本公开执行滑移控制时(图4b)相比的滑移差异。VCU 110已经对电机106请求了-0.1的滑移目标(λ_{em})。MSD 120降低电机106的速度以达到-0.1的滑移(λ_{em})。

[0108] 再次，这是出于说明目的而示出的极端情况。如从图4a中可以看出，左轮根本没有减速，并且左轮的车轮滑移λ_l为零，而右轮的减速是轮轴的两倍，因此右轮的车轮滑移λ_r是电机的滑移λ_{em}的两倍，二者都具有负值。

[0109] 如图4b所示，当应用了根据本公开提供滑移极限λ_{lim}的双摩擦μ补偿时，具有恒定零滑移的左轮将超过滑移极限λ_{lim}，并因此对该左轮执行滑移控制以将扭矩传递到右轮。

[0110] 应该注意的是，在图3b和图4b中都应用了带符号的最大滑移极限λ_{lim}。这对于制动场景可能是违反直觉的，并且可能被错误地解释为最大绝对滑移极限。不是这样的。制动期间的最大滑移极限是指最小制动滑移或最小负滑移，如图4b所示。如前所述，在至少一些示例性实施例中，可以从VCU 110发送单独的信号，一个用于制动，一个用于推进。

[0111] 还应该注意的是，虽然VCU 110请求电机106以产生电机的特定滑移λ_{em}的电机速度旋转，但在满足该请求时可能存在延迟，如图3a、图3b、图4a和图4b中所示。电机的实际当前滑移λ_{em}发生变化，直到达到所请求的滑移(目标滑移)。滑移极限λ_{lim}当然是相对于电机的实际当前滑移λ_{em}设定的，也如图3a、图3b、图4a和图4b所示，因而λ_{lim}随着λ_{em}的变化而随时间变化。

[0112] 图5示意性地示出了根据本发明的示例性实施例的方法200。更具体地，方法200是在车辆控制单元VCU中执行的，用于控制车辆的车轮滑移，其中，该车辆包括由至少一个主致动器(例如，电机)通过开放式差速器驱动的至少两个车轮(例如左轮和右轮)，该方法包括：

[0113] -在步骤S1中，请求主致动器以产生主致动器的滑移λ_{em}的电机速度旋转，

[0114] -在步骤S2中，通过将可配置值与主致动器的滑移λ_{em}相加来确定带符号的车轮滑

移极限λ_{lim}，使得$\lambda_{lim}>\lambda_{em}$，以及

[0115] -在步骤S3中，控制该车辆的所述至少两个车轮，使其以产生相应的车轮滑移λ_l、λ_r的车轮速度旋转，该车轮滑移λ_l、λ_r小于所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}，其中，λ_l、λ_r和λ_{em}中的每一个都是带符号的数值。

[0116] 应当理解，上述步骤可以以与上述顺序不同的顺序执行。例如，可以在请求步骤(步骤S1)之前预先确定所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}(步骤S2)。例如，这可以通过将所述带符号的车轮滑移极限λ_{lim}设定为电机的实际滑移λ_{em}的函数或与电机的实际滑移λ_{em}相关来进行。例如，如图3a、图3b、图4a和图4b所示，带符号的滑移极限λ_{lim}可以设定为$\lambda_{lim}=\lambda_{em}+\lambda_{thr}$，其中，阈值$\lambda_{thr}$是预先确定的(在所述附图中的示例性曲线图中，$\lambda_{thr}=0.5$)。此外，应当理解，甚至可以设想同时执行步骤S1和S2。

[0117] 图6示意性地示出了根据本发明的至少一个示例性实施例的控制单元110。特别地，图6在多个功能单元方面示出了根据本文讨论的示例性实施例的控制单元110的部件。控制单元110可以被包括在车辆100中，例如以VCU的形式。使用能够执行存储在计算机程序产品(例如，以存储介质630的形式)中的软件指令的合适的中央处理单元CPU、多处理器、微控制器、数字信号处理器DSP等中的一个或多个的任意组合来是提供处理电路610。处理电路610还可以被提供为至少一个专用集成电路ASIC或现场可编程门阵列FPGA。

[0118] 特别地，处理电路610被配置成使控制单元110执行一组操作或步骤，例如结合图5讨论的方法。例如，存储介质630可以存储该组操作，并且处理电路610可以被配置成从存储介质630检索该组操作以使控制单元110执行该组操作。该组操作可以被提供为一组可执行指令。因此，处理电路610由此被布置成执行本文所公开的示例性方法。

[0119] 存储介质630还可以包括永久存储器，该存储器例如可以是磁存储器、光存储器、固态存储器或甚至远程安装的存储器中的任一种或组合。

[0120] 控制单元110还可以包括接口620，用于与至少一个外部设备(例如提供车辆速度输入的传感器)通信，用于GPS通信等。因此，接口620可以包括一个或多个发送器和接收器，所述发送器和接收器包括模拟部件和数字部件以及用于有线或无线通信的适当数量的端口。

[0121] 处理电路610例如通过向接口620和存储介质630发送数据信号和控制信号、通过从接口620接收数据并报告以及通过从存储介质630检索数据和指令来控制所述控制单元110的一般操作。控制单元110的其它部件以及相关功能被省略，以免混淆本文呈现的构思。

[0122] 图7示意性地示出了根据本发明的至少一个示例性实施例的计算机程序产品700。更具体地，图7示出了携载有计算机程序的计算机可读介质710，该计算机程序包括程序代码组件720，该程序代码组件720用于当所述程序产品在计算机上运行时执行图5中例示的方法。计算机可读介质710和程序代码组件720可以一起形成计算机程序产品700。

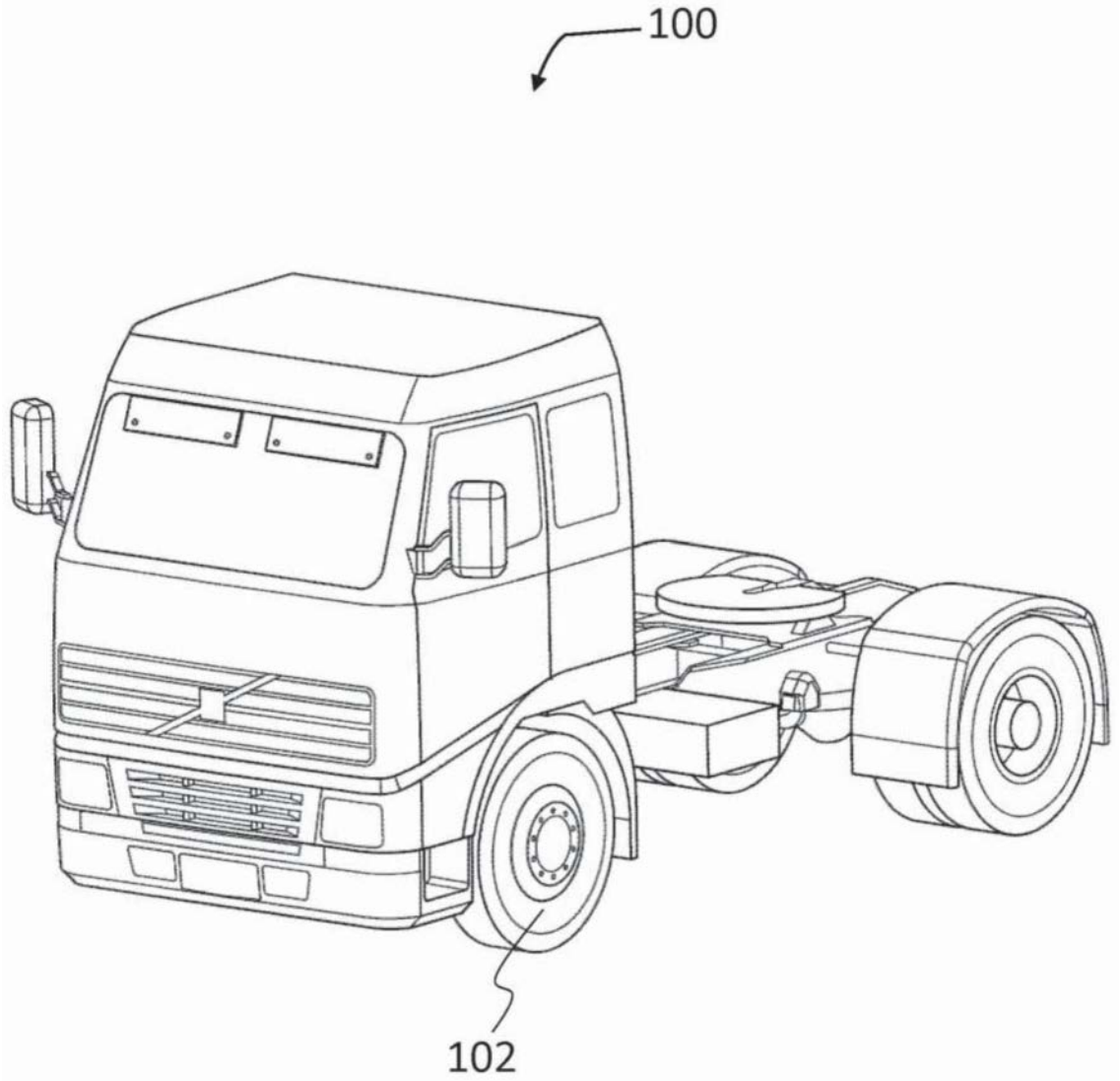


图1

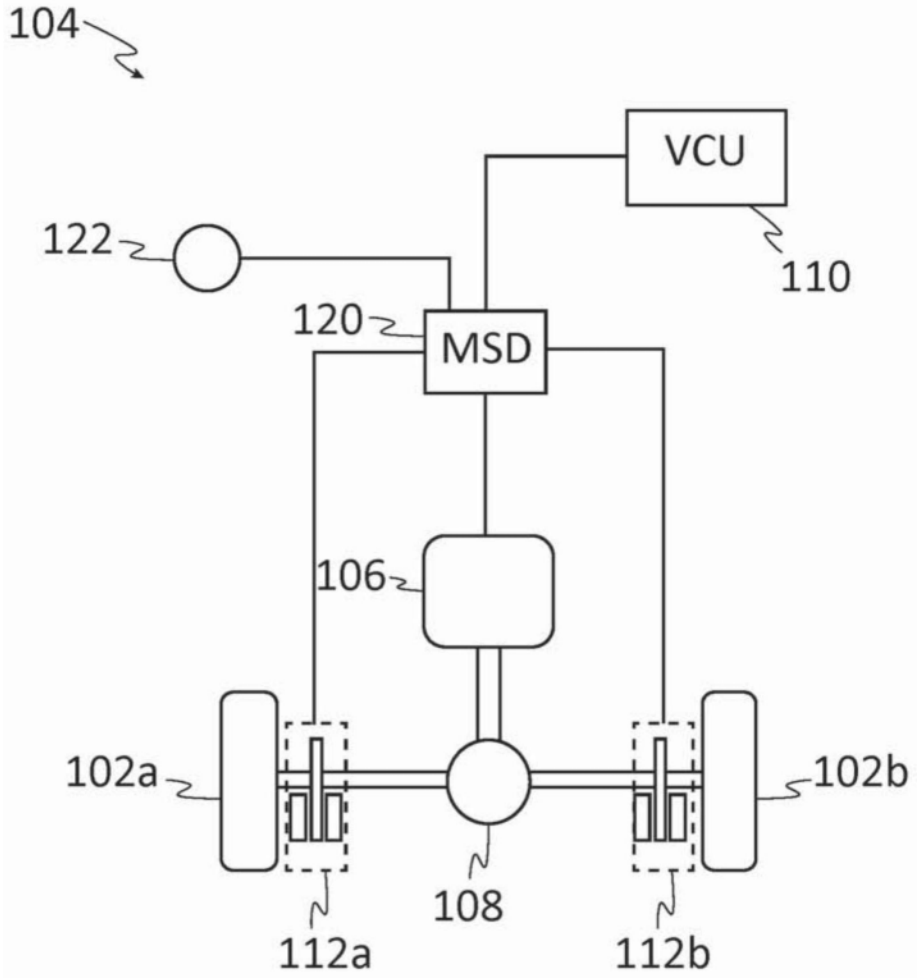


图2

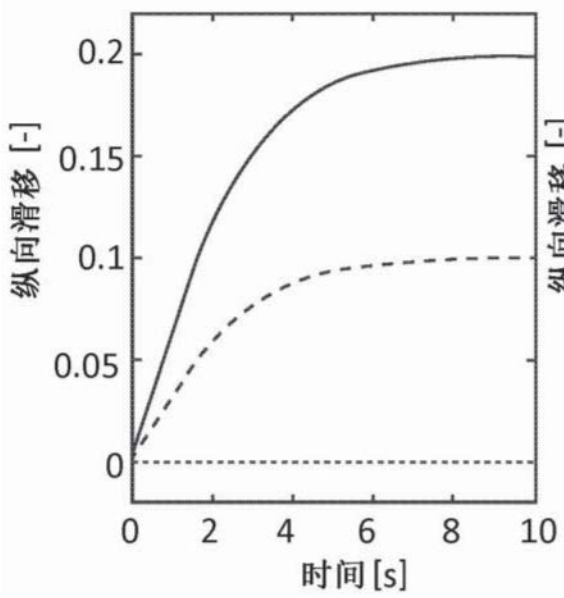


图3a

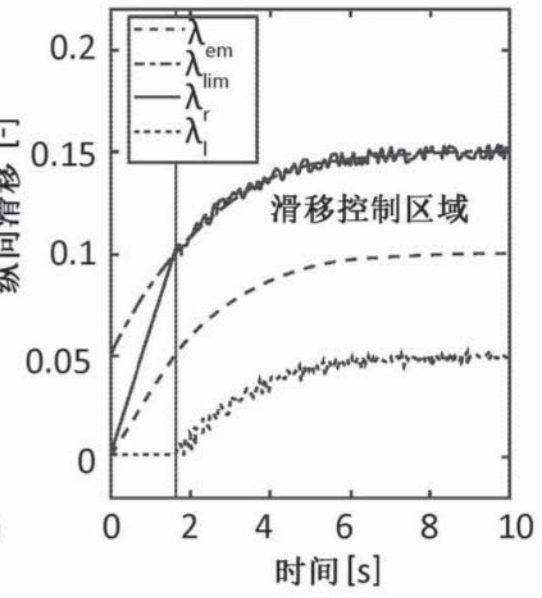


图3b

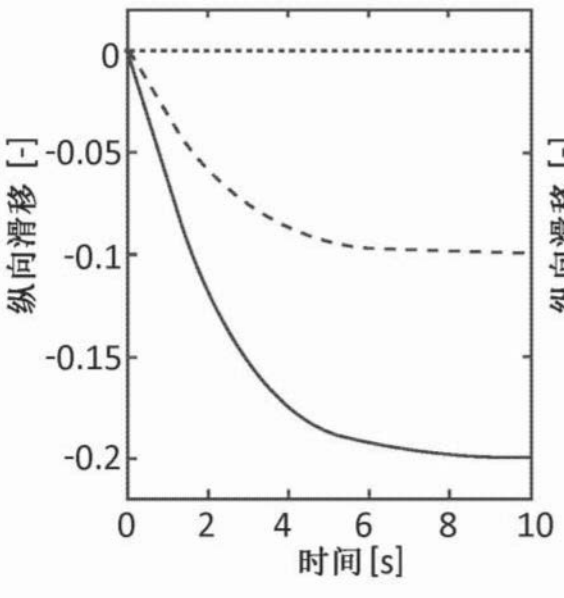


图4a

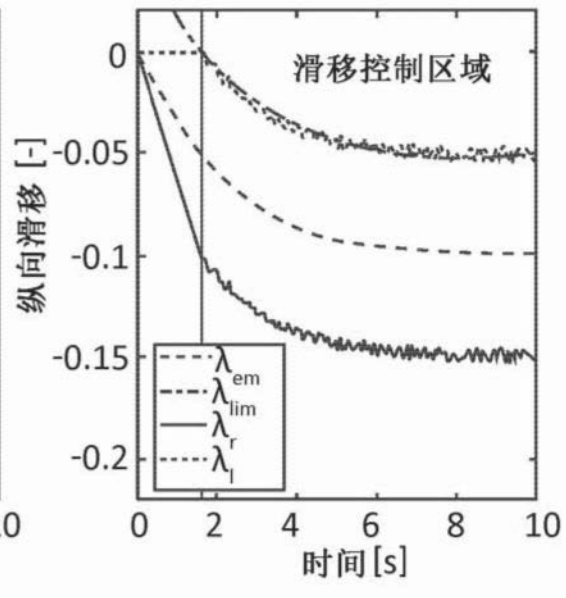


图4b

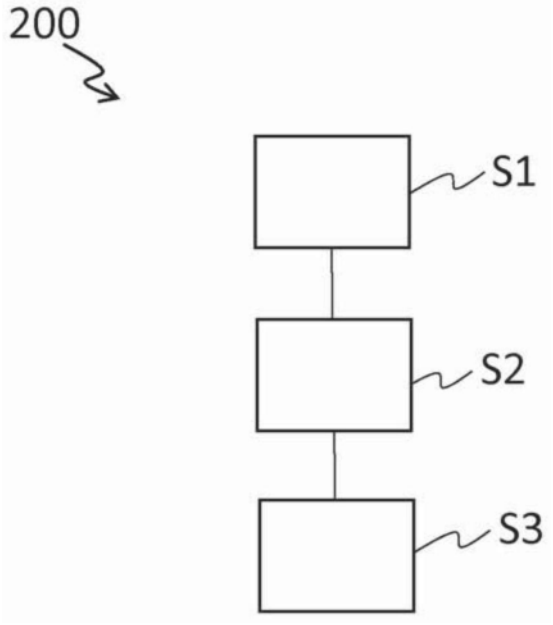


图5

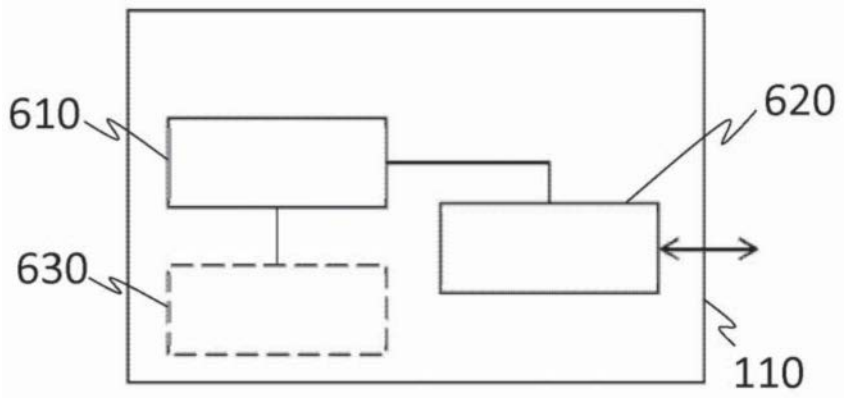


图6

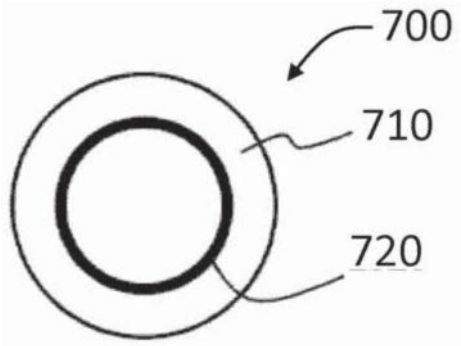


图7