



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109941342 A

(43)申请公布日 2019.06.28

(21)申请号 201811547466.8

(22)申请日 2018.12.18

(30)优先权数据

17209114.2 2017.12.20 EP

(71)申请人 APTIV技术有限公司

地址 巴巴多斯圣迈克尔

(72)发明人 C·伍特舒翁

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

11127

代理人 师玮 黄纶伟

(51)Int.Cl.

B62D 6/00(2006.01)

B62D 137/00(2006.01)

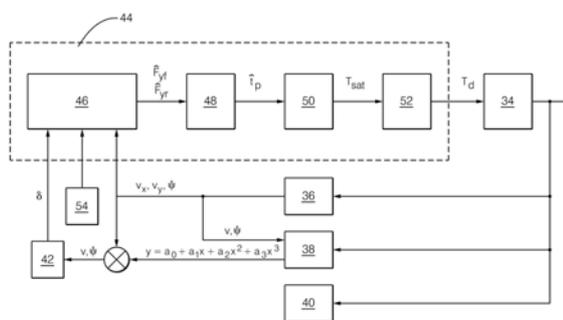
权利要求书3页 说明书9页 附图7页

(54)发明名称

用于估计转向力矩的方法和装置

(57)摘要

用于估计转向力矩的方法和装置。一种用于估计具体用于车辆的横向控制的转向力矩的方法,该方法包括以下步骤:检测关于当前车辆状态和/或当前车辆环境的至少一个信号;基于所述至少一个检测信号,通过转向控制单元来确定期望转向角;基于轮胎动力学模型来估计车辆横向力,以所确定转向角作为输入因子;基于横向动力学模型来估计车辆横向力;基于通过横向动力学模型估计的横向力值来校正通过轮胎动力学模型估计的横向力值;基于校正后的横向力值来估计回正力矩;以及根据所估计的回正力矩来估计转向力矩。



1. 一种估计转向力矩 (28) 的方法, 所述转向力矩具体用于车辆 (34) 的横向控制, 所述方法包括以下步骤:

- 检测关于当前车辆状态和/或当前车辆环境的至少一个信号;
- 基于所述至少一个检测信号, 由转向控制单元 (42) 确定期望转向角 (δ);
- 基于轮胎动力学模型来估计车辆横向力, 以所确定的转向角 (δ) 作为输入因子;
- 基于横向动力学模型来估计车辆横向力;
- 基于通过所述横向动力学模型估计的横向力值, 校正通过所述轮胎动力学模型估计的横向力值;
- 基于校正后的横向力值来估计回正力矩 (32); 以及
- 根据所估计的回正力矩 (32) 来估计转向力矩 (28)。

2. 根据权利要求1所述的方法, 所述方法还包括估计轮胎滑移角 (α_F 、 α_R) 的步骤, 其中, 所确定的转向角 (δ) 提供用于所述轮胎滑移角估计的输入因子, 和/或其中, 基于所述轮胎动力学模型来估计车辆横向力的步骤包括所估计的轮胎滑移角 (α_F 、 α_R) 作为输入因子。

3. 根据权利要求2所述的方法, 其中, 估计所述滑移角 (α_F 、 α_R) 的步骤基于滑移角模型来进行, 所述估计优选地基于下式:

$$\alpha_F(k) = -\beta(k) + \delta_w(k) - \frac{l_F \dot{\psi}(k)}{v_x(k)}$$

并且

$$\alpha_R(k) = -\beta(k) + \frac{l_R \dot{\psi}(k)}{v_x(k)}$$

其中,

α_F 表示前轴的轮胎滑移角,

α_R 表示后轴的轮胎滑移角,

β 表示车身相对于行进方向的角,

δ_w 表示转向角,

l_F 表示车辆重心与前轴之间的距离,

l_R 表示车辆重心与后轴之间的距离,

$\dot{\psi}$ 表示偏航率,

v_x 表示车辆纵向速度, 并且

k 表示离散时间序列。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法, 其中, 所述轮胎动力学模型是 Pacejka 模型, 所述轮胎动力学模型优选地基于下式:

$$\hat{F}_{yF}(k) = D \sin(C \tan^{-1}(B\alpha_F - E(B\alpha_F - \tan^{-1}(B\alpha_F))))$$

并且

$$\hat{F}_{yR}(k) = D \sin(C \tan^{-1}(B\alpha_R - E(B\alpha_R - \tan^{-1}(B\alpha_R))))$$

其中,

\hat{F}_{yF} 表示前轴的轮胎横向力,

\hat{F}_{yR} 表示后轴的轮胎横向力,

α_F 表示前轴的轮胎滑移角,

α_R 表示后轴的轮胎滑移角,

k表示离散时间序列,并且

B、C、D及E表示拟合系数,优选地是离线获得的拟合系数。

5. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,所述方法还包括估计偏航加速度($\ddot{\psi}$)的步骤,其中,基于所述横向动力学模型来估计车辆横向力的步骤包括所估计的偏航加速度($\ddot{\psi}$)作为输入因子。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,估计所述偏航加速度($\ddot{\psi}$)的步骤是基于后向Euler法进行的,所述估计优选地基于下式进行:

$$\ddot{\psi}(k) = \frac{\dot{\psi}(k) - \dot{\psi}(k-1)}{T_s}$$

其中,

$\ddot{\psi}$ 表示偏航加速度,

$\dot{\psi}$ 表示偏航率,

T_s 表示采样周期或分辨率,并且

k表示离散时间序列。

7. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,基于所述横向动力学模型来估计车辆横向力的步骤与通过所述转向控制单元(42)确定的所述期望转向角(δ)无关地进行。

8. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述横向动力学模型是单轨模型,所述横向动力学模型优选地基于下式:

$$M a_y(k) = F_{yF}(k) + F_{yR}(k)$$

并且

$$I_z \ddot{\psi}(k) = l_F F_{yF}(k) - l_R F_{yR}(k)$$

其中,

M表示车辆质量,

a_y 表示车辆横向加速度,

F_{yF} 表示前轴的轮胎横向力,

F_{yR} 表示后轴的轮胎横向力,

I_z 表示车辆转动惯性矩,

$\ddot{\psi}$ 表示偏航加速度,并且

k表示离散时间序列。

9. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,校正横向力值的步骤通过观测器来进行,具体为通过线性观察器进行。

10. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,校正横向力值的步骤包括以下步骤:

检测通过所述轮胎动力学模型估计的横向力值与通过所述横向动力学模型估计的横向力值之间的误差值,并且将所述误差值乘以观测器增益(L)以接收校正值,其中,所述校正值被作为用于在后续采样时间中校正通过所述轮胎动力学模型估计的横向力值的基础。

11. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,所述方法还包括估计轮胎拖距(t_p)的步骤,其中,估计所述回正力矩(32)的步骤包括所估计的轮胎拖距(t_p)作为输入因子。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,估计所述轮胎拖距(t_p)的步骤基于轮胎拖距模型来进行,所述估计优选地基于下式:

$$t_p = - \left(\frac{T_{SAT}}{F_y} \right)_{\alpha \rightarrow 0} = \frac{1}{3} a$$

其中,

t_p 表示轮胎拖距,

T_{SAT} 表示回正力矩,

F_y 表示校正后的横向力,并且

a 表示所述轮胎与道路之间的接触表面沿着纵向方向的长度。

13. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述转向力矩(28)基于转向模型(94)根据所述回正力矩(32)得到,所述转向模型表示车辆(34)的所述轮胎(14)与所述方向盘(12)之间的机械或机电系统(92),和/或其中,所述转向模型包括一阶滞后系统。

14. 一种用于车辆(34)的横向控制的方法,所述车辆具体为客车或卡车,所述方法包括以下步骤:根据前述权利要求中任一项来估计转向力矩(28),并将所估计的转向力矩(28)施加于所述车辆(34)的转向柱(18)。

15. 一种估计转向力矩(28)的装置,所述转向力矩具体用于车辆(34)的横向控制,所述装置包括:

-用于检测关于当前车辆状态和/或当前车辆环境的至少一个信号的检测装置(36、38、40);

-用于基于所述至少一个检测信号来确定期望转向角(δ)的控制单元(42);

-用于基于轮胎动力学模型来估计车辆横向力的估计单元(58),所述估计单元以所确定的转向角(δ)作为输入因子;

-用于基于横向动力学模型来估计车辆横向力的估计单元(62);

-用于基于通过所述横向动力学模型估计的横向力值来校正通过所述轮胎动力学模型估计的横向力值的校正单元;

-用于基于校正后的横向力值来估计回正力矩(32)的估计单元(50);以及

-用于根据所估计的回正力矩(32)来估计转向力矩(28)的估计单元(52)。

用于估计转向力矩的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及用于估计具体用于车辆的横向控制的转向力矩 (steering torque) 的方法和装置。

背景技术

[0002] 高级驾驶员辅助系统 (ADAS) 和自动驾驶概念 (诸如全自主或半自主驾驶系统) 在不同行驶情形下为驾驶员提供帮助或者允许沿纵向和/或横向方向稳定和/或控制车辆。

[0003] 关于车辆的横向控制, 例如, 车道保持辅助系统 (LKAS) 或用于自动驾驶的自动驾驶仪 (auto pilots) 是已知的, 其可以通过对当前前进方向、检测到的道路曲率以及相对相应车道中心的横向偏移之间的差异进行补偿来主动转动方向盘, 以使车辆朝着期望行驶路线移动。转向控制是保持车辆在期望行驶路线上行驶的关键部分。因此, 车辆的横向控制需要确定期望转向角, 其适合于实现车辆的期望行驶路线。

[0004] 通过仅确定期望转向角, 相应转向系统可以尝试以最大的可能转向力矩达到所述转向角。然而, 该转向力矩可能高于针对这种转向力矩的准许或适当限制, 其出于安全和/或舒适的理由, 例如可以定义为 $\pm 3\text{Nm}$ 。当前的高级驾驶员辅助系统 (ADAS) 以及自动驾驶系统 (至少是半自主系统) 可能仍然需要驾驶员的手放在方向盘上, 以在出现意外行驶情形时进行超驰控制。如果驾驶员必须瞬间施加的力矩水平很高, 具体高于 3Nm , 则驾驶舒适性和/或安全性可能会受到影响。

[0005] 而且, 诸如电动助力转向系统的大多数转向系统可能仅被提供有作为输入信号的力矩。因此仅输入转向角可能是不够的。最后, 转向角作为输入因子限制了车辆的操纵性能。为了达到相同的期望转向角, 根据相应行驶条件, 可能需要不同的力矩值。路面、车辆速度或轮胎特性和状况可影响用于实现特定转向角的所需转向力矩。同时, 如果试图以不适当的转向力矩达到期望转向角, 则车辆可能失去抓地力。

发明内容

[0006] 鉴于上述情况, 本发明的目的是提供一种用于以高准确度和很有限的计算工作量来估计转向力矩的方法。而且, 提供一种用于估计转向力矩的装置也是本发明的目的。

[0007] 根据本发明的用于估计转向力矩的方法包括以下步骤:

[0008] 检测有关当前车辆状态和/或当前车辆环境的至少一个信号;

[0009] 通过转向控制单元基于所述至少一个检测信号来确定期望转向角;

[0010] 基于轮胎动力学模型来估计车辆横向力, 以所确定的转向角作为输入因子;

[0011] 基于横向动力学模型来估计车辆横向力;

[0012] 基于通过所述横向动力学模型估计的横向力值, 校正通过所述轮胎动力学模型估计的横向力值;

[0013] 基于校正的横向力值来估计回正力矩; 以及

[0014] 根据估计的回正力矩来估计转向力矩。

[0015] 所估计的转向力矩可以用于车辆的横向控制或用于驾驶员辅助,如用于向驾驶员提供警告信号。

[0016] 检测关于当前车辆状态和/或当前车辆环境的信号的步骤可以通过相应传感器或者通过多个传感器来进行。当前车辆状态(包括车辆位置、方向、速度以及相应变化率)可以由GPS单元和/或惯性测量单元(IMU)检测。车辆环境(诸如静态或动态障碍物或车道标记)可以通过摄像机、雷达、激光雷达(LIDAR)和/或超声波传感器检测。

[0017] 然后,可以使用检测到的信号或多个检测到的信号来确定期望转向角。该操作尤其通过转向控制单元并通过应用恰当计算模型来进行。随后,可以将期望转向角作用于基于轮胎动力学模型来估计车辆横向力的输入因子。独立于轮胎动力学模型,基于横向动力学模型来估计车辆横向力。然后,基于通过横向动力学模型估计的横向力值,校正通过轮胎动力学模型估计的横向力值。基于校正的横向力值来估计回正力矩。最后,可以根据所估计的回正力矩来估计转向力矩。

[0018] 具体来说,回正力矩可以对应于用于校正轮胎滑移角的反力矩,而转向力矩可以按特定关系与所需的反力矩相关,从而允许估计转向力矩。

[0019] 根据本发明的实施方式,所述方法还包括估计轮胎滑移角的步骤,其中,所确定的转向角提供用于轮胎滑移角估计的输入因子,和/或其中,基于轮胎动力学模型来估计车辆横向力的步骤包括所估计的轮胎滑移角作为输入因子。由此,可以改进基于轮胎动力学模型来进行横向力估计的准确度。

[0020] 估计滑移角的步骤可以基于滑移角模型来进行,其例如基于下式:

$$[0021] \quad \alpha_F(k) = -\beta(k) + \delta_w(k) - \frac{l_F \dot{\psi}(k)}{v_x(k)}$$

[0022] 并且

$$[0023] \quad \alpha_R(k) = -\beta(k) + \frac{l_R \dot{\psi}(k)}{v_x(k)}$$

[0024] 其中,

[0025] α_F 表示前轴的轮胎滑移角,

[0026] α_R 表示后轴的轮胎滑移角,

[0027] β 表示车身相对于行进方向的角,

[0028] δ_w 表示转向角,

[0029] l_F 表示车辆重心与前轴之间的距离,

[0030] l_R 表示车辆重心与后轴之间的距离,

[0031] $\dot{\psi}$ 表示偏航率,

[0032] v_x 表示车辆纵向速度,并且

[0033] k 表示离散时间序列。

[0034] 这种计算允许仅以很少的计算工作量准确地估计滑移角。对于相应车辆来说, l_F 和 l_R 的值可以大致固定且已知。可以考虑或忽略因装载而造成的重心变化。 β 、 $\dot{\psi}$ 及 v_x 的值可以在行驶期间通过传感器在线地测量。 δ_w 的值可以是先前确定的期望转向角。

[0035] 根据另一实施方式,轮胎动力学模型是Pace jka模型,例如基于下式:

[0036] $\hat{F}_{yF}(k) = D \sin(C \tan^{-1}(B\alpha_F - E(B\alpha_F - \tan^{-1}(B\alpha_F))))$

[0037] 并且

[0038] $\hat{F}_{yR}(k) = D \sin(C \tan^{-1}(B\alpha_R - E(B\alpha_R - \tan^{-1}(B\alpha_R))))$,

[0039] 其中,

[0040] \hat{F}_{yF} 表示前轴的轮胎横向力,

[0041] \hat{F}_{yR} 表示后轴的轮胎横向力,

[0042] α_F 表示前轴的轮胎滑移角,

[0043] α_R 表示后轴的轮胎滑移角,

[0044] k 表示离散时间序列,并且

[0045] B 、 C 、 D 及 E 表示拟合系数。

[0046] 这样的Pacejka模型提供了相当高的准确度和可接受的计算工作量,其仍可以在车辆行驶期间连续提供。 α_F 和 α_R 的值可以经由上述滑移角估计来确定。 B 、 C 、 D 及 E 的值可以针对相应道路状况(如路面的特性)离线地获取。 B 、 C 、 D 及 E 的值具体可表示干燥、潮湿或积雪覆盖的路面以及诸如混凝土、沥青或鹅卵石的不同路面材料。

[0047] 根据本发明的方法还可以包括估计偏航加速度的步骤,其中,基于横向动力学模型来估计车辆横向力的步骤可以包括所估计的偏航加速度作为输入因子。由此,可以改进基于横向动力学模型进行横向力估计的准确度。

[0048] 估计偏航加速度的步骤可以基于后向Euler法进行,例如基于下式:

[0049]
$$\ddot{\psi}(k) = \frac{\dot{\psi}(k) - \dot{\psi}(k-1)}{T_s}$$

[0050] 其中,

[0051] $\ddot{\psi}$ 表示偏航加速度,

[0052] $\dot{\psi}$ 表示偏航率,

[0053] T_s 表示采样周期或分辨率,并且

[0054] k 表示离散时间序列。

[0055] 基于后向Euler法,具体基于上式,可以准确地且以很少的计算工作量来估计偏航加速度。

[0056] 根据又一实施方式,基于横向动力学模型来估计车辆横向力的步骤与由转向控制单元确定的期望转向角无关地进行。在这种情况下,不需要期望转向角作为横向动力学模型的输入因子,因此可以以减少的工作量相应地简化计算,而同时可以确保足够的准确度。

[0057] 横向动力学模型可以是单轨模型,例如基于下式:

[0058] $M a_y(k) = F_{yF}(k) + F_{yR}(k)$

[0059] 并且

[0060] $I_z \ddot{\psi}(k) = l_F F_{yF}(k) - l_R F_{yR}(k)$

[0061] 其中,

[0062] M 表示车辆质量,

[0063] a_y 表示车辆横向加速度,

[0064] F_{yF} 表示前轴的轮胎横向力,

[0065] F_{yR} 表示后轴的轮胎横向力,

[0066] I_z 表示车辆转动惯性矩,

[0067] $\ddot{\psi}$ 表示偏航加速度,并且

[0068] k 表示离散时间序列。

[0069] 这种单轨模型仅以很少的计算工作量就可以提供高准确度。对于相应车辆来说, M 和 I_z 的值可以大致固定且已知。可以考虑或忽略关于因装载而造成的质量和/或转动惯性矩的变化。 a_y 和 $\ddot{\psi}$ 的值可以在驾驶期间通过传感器在线地测量。

[0070] 根据又一实施方式,校正横向力值的步骤通过观测器来进行。观测器例如可以是线性观测器,如Luenberger-Observer。也可以使用其它类型的观测器,例如,非线性观测器。在仅以很少的计算工作量实现更高准确度方面,利用观测器来校正横向力值简单且有效。

[0071] 而且,校正横向力值的步骤可以包括以下步骤:检测通过轮胎动力学模型估计的横向力值与通过横向动力学模型估计的横向力值之间的误差值,并将误差值乘以观测器增益以得到校正值。然后,可以将校正值视为用于在后续采样时间序列中校正通过轮胎动力学模型估计的横向力值的基础。误差值与观测器增益的相乘可以由上述观测器进行。因此,校正通过轮胎动力学模型估计的横向力值的步骤可以按照特别鲁棒的方式执行。

[0072] 根据又一实施方式,所述方法还可以包括估计轮胎拖距的步骤,其中,估计回正力矩的步骤可以包括所估计的轮胎拖距作为输入因子。特别地,一旦车辆横向力是已知的或被充分估计,轮胎拖距就可以有助于回正力矩的估计。

[0073] 估计轮胎拖距的步骤可以基于轮胎拖距模型来进行,其例如基于下式:

$$[0074] \quad t_p = - \left(\frac{T_{SAT}}{F_y} \right)_{\alpha \rightarrow 0} = \frac{1}{3} a$$

[0075] 其中,

[0076] t_p 表示轮胎拖距,

[0077] T_{SAT} 表示回正力矩,

[0078] F_y 表示校正的横向力,并且

[0079] a 表示轮胎与道路之间的接触表面沿着纵向方向的长度。

[0080] 上式允许有效计算回正力矩。一旦获知或充分估计了车辆横向力,就可以基于因子 a 进行回正力矩的充分估计,因子 a 表示轮胎与道路之间的接触表面沿着纵向方向的长度。即,一旦轮胎触及路面,就确立轮胎与路面之间的接触点周围的一小块区域,已知为接触块(patch)。所讨论的区域的大小是轮胎宽度乘以块长度 a 。 a 的值可以取决于轮胎特性(诸如轮胎尺寸或径向轮胎设计)以及当前特性(诸如气压和行驶情形)。 a 的值可以离线地确定,具体通过实证分析和测试,其中,可以考虑或忽略 a 的可变因子,如气压。

[0081] 转向力矩可以基于转向模型从回正力矩导出,该转向模型表示车辆的轮胎与方向盘之间的机械或机电系统。转向模型可以包括一阶系统,例如,一阶滞后系统。高阶系统也适用。因此,可以促进相对复杂的机电转向系统的建模,而同时获得足够准确的结果。

[0082] 在一阶系统中,可存在两个自由参数,即,动力转向比(power steering ratio)和转向系统的杆位置(pole location),动力转向比通常是固定值并且易于获得。电动助力转向动力学可以利用频率响应方法或诸如经验数据的其它方法离线地确定,或者例如也可以从OEM获得。考虑到杆位置,驾驶员可以对一阶系统执行最终调节,以便满足相应要求,诸如稳态、响应时间和/或改善这种系统的性能。

[0083] 本发明另一方面涉及一种用于具体为客车或卡车的车辆的横向控制的方法,该方法包括以下步骤:根据上面的描述来估计转向力矩;以及将估计的转向力矩施加至车辆的转向柱。

[0084] 本发明又一方面涉及一种用于辅助具体为客车或卡车的驾驶员的方法,该方法包括以下步骤:根据上面的描述来估计转向力矩;以及在估计的转向力矩高于准许阈值的情况下,向驾驶员输出警告信号。

[0085] 根据本发明的又一方面,一种用于具体针对车辆的横向控制的估计转向力矩的装置,该装置包括:用于检测有关当前车辆状态和/或当前车辆环境的至少一个信号的检测装置;用于基于至少一个检测信号来确定期望转向角的控制单元;用于基于轮胎动力学模型来估计车辆横向力的估计单元,所述估计单元以所确定的转向角作为输入因子;用于基于横向动力学模型来估计车辆横向力的估计单元;用于基于通过横向动力学模型估计的横向力值来校正通过轮胎动力学模型估计的横向力值的校正单元;用于基于校正的横向力值来估计回正力矩的估计单元;以及用于根据估计的回正力矩来估计转向力矩的估计单元。

[0086] 本发明另一方面涉及一种用于具体为客车或卡车的车辆的、具有根据上面说明书的装置的转向系统。

[0087] 本发明又一方面涉及一种具有根据上面的说明书的装置和/或转向系统的车辆,具体为客车或卡车。

[0088] 上述关于所述方法的细节同样适用于根据本发明的装置、转向系统和/或车辆。

附图说明

[0089] 下面,参照附图,对本发明各种实施方式的特征和优点进行描述。

[0090] 图1示出了车辆转向系统的示意性例示图;

[0091] 图2示出了用于车辆横向控制的示意性框图;

[0092] 图3示出了用于估计转向力矩的示意性框图;

[0093] 图4示出了车辆轮胎与路面之间的接触块的示意性例示图;

[0094] 图5示出了在转弯期间轮胎横向力、轮胎拖距以及回正力矩之间的关系的示意性例示图;

[0095] 图6a示出了车辆转向系统的示意性例示图,其中突出显示了轮胎与方向盘之间的机电系统;

[0096] 图6b示出了车辆转向系统的示意性例示图,其中轮胎与方向盘之间的机电系统用模型表示;并且

[0097] 图7示出了例示车辆横向力与滑移比率之间的、取决于道路状况的关系图表。

具体实施方式

[0098] 图1示出了车辆转向系统10的示意性例示图。车辆转向系统10包括方向盘12和车轮14,其中,方向盘12经由转向柱16和轴18联接至车轮14。转向系统10还包括具有电动转向马达22的电动助力转向(EPS)系统20,用于响应于驾驶员转动方向盘12而提供电动转向辅助。车辆转向系统10还可以包括具有安装至转向柱16的电动机26的主动前转向(AFS)系统24。AFS系统24可以提供额外或校正转向,例如,在全自主或半自主驾驶期间。

[0099] 在图1中,施加至方向盘12的转向力矩用标号28表示。转向力矩28例如可以由驾驶员和/或AFS系统24提供。在转弯期间,横向力30可以施加到车轮14上。这种横向力可以引起所谓的回正力矩(self-aligning torque)32。

[0100] 如从图1可以进一步理解的,车辆转向系统10还可以包括电子控制单元ECU,ECU可以为EPS系统20和/或AFS系统24提供系统控制。ECU可以被具体配置用于进行根据本发明的用于估计转向力矩28的方法。ECU此外可以从这里未示出的转向角传感器和/或力矩传感器接收信号。转向角传感器和/或力矩传感器可以安装至转向柱16。

[0101] 图2示出了根据本发明的实施方式的车辆横向控制的示意性框图。车辆用标号34指示,并且可以包括车辆转向系统10,如图1描绘并在上面提到的。车辆34还可以包括诸如CAN的通信系统。车辆34的当前状态(诸如位置、速度、偏航率和/或方向以及它们的变化率)可以利用检测装置36检测。检测装置可以包括GPS单元和/或惯性测量单元(IMU)。

[0102] 可以通过检测装置38和40检测车辆的当前环境。检测装置38可以包括诸如摄像机和/或激光雷达传感器的传感器,其可以提供有关静态和/或动态障碍物、车道标记和/或道路曲率的信息。检测装置38可以输出横向偏移量,举例来说,诸如值或者由多项式方程的多项式系数表示。该多项式可以表达为:

$$[0103] \quad y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

[0104] 其中,

[0105] y 表示横向偏移量,

[0106] x 表示与车辆中心相对的纵向距离,并且

[0107] a_0 、 a_1 、 a_2 和 a_3 表示系数。

[0108] 检测装置36的输出例如可以输入至检测装置38。检测装置40可以包括雷达传感器。

[0109] 检测装置36、38及40的输出可以馈送至控制单元42,以确定期望转向角。即,横向参数、相对于车道中心的横向偏移、相对于车道中心的方向差、它们的导数和车辆动力学参数(诸如纵向速度和横向速度)、偏航和偏航率可以馈送至控制单元42。控制单元42可以包括模型预测控制器(MPC)或任何其它类型的控制器,所述控制器被具体配置成按相应时间序列(包括当前和预览时间序列)确定期望转向角 δ 。

[0110] 用于估计转向力矩28的步骤可以由估计系统44进行,该估计系统可以包括用于估计车辆横向力的估计单元46、用于估计轮胎拖距(pneumatic trail)值的估计单元48、用于估计回正力矩的估计单元50以及用于根据所估计的回正力矩来估计转向力矩的估计单元52。

[0111] 车辆参数用数字54指示,并且可以是固定的或大致固定的值,例如,包括车辆质量或前轴和后轴到车辆重心之间的距离。

[0112] 由控制单元42确定的期望转向角、车辆参数54以及检测装置36的输出被输入至估计单元46。

[0113] 参照图3,更详细地描述估计单元46的功能。滑移角估计单元56可以接收输入信号,诸如车辆参数54和来自控制单元42的包括期望转向角的信号。滑移角估计单元56还可以从检测装置36接收车辆状态信息,诸如车辆纵向速度和偏航率。

[0114] 随后,可以通过下式估计前轴和后轴的轮胎滑移角:

$$[0115] \quad \alpha_F(k) = -\beta(k) + \delta_w(k) - \frac{l_F \dot{\psi}(k)}{v_x(k)}$$

[0116] 并且

$$[0117] \quad \alpha_R(k) = -\beta(k) + \frac{l_R \dot{\psi}(k)}{v_x(k)}$$

[0118] 其中,

[0119] α_F 表示前轴的轮胎滑移角,

[0120] α_R 表示后轴的轮胎滑移角,

[0121] β 表示车身相对于行进方向的角,

[0122] δ_w 表示转向角,

[0123] l_F 表示车辆重心与前轴之间的距离,

[0124] l_R 表示车辆重心与后轴之间的距离,

[0125] $\dot{\psi}$ 表示偏航率,

[0126] v_x 表示车辆纵向速度,并且

[0127] k 表示离散时间序列。

[0128] 然后,可以将前轴和后轴的所估计的轮胎滑移角馈送至估计单元58,以基于轮胎动力学模型来估计车辆横向力。估计单元58具体可以包括Pacejka模型,该模型可以用下式来表达:

$$[0129] \quad \hat{F}_{yF}(k) = D \sin(C \tan^{-1}(B\alpha_F - E(B\alpha_F - \tan^{-1}(B\alpha_F))))$$

[0130] 并且

$$[0131] \quad \hat{F}_{yR}(k) = D \sin(C \tan^{-1}(B\alpha_R - E(B\alpha_R - \tan^{-1}(B\alpha_R))))),$$

[0132] 其中,

[0133] \hat{F}_{yF} 表示前轴的轮胎横向力,

[0134] \hat{F}_{yR} 表示后轴的轮胎横向力,

[0135] α_F 表示前轴的轮胎滑移角,

[0136] α_R 表示后轴的轮胎滑移角,

[0137] k 表示离散时间序列,并且

[0138] B、C、D及E表示拟合系数。

[0139] B、C、D及E的值可以针对任何相关道路状况离线地获得,诸如路面(干燥、潮湿或积雪覆盖路面)及不同的路面材料(诸如混凝土、沥青或鹅卵石)。图7例示了车辆横向力与滑

移比率之间的、取决于包括不同道路材料在内的道路状况的关系。系数B、C、D及E可以从这样的数据集获取，该数据集例示了滑移比率的道路状况的相关性。

[0140] 并行地，估计单元60通过应用后向Euler公式来估计偏航加速度，其可以用下式表达：

$$[0141] \quad \ddot{\psi}(k) = \frac{\dot{\psi}(k) - \dot{\psi}(k-1)}{T_s}$$

[0142] 其中，

[0143] $\ddot{\psi}$ 表示偏航加速度，

[0144] $\dot{\psi}$ 表示偏航率，

[0145] T_s 表示采样周期或分辨率，并且

[0146] k 表示离散时间序列。

[0147] 作为估计单元60的输入因子的偏航率可以从检测装置36得到。

[0148] 而且，估计单元62基于横向动力学模型估计前轴和后轴的横向力。具体来说，由估计单元62应用的横向动力学模型可以是单轨(single track)模型，具体用下式表达：

$$[0149] \quad M a_y(k) = F_{yF}(k) + F_{yR}(k)$$

[0150] 并且

$$[0151] \quad I_z \ddot{\psi}(k) = l_F F_{yF}(k) - l_R F_{yR}(k)$$

[0152] 其中，

[0153] M 表示车辆质量，

[0154] a_y 表示车辆横向加速度，

[0155] F_{yF} 表示前轴的轮胎横向力，

[0156] F_{yR} 表示后轴的轮胎横向力，

[0157] I_z 表示车辆转动惯性矩，

[0158] $\ddot{\psi}$ 表示偏航加速度，并且

[0159] k 表示离散时间序列。

[0160] 作为输入因子的偏航加速度可以从单元60得到，而作为输入因子的横向加速度例如可以从检测装置36得到。而且，还提供车辆参数54作为估计单元62的输入因子。

[0161] 误差确定单元64确定一方面通过估计单元58的轮胎动力学模型估计的横向力值与另一方面通过估计单元62的横向动力学模型估计的横向力值之间的横向力的误差矢量。观测器增益 L 乘以该误差矢量并用作估计单元62的输入值或输入矢量。即，观测器增益 L 乘以误差矢量可以分别提供校正值或校正矢量，其用于在下一采样时间序列中校正由估计单元58估计的车辆横向力。

[0162] 图2中指示的估计单元48被配置成估计轮胎拖距。轮胎拖距在图4中更详细地示出。图4的左侧例示了沿方向66滚动的车轮14的侧视图。车轮14与路面68之间的接触点用数字70表示。接触点70的详细视图在图4的右侧示出。示出了横向力30以及存在于车轮14与路面68之间的接触块72。接触块72可以具有用数字74指示的长度 a 。接触块72的尺寸及其长度74取决于轮胎特征和诸如气压或轮胎尺寸的特性。当轮胎滑移角较小时，可以估计轮胎拖

距76的值。

[0163] 估计轮胎拖距的步骤具体可以基于轮胎拖距模型来进行,其例如基于下式:

$$[0164] \quad t_p = - \left(\frac{T_{SAT}}{F_y} \right)_{\alpha \rightarrow 0} = \frac{1}{3} a$$

[0165] 其中,

[0166] t_p 表示轮胎拖距,

[0167] T_{SAT} 表示回正力矩,

[0168] F_y 表示校正的横向力,并且

[0169] a 表示轮胎与道路之间的接触表面沿着轮胎的纵向方向的长度。

[0170] 图2中指示的估计单元50被配置成估计回正力矩。该回正力矩可以通过由估计单元46估计的校正的车辆横向力与由估计单元48估计的轮胎拖距的乘积来计算。具体来说,,可以应用下式:

$$[0171] \quad T_{sat} \approx F_y \cdot t_p$$

[0172] 其中,

[0173] T_{sat} 表示回正力矩,

[0174] F_y 表示校正的车辆横向力,并且

[0175] t_p 表示轮胎拖距。

[0176] 图5中例示了在转弯期间车辆横向力、轮胎拖距以及回正力矩之间的关系。可以理解,横向力30存在于车轮上,导致反向横向力31以及回正力矩32。滑移角 α 用数字78指示。车轮指向的方向用数字80指示,而运动方向用数字82指示。压力中心用数字84指示,而压力分布用数字86指示。

[0177] 为了在转弯时控制车辆,车辆所需的力矩90必须至少足以校正轮胎滑移角78。换句话说,力矩90必须至少与回正力矩32处于相同水平。因此,可以基于回正力矩32来估计方向盘12处的期望力矩28。

[0178] 图2中指示的估计单元52被配置成基于转向模型来估计回正力矩。该转向模型可以表示车辆的轮胎与方向盘之间的机械和/或机电系统。整个机械或机电系统在图6a中用数字92指示。该转向模型可以包括一阶系统94,其在图6a中示意性地示出。该一阶系统可以是一阶滞后系统。也可以应用高阶系统。在一阶系统中,例如可能存在两个自由参数,即,动力转向比(其通常是固定值并且易于获得)和转向系统的杆位置。考虑到杆位置,驾驶员可以对一阶系统执行最终调节,以便满足相应要求,诸如稳态、响应时间和/或改善这种系统的性能。该系统可以通过测试来调谐。

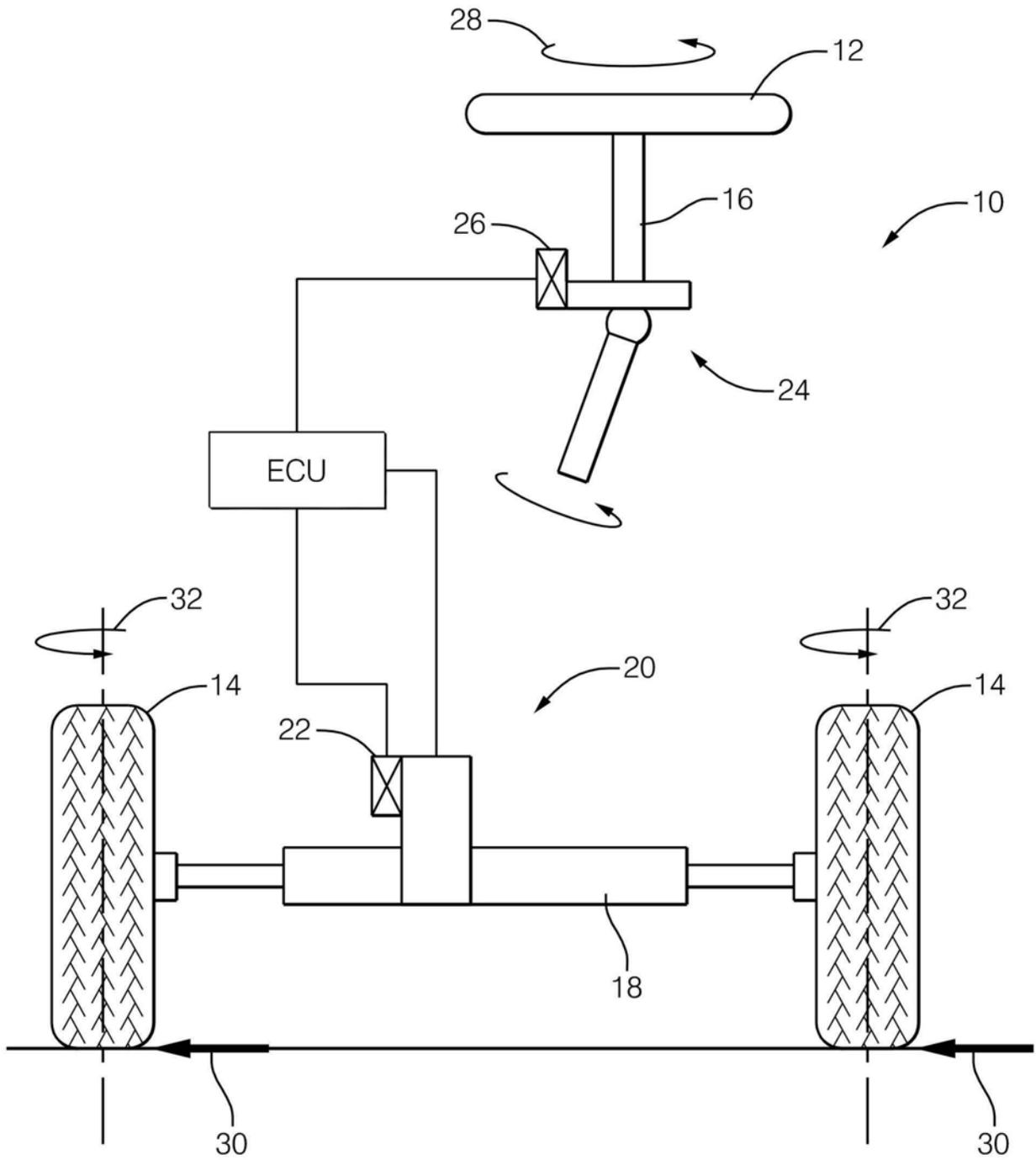


图1

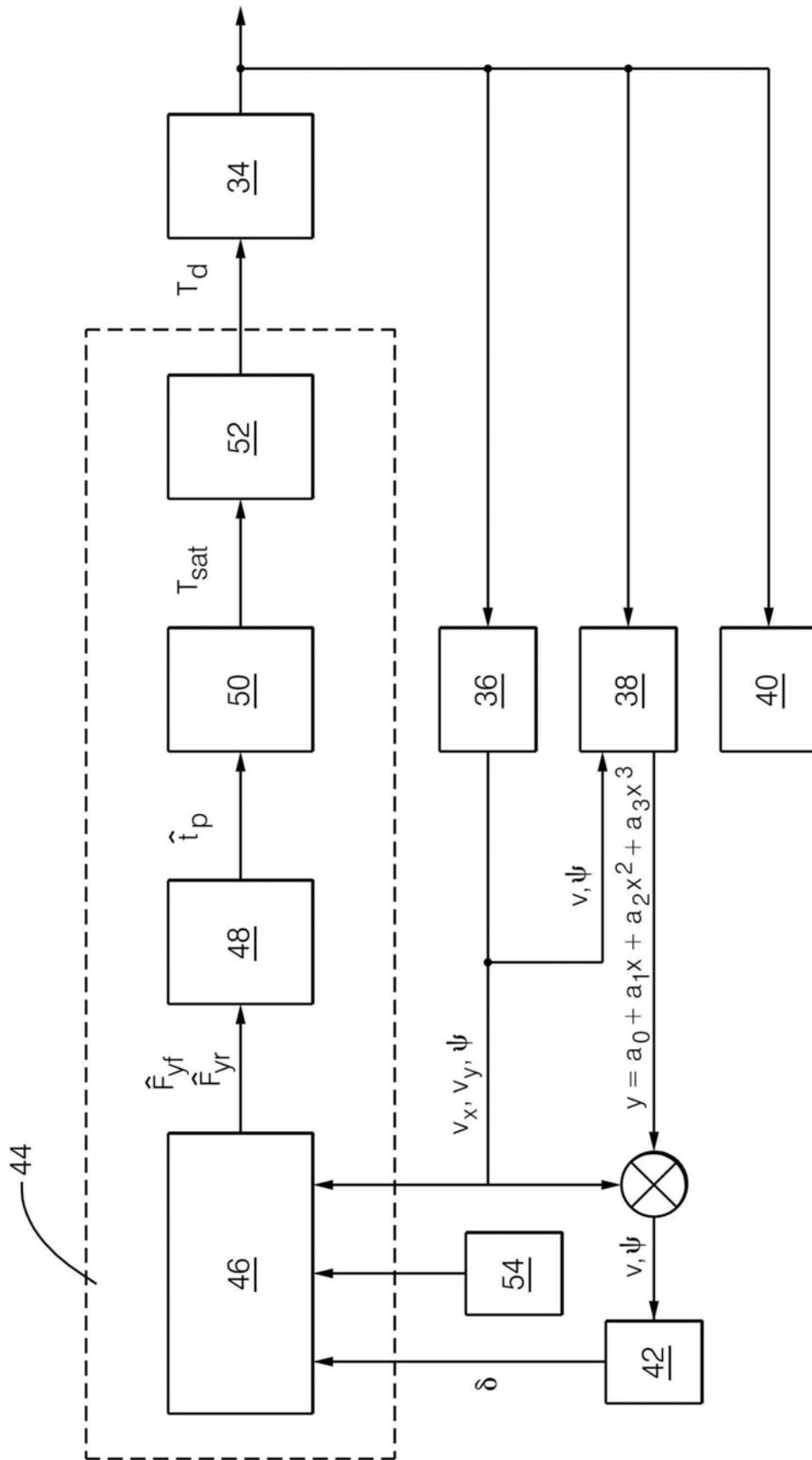


图2

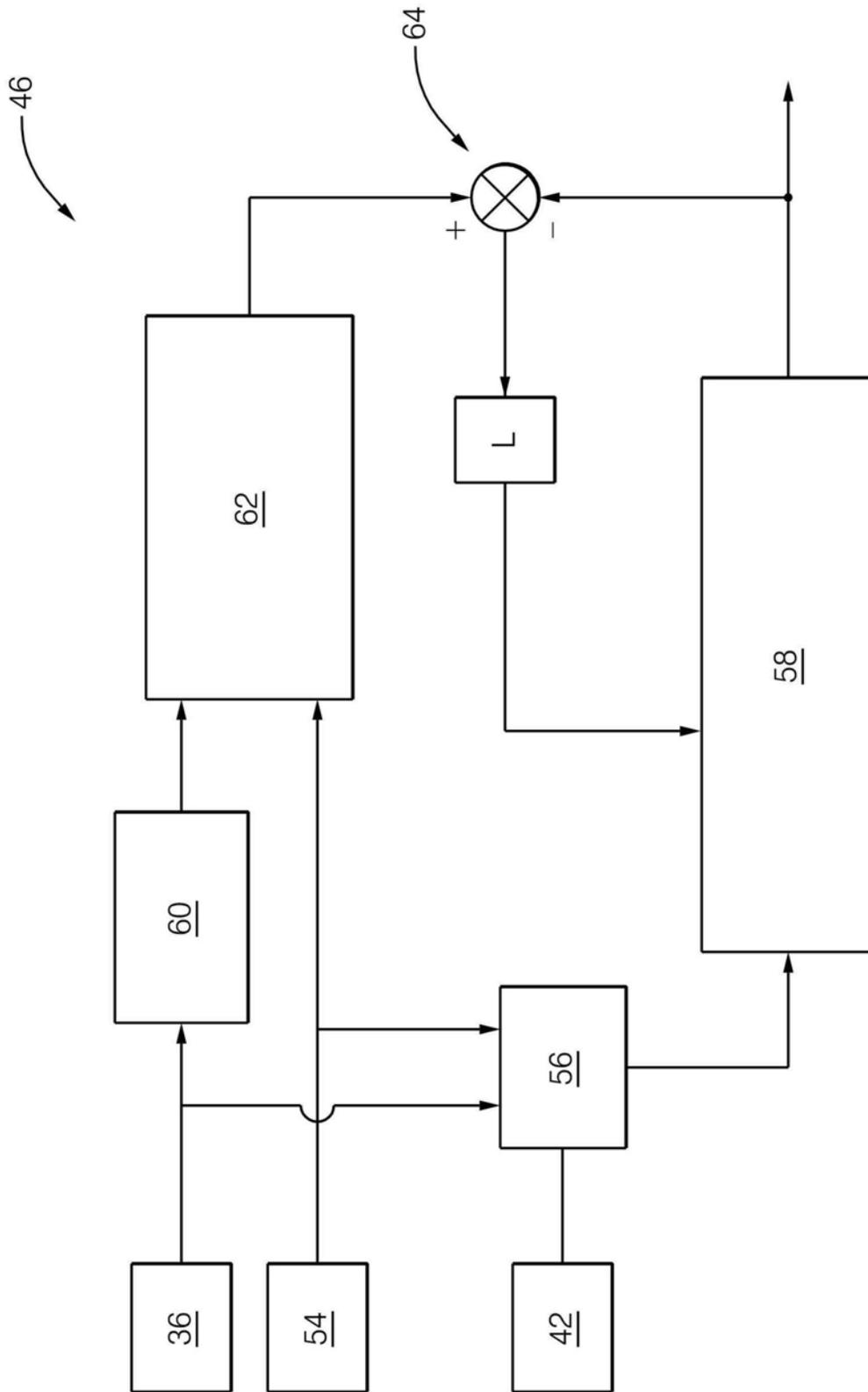


图3

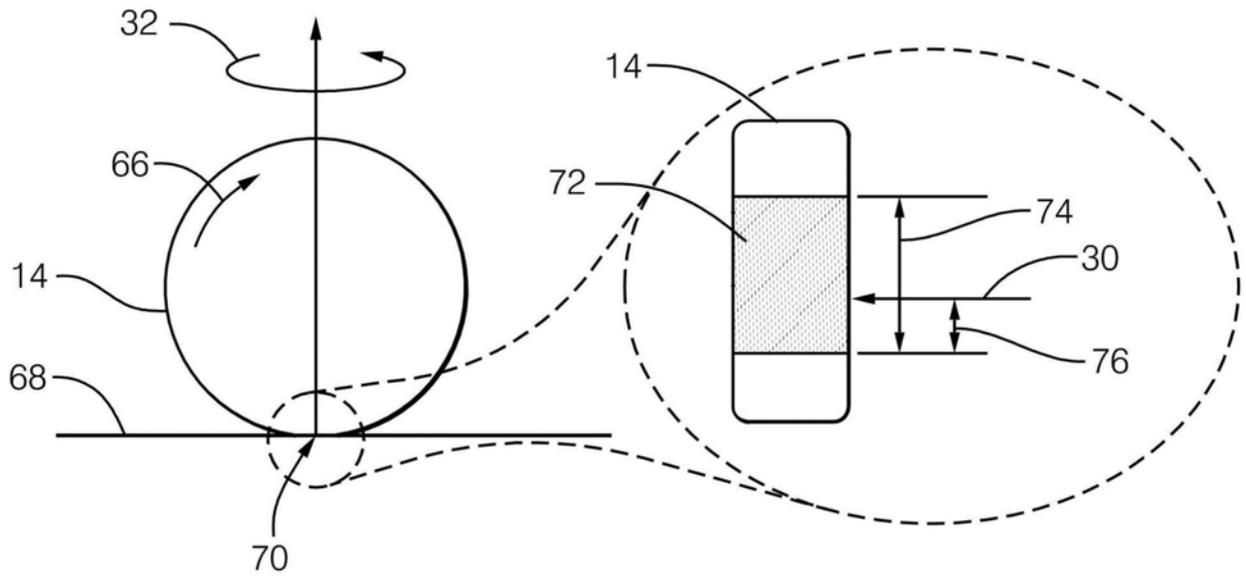


图4

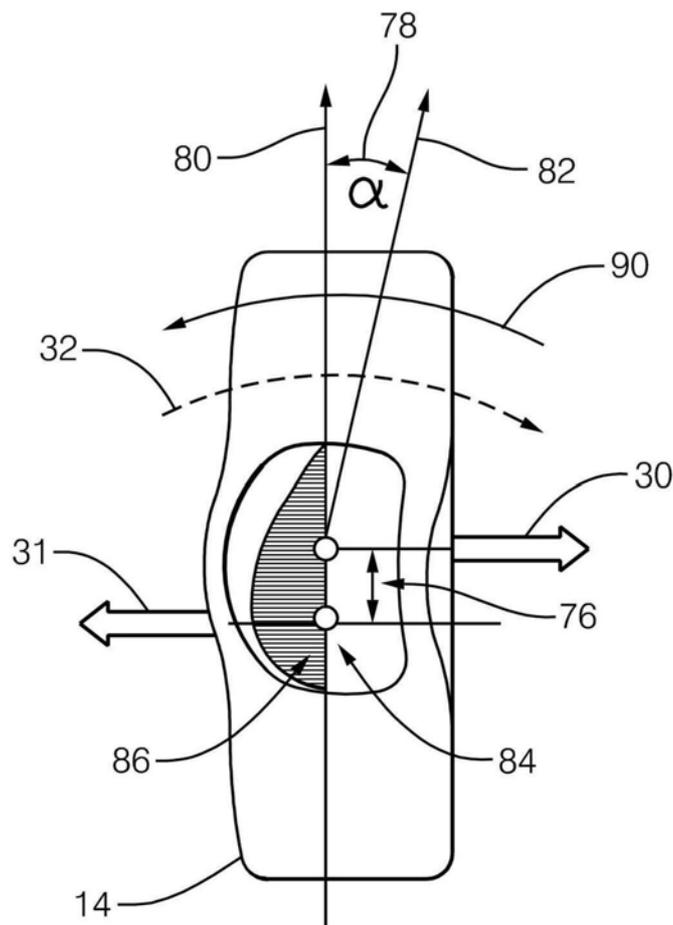


图5

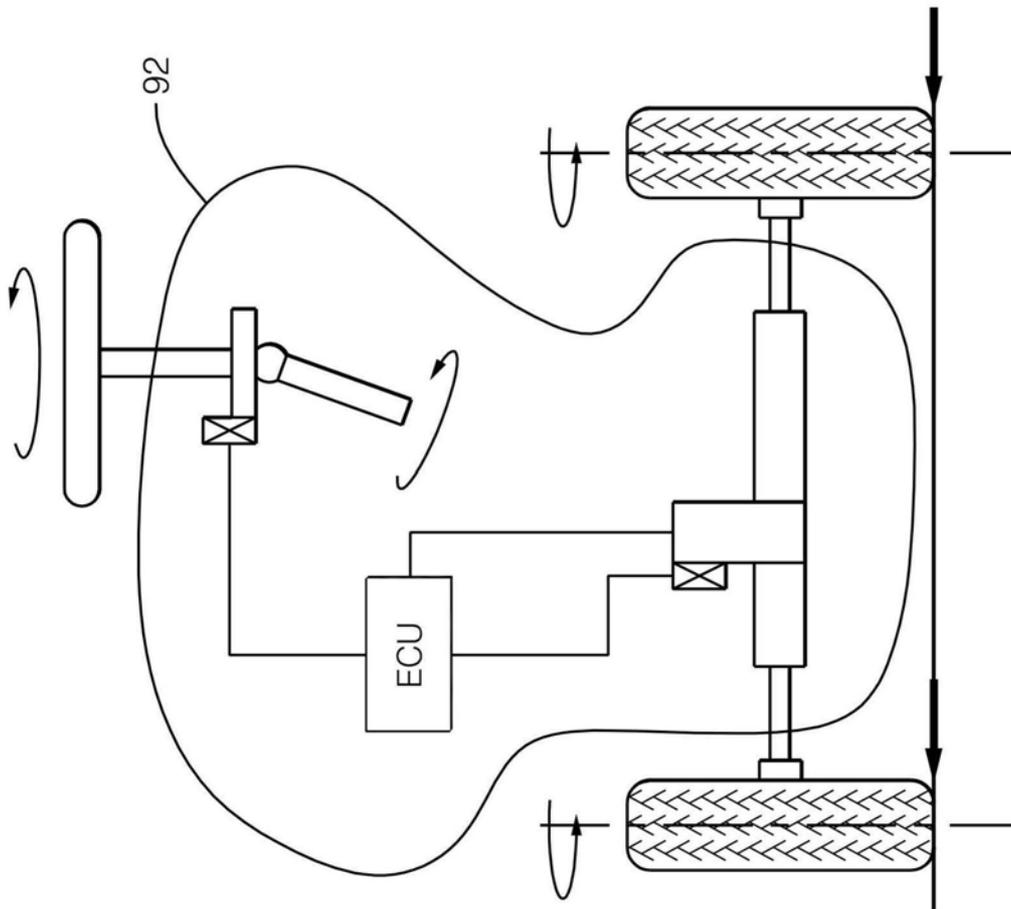


图6a

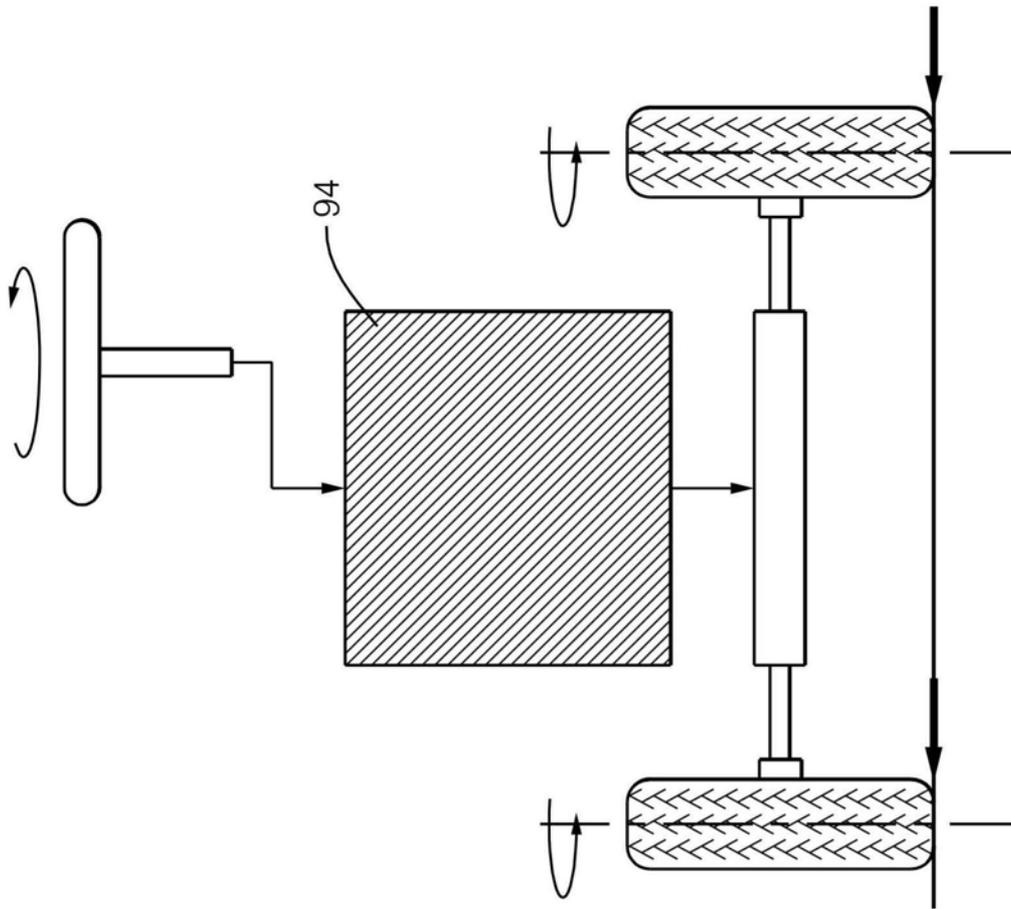


图6b

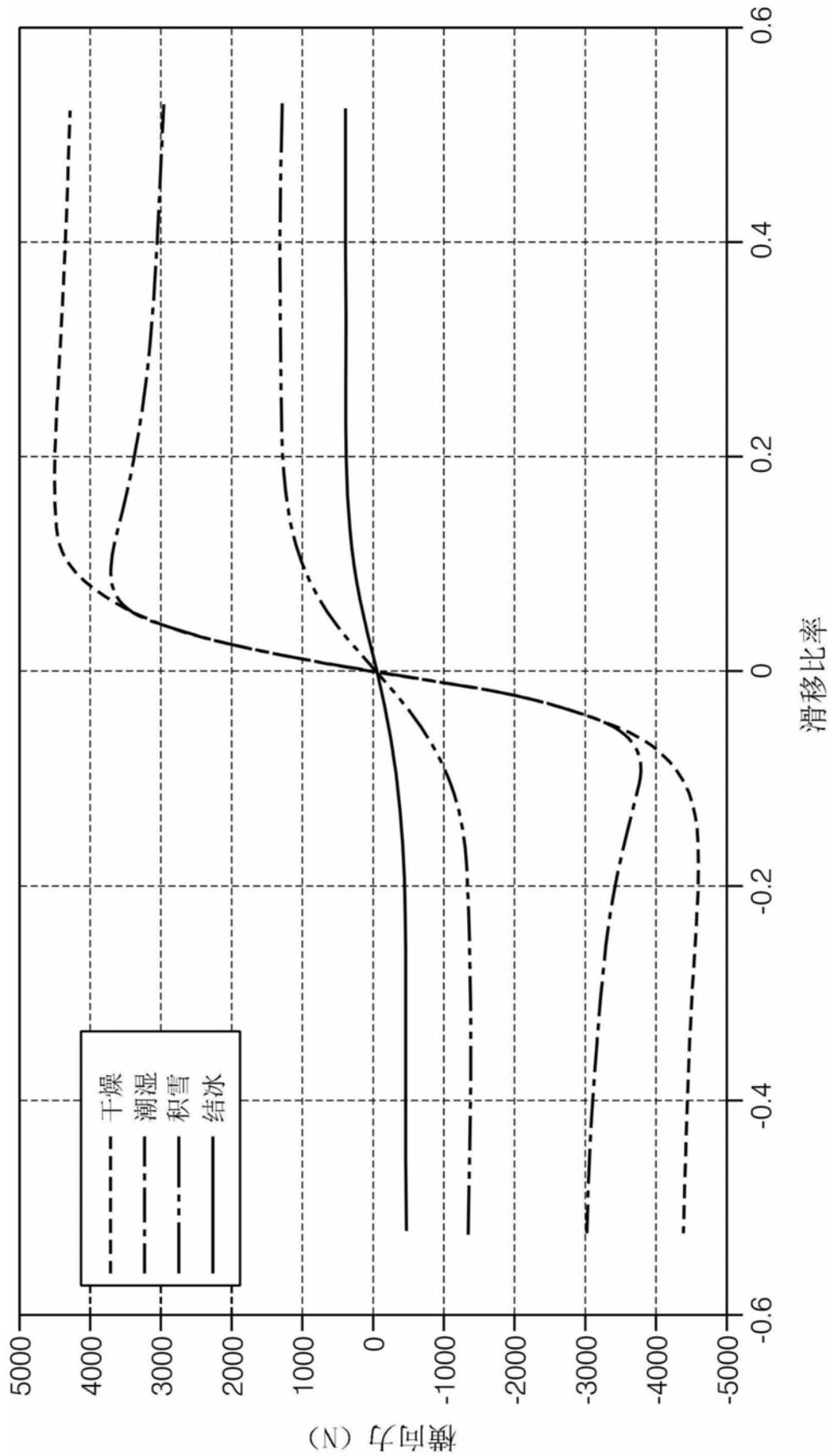


图7