



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105667520 B

(45)授权公告日 2018.01.16

(21)申请号 201610108400.3

(22)申请日 2016.02.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105667520 A

(43)申请公布日 2016.06.15

(73)专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路301号

(72)发明人 丁世宏 张圣道 马莉 江浩斌

(51)Int.Cl.

B60W 40/10(2012.01)

(56)对比文件

CN 103909933 A,2014.07.09,

CN 104527775 A,2015.04.22,

CN 105083373 A,2015.11.25,

CN 103879307 A,2014.06.25,

CN 102880048 A,2013.01.16,

JP 2010-125888 A,2010.06.10,

EP 2757007 A1,2014.07.23,

审查员 王小波

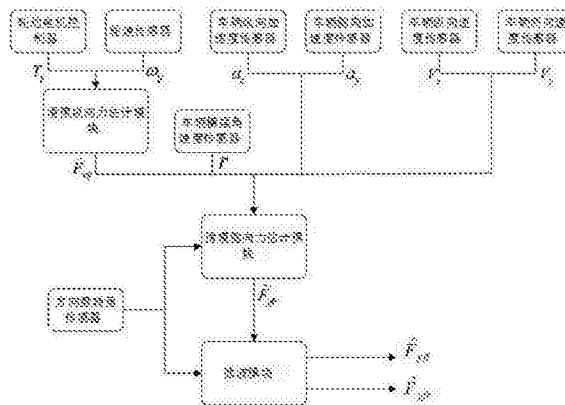
权利要求书3页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种分布式驱动电动车的前轮侧向力估计方法

(57)摘要

本发明公开了一种分布式驱动电动车的前轮侧向力估计方法,主要步骤为:1,依据各种传感器采集到的车辆状态信息,基于车辆动力学方程设计了滑模纵向力观测器对轮胎的纵向力进行实时估计;2,将估计的各轮纵向力以及纵向加速度信号、侧向加速度信号、横摆角速度信号等传输给滑模侧向力观测器,得到右前轮的侧向力估计值;3,通过滤波模块,对估计出的侧向力进一步优化处理,解决了侧向力估计值中出现的奇异问题,从而输出最终的两前轮侧向力估计值;本发明的优点:采用二阶滑模观测器,一方面保证了计算的实时性;另一方面,对不同路面状况和轮胎特性给原系统带来的不确定扰动具有很好的鲁棒性,从而能够提高横向控制效果,保持输出的稳定性。



1. 一种分布式驱动电动车的前轮侧向力估计方法,其特征在于,包括如下步骤:

1) 在车辆行驶过程中,将轮边电机控制器测得各电机所需的力矩 T_{ij} 和轮速传感器测得的轮速信号 ω_{ij} 发送到滑模纵向力估计模块,滑模纵向力估计模块依据实时采集到的信号,计算出轮胎的纵向力估计值 \hat{F}_{xij} ;

轮胎纵向力的估计值 \hat{F}_{xij} 的具体计算如下:

1-1) 建立车轮旋转动力学方程为:

$$I_{\omega} \dot{\omega}_{ij} = T_{ij} - R F_{xij} \quad (1)$$

将方程(1)改写成

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = u_1 + F_1 \\ y = x_1 \end{cases}$$

其中, $x_1 = \omega_{ij}$,输入变量 $u_1 = \frac{T_{ij}}{I_{\omega}}$, $F_1 = -\frac{R}{I_{\omega}} F_{xij}$ 看作未知扰动, y 为输出量;

1-2) 设计基于超螺旋算法的二阶滑模观测器:

$$\begin{cases} \frac{d\hat{x}_1}{dt} = u_1 + z_1, z_1 = -\lambda_1 |\hat{x}_1 - x_1|^{\frac{1}{2}} \text{sign}(\hat{x}_1 - x_1) + z_2 \\ \frac{dz_2}{dt} = -\lambda_0 \text{sign}(z_2 - z_1) \end{cases} \quad (\lambda_0 > 0, \lambda_1 > 0)$$

1-3) 根据有限时间收敛理论,存在某一常数 T_1 ($T_1 > 0$),使得

$\hat{x}_1 \rightarrow x_1, z_2 = \hat{F}_1 \rightarrow F_1$ ($t > T_1$);从而,车轮纵向力的估计值为:

$$\hat{F}_{xij} = -\frac{I_{\omega}}{R} \hat{F}_1$$

其中, \hat{x}_1 是 x_1 的估计值, \hat{F}_1 是 F_1 的估计值以及 \hat{F}_{xij} 是 F_{xij} 的估计值;

其中, $i = f, r$, f 表示前轮, r 表示后轮; $j = 1, r, l$ 表示左轮, r 表示右轮;

2) 将方向盘转角信号 δ 、横摆角速度信号 r 、纵向加速度信号 a_x 、侧向加速度信号 a_y 、纵向速度信号 V_x 、侧向速度信号 V_y 和滑模纵向力估计模块估计出的纵向力 \hat{F}_{xij} 传输到基于车辆动力学的滑模侧向力估计模块,滑模侧向力估计模块估计出右前轮的侧向力 \hat{F}'_{yfr} ;

3) 将滑模侧向力估计模块估计出的右前轮的侧向力,以及方向盘转角信号 δ 发送给滤波模块;所述滤波模块将估计出的右前轮侧向力在方向盘转角信号 δ 为零的时刻附近进行线性化处理,输出准确的右前轮侧向力估计值,并通过简单计算得到左前轮侧向力估计值,从而得到最终的两前轮侧向力估计值。

2. 根据权利要求1所述的分布式驱动电动车的前轮侧向力估计方法,其特征在于,所述方向盘转角信号 δ 由方向盘转角传感器测得、所述横摆角速度信号 r 由横摆角速度传感器测得、所述纵向加速度信号 a_x 由纵向加速度传感器测得、所述侧向加速度信号 a_y 由侧向加速度传感器测得、所述纵向速度信号 V_x 由纵向速度传感器测得、所述侧向速度信号 V_y 由侧向速度传感器测得。

3. 根据权利要求1所述的分布式驱动电动车的前轮侧向力估计方法,其特征在于,在上述步骤2)中,在滑模侧向力估计模块中估计右前轮侧向力 \hat{F}_{yfr}^r 的方法如下:

2-1) 建立纵向动力学方程为

$$m(a_x - V_{yr}) = (F_{xf1} + F_{xfr}) \cos \delta - (F_{yf1} + F_{yfr}) \sin \delta + F_{xr1} + F_{xrr} \quad (2)$$

侧向动力学方程为

$$m(a_y + V_{xr}) = (F_{xf1} + F_{xfr}) \sin \delta + (F_{yf1} + F_{yfr}) \cos \delta + F_{yr1} + F_{yrr} \quad (3)$$

横摆动力学方程为

$$I_z \dot{r} = a[(F_{xfl} + F_{xfr}) \sin \delta + (F_{yfl} + F_{yfr}) \cos \delta] - b(F_{yrl} + F_{yrr}) + \frac{d_f}{2} [(F_{yfr} - F_{yfl}) \cos \delta + (F_{yfl} - F_{yfr}) \sin \delta] + \frac{d_r}{2} (F_{xrr} - F_{xrl}) \quad (4)$$

2-2) 将方程(2)、(3)改写为

$$\begin{cases} F_{y,f} = F_{yfl} + F_{yfr} = (-m(a_x - V_y r) + (F_{xfl} + F_{xfr}) \cos \delta + F_{xrl} + F_{xrr}) / \sin \delta, \\ F_{y,r} = F_{yrl} + F_{yrr} = m(a_y + V_x r) - (F_{xfl} + F_{xfr}) \sin \delta - F_{y,f} \cos \delta. \end{cases} \quad (5)$$

2-3) 将方程(5)代入(4),得到

$$I_z \dot{r} = a[(F_{xfl} + F_{xfr}) \sin \delta + F_{y,f} \cos \delta] - bF_{y,r} + \frac{d_f}{2} (F_{yfr} - F_{yfl}) \cos \delta + \frac{d_r}{2} F_{y,f} \sin \delta - d_f F_{yfr} \sin \delta + \frac{d_r}{2} (F_{xrr} - F_{xrl}) \quad (6)$$

2-4) 方程(6)改写成

$$\begin{cases} \dot{r} = u_2 + F_2; \\ y_2 = r \end{cases};$$

其中,

$$u_2 = [a(F_{xfl} + F_{xfr}) \sin \delta + aF_{y,f} \cos \delta - bF_{y,r} + \frac{d_f}{2} (F_{yfr} - F_{yfl}) \cos \delta + \frac{d_r}{2} F_{y,f} \sin \delta + \frac{d_r}{2} (F_{xrr} - F_{xrl})] / I_z,$$

$$F_2 = -\frac{d_f \sin \delta}{I_z} F_{yfr}.$$

2-5) 运用超螺旋算法,设计二阶滑模观测器为

$$\begin{cases} \frac{d\hat{r}}{dt} = u_2 + z_3, z_3 = -\lambda_3 |\hat{r} - r|^{\frac{1}{2}} \text{sign}(\hat{r} - r) + z_4, \\ \frac{dz_4}{dt} = -\lambda_4 \text{sign}(z_4 - z_3) \quad (\lambda_3 > 0, \lambda_4 > 0). \end{cases};$$

$t \geq T_2, T_2 > 0$ 时,观测器能够准确跟踪其实际值,即 $\hat{r} \rightarrow r, Z_4 = \hat{F}_2 \rightarrow F_2$;

进而计算出右前轮侧向力的估计值为: $\hat{F}_{yfr}^r = -\frac{I_z}{d_f \sin \delta} \hat{F}_2$ 。

4. 根据权利要求1所述的分布式驱动电动车的前轮侧向力估计方法,其特征在于,在上述步骤3)中,滤波模块对估计出的侧向力 \hat{F}_{yfr}^r 进行优化处理的过程如下:

设方向盘转角信号 δ 为零的时刻为T,取以T为中心的一个闭邻域, Δ 为邻域半径,在该

邻域内时,以直线代替原有的函数,在邻域外时,则原样输出,得到侧向力的分段函数:

$$\hat{F}_{yfr}(t) = \begin{cases} \left(\frac{\hat{F}'_{yfr}(T+\Delta) - \hat{F}'_{yfr}(T-\Delta)}{2\Delta} \right) (t-T+\Delta) + \hat{F}'_{yfr}(T-\Delta) & , t \in [T-\Delta, T+\Delta] \\ -\frac{I_z}{d_f \sin \delta} \hat{F}_2 & , t \notin [T-\Delta, T+\Delta] \end{cases}$$

$$\hat{F}_{yfl} = F_{y,f} - \hat{F}_{yfr}$$

其中, $\hat{F}_{yfr}(t)$ 为右前轮侧向力估计值, \hat{F}_{yfl} 为左前轮侧向力估计值。

一种分布式驱动电动车的前轮侧向力估计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及车辆行驶中轮胎侧向力估计方法,特别涉及分布式驱动电动车的前转向轮的侧向力估计。

背景技术

[0002] 在环境和能源问题的背景下,电动汽车越来越成为未来汽车工业的重要部分。近年来,分布式驱动电动汽车(In-wheel motor Electric,IEV)受到研究者的普遍关注。它通过置于车轮轮毂内的轮毂电机或是将两个电机置于差速器位置来驱动车轮,给整车提供动力。IEV具有相应速度快、传动链短、传动高效等优点,是电动汽车领域的一个重要发展方向。

[0003] 目前,IEV的横向稳定性控制仍存在需要改善的地方,如在极限工况下轮胎侧向力不能被准确估计。值得注意的是,轮胎侧向力是横向动力学的重要组成部分,影响着车辆的行驶安全性和稳定性。因此,对轮胎侧向力的准确估计将会有效地提高横向控制效果。

[0004] 传统的轮胎侧向力的估计依赖于轮胎模型。国、内外已经研究出了多种非线性轮胎模型。Dugoff模型根据实验数据,建立表示驱动(制动)力、侧偏力、滑移率、侧偏角和轮胎其他参数关系的表达式;UniTire模型是郭孔辉院士提出的一种半经验轮胎模型,具有满足高阶理论边界条件的特点;Magic Formula模型利用正弦函数建立了轮胎的纵向力、侧向力和回正力矩与侧偏角、滑移率、侧倾角和垂直载荷之间关系。轮胎模型能够对轮胎力进行相对精确的估计,但是轮胎模型中轮胎侧向力与轮胎侧偏角、垂直载荷、纵向滑移率及轮速等因素直接相关,即涉及变量较多,需要进行大量的试验数据拟合,计算量大,而且轮胎模型的算法复杂,从而难以满足实车控制器应用中快速响应的需求。此外,对于基于轮胎模型的侧向力估计方法,一旦轮胎特性(轮胎气压和磨损程度等)或者路面情况快速变化,拟合精度将会迅速下降,使得轮胎侧向力估计不精确,导致横向控制效果受到影响。所以提出一种不依赖于轮胎模型的侧向力估计方法是有必要的。

发明内容

[0005] 为了解决目前轮胎侧向力估计过多依赖于轮胎模型的问题,本发明提出了一种分布式驱动电动车的前转向轮侧向力估计方法,其能够在摆脱轮胎模型的基础上对侧向力进行估计。该方法考虑车辆轮胎的实时特性以及路面状况的变化,能够准确地估计轮胎的侧向力,从而提高车辆的横向控制效果。估计过程如下:

[0006] 1) 在车辆行驶过程中,所述轮边电机控制器测得各电机所需的实时驱动力矩 T_{ij} ,所述轮速传感器测得实时轮速信号 ω_{ij} 。将驱动力矩信号和轮速信号发送到所述基于车轮旋转动力学的滑模纵向力估计模块,滑模纵向力估计模块根据实时采集信号,得到轮胎纵向力的值估计 \hat{F}_{xij} ;

[0007] 上述 \hat{F}_{xij} 、 T_{ij} 、 ω_{ij} 中, $i=f,r$, f 表示前轮, r 表示后轮; $j=l,r$, l 表示左轮, r 表示右

轮；

[0008] 2) 所述纵向加速度传感器和侧向加速度传感器测得实时的纵向加速度信号 a_x 和侧向加速度信号 a_y ；所述纵向速度传感器和侧向速度传感器测得实时的纵向速度 V_x 和侧向速度 V_y ；此外，所述车辆横摆角速度传感器测得实时的横摆角速度信号 r ，以及所述方向盘转角传感器测得方向盘转角信号 δ ；

[0009] 将方向盘转角信号、横摆角速度信号、纵向加速度信号、侧向加速度信号、纵向速度信号、侧向速度信号和估计出的纵向力 \hat{F}_{xij} 发送到基于车辆动力学的滑模侧向力估计模块，滑模侧向力估计模块通过运算估计出右前轮的侧向力 \hat{F}'_{yfr} 。

[0010] 3) 最后，将估计的右前轮侧向力以及方向盘转角信号发送给所述滤波模块，针对侧向力估计值中出现的奇异现象，滤波模块采取在奇异点附近进行线性化处理的方法，从而输出较准确的右前轮侧向力值，再进一步计算得到左前轮侧向力值，这样就得到两前轮的侧向力估计值。

[0011] 本发明估计方法过程中用的参数是基于以下部分测量得到：所述方向盘转角信号 δ 由方向盘转角传感器测得、所述横摆角速度信号 r 由横摆角速度传感器测得、所述纵向加速度信号 a_x 由纵向加速度传感器测得、所述侧向加速度信号 a_y 由侧向加速度传感器测得、所述纵向速度信号 V_x 由纵向速度传感器测得、所述侧向速度信号 V_y 由侧向速度传感器测得。

[0012] 与现有的技术相比，本发明展现出的有益效果是：

[0013] 1) 本发明无需复杂的非线性轮胎模型，仅应用二阶滑模观测器对轮胎侧向力进行估计，计算简便且保证了精确度和计算的实时性。

[0014] 2) 本发明应用车辆状态中现有的易获得的信号，不需要其他昂贵的传感器就能实现对轮胎侧向力进行准确估计，成本较低。

[0015] 3) 本发明运用超螺旋算法(Super-twist)设计的二阶滑模观测器，该观测器具有快速收敛性和对车辆系统中出现的诸如空气阻力、轮胎的摩擦系数等不确定扰动具有很强的鲁棒性，即对复杂环境具有较强的适应性。

附图说明

[0016] 图1为本发明的系统关系示意图。

具体实施方式

[0017] 本发明提供了一种分布式电动车的前轮侧向力估计方法。为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确，以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。应当理解，此处描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0018] 图1所示是本发明的轮胎侧向力估计的系统关系示意图，它包括轮边电机控制器、轮速传感器、滑模纵向力估计模块、车辆横摆角速度传感器、车辆纵向加速度传感器、车辆侧向加速度传感器、车辆纵向速度传感器、车辆侧向速度传感器、方向盘转角传感器、滑模侧向力估计模块、滤波模块。

[0019] 基于上述系统，下面通过具体实施解释本发明对行驶过程中的车辆前轮(转向轮)的轮胎侧向力的估计方法：

[0020] 采用的车辆参数如表1所示,选取的试验工况为72km/h、蛇形。

[0021] 表1车辆参数

[0022]

车辆质量	m (kg)	1464
绕z轴转动惯量	I_z (kg/m ²)	2400
质心到前轴距离	a (mm)	1256
质心到后轴距离	b (mm)	1368
前轮轴距	d_f (mm)	1450
后轮轴距	d_r (mm)	1450
质心距地面高度	h_g (mm)	500
车轮转动惯量	I_ω (kg/m ²)	2.1
车轮滚动半径	R (mm)	310

[0023] 1) 基于车轮旋转动力学滑模纵向力估计模块依据所述轮速传感器实时采集到的轮胎中心速度信号 ω_{ij} 和所述轮边控制器实时采集到的各轮胎驱动转矩信号 T_{ij} ,运用滑模观测理论设计了滑模观测器对四个轮胎的纵向力进行观测。

[0024] 车轮旋转动力学方程为

$$[0025] \quad I_\omega \dot{\omega}_{ij} = T_{ij} - RF_{xij} \quad (1)$$

[0026] 方程(1)可改写为

$$[0027] \quad \begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = u_1 + F_1 \\ y = x_1 \end{cases}$$

[0028] 其中, $x_1 = \omega_{ij}$,输入变量 $u_1 = \frac{T_{ij}}{I_\omega}$, $F_1 = -\frac{R}{I_\omega} F_{xij}$ 看作是未知扰动,y为输出量。

[0029] 基于超螺旋算法设计如下二阶滑模观测器为

$$[0030] \quad \begin{cases} \frac{d\hat{x}_1}{dt} = u_1 + z_1, z_1 = -\lambda_1 |\hat{x}_1 - x_1|^{\frac{1}{2}} \text{sign}(\hat{x}_1 - x_1) + z_2, \\ \frac{dz_2}{dt} = -\lambda_0 \text{sign}(z_2 - z_1) \end{cases} \quad (\lambda_0 > 0, \lambda_1 > 0).$$

[0031] 根据有限时间收敛理论,存在时间常数 T_1 ,有

$$[0032] \quad \hat{x}_1 \rightarrow x_1, \quad z_2 = \hat{F}_1 \rightarrow F_1 \quad (t > T_1 > 0).$$

[0033] 进一步计算得到车轮纵向力为

$$[0034] \quad \hat{F}_{xij} = -\frac{I_\omega}{R} \hat{F}_1.$$

[0035] 其中, \hat{x}_1 是 x_1 的估计值, \hat{F}_1 是 F_1 的估计值以及 \hat{F}_{xij} 是 F_{xij} 的估计值。

[0036] 2) 基于车辆七自由度模型,在滑模侧向力估计模块中计算右前轮侧向力的方法如下

[0037] 车辆纵向动力学方程为

$$[0038] \quad m(a_x - V_y r) = (F_{xf1} + F_{xfr}) \cos\delta - (F_{yf1} + F_{yfr}) \sin\delta + F_{xr1} + F_{xrr}. \quad (2)$$

[0039] 车辆侧向动力学方程为

$$[0040] \quad m(a_y + V_x r) = (F_{xf1} + F_{xf2}) \sin \delta + (F_{yf1} + F_{yf2}) \cos \delta + F_{yrl} + F_{yrr}. \quad (3)$$

[0041] 车辆横摆动力学方程为

$$[0042] \quad I_z \dot{r} = a[(F_{xfl} + F_{xfr}) \sin \delta + (F_{yfl} + F_{yfr}) \cos \delta] - b(F_{yrl} + F_{yrr}) \\ + \frac{d_f}{2}[(F_{xfr} - F_{xfl}) \cos \delta + (F_{yfl} - F_{yfr}) \sin \delta] + \frac{d_r}{2}(F_{xrr} - F_{xrl}). \quad (4)$$

[0043] 方程(2)、(3)可改写成

$$[0044] \quad F_{y,f} = F_{yfl} + F_{yfr} = (-m(a_x - V_y r) + (F_{xfl} + F_{xfr}) \cos \delta + F_{xrl} + F_{xrr}) / \sin \delta, \\ F_{y,r} = F_{yrl} + F_{yrr} = m(a_y + V_x r) - (F_{xfl} + F_{xfr}) \sin \delta - F_{y,f} \cos \delta. \quad (5)$$

[0045] 将方程(5)代入方程(4),可得

$$[0046] \quad I_z \dot{r} = a[(F_{xfl} + F_{xfr}) \sin \delta + F_{y,f} \cos \delta] - bF_{y,r} + \frac{d_f}{2}(F_{xfr} - F_{xfl}) \cos \delta \\ + \frac{d_f}{2}F_{y,f} \sin \delta - d_f F_{yfr} \sin \delta + \frac{d_r}{2}(F_{xrr} - F_{xrl}). \quad (6)$$

[0047] 值得注意的是,方程(5)和(6)中方向盘转角 δ 、横摆角速度 r 、车辆纵向加速度 a_x 、车辆侧向加速度 a_y 、车辆纵向速度 V_x 以及侧向速度 V_y 分别可由上述对应的传感器测得,此外,其中的纵向力 F_{xij} 由滑模纵向力估计模块估计的纵向力 \hat{F}_{xij} 代替。因此,方程(6)的右半部只有 F_{yfr} 为未知量,其它都是已知量。

[0048] 从而,方程(6)可改写为

$$[0049] \quad \begin{cases} \dot{r} = u_2 + F_2 \\ y_2 = r \end{cases}$$

[0050] 式中,

$$[0051] \quad u_2 = [a(F_{xfl} + F_{xfr}) \sin \delta + aF_{y,f} \cos \delta - bF_{y,r} \\ + \frac{d_f}{2}(F_{xfr} - F_{xfl}) \cos \delta + \frac{d_f}{2}F_{y,f} \sin \delta + \frac{d_r}{2}(F_{xrr} - F_{xrl})] / I_z,$$

$$[0052] \quad F_2 = -\frac{d_f \sin \delta}{I_z} F_{yfr}.$$

[0053] 再次依据超螺旋算法设计二阶滑模观测器为

$$[0054] \quad \begin{cases} \frac{d\hat{r}}{dt} = u_2 + z_3, z_3 = -\lambda_3 |\hat{r} - r|^{\frac{1}{2}} \text{sign}(\hat{r} - r) + z_4, \\ \frac{dz_4}{dt} = -\lambda_4 \text{sign}(z_4 - z_3) \quad (\lambda_3 > 0, \lambda_4 > 0). \end{cases}$$

[0055] 同理,当 $t \geq T_2$ ($T_2 > 0$)时,观测值能够准确跟踪器其实际值,即

$$[0056] \quad \hat{r} \rightarrow r, \quad Z_4 = \hat{F}_2 \rightarrow F_2.$$

[0057] 从而,计算出右前轮侧向力的估计值为

$$[0058] \quad \hat{F}'_{yfr} = -\frac{I_z}{d_f \sin \delta} \hat{F}_2. \quad (7)$$

[0059] 从式(7)中,不难发现分母含有 $\sin \delta$ 项,当转向角 δ 为零时,必定导致 \hat{F}'_{yfr} 变成无限

大,这是所不允许的。针对上述问题,所述滤波模块通过在零点附近取一段小的区间,然后以该区间的首末端点作一条直线来代替原侧向力估计值在该区间上的变化。换言之,最终的纵向力估计值是一个分段函数的形式,其在所取区间是直线方程,在区间外信号原样输出。

[0060]

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{F}_{yfr}(t) = \begin{cases} \left(\frac{\hat{F}'_{yfr}(T+\Delta) - \hat{F}'_{yfr}(T-\Delta)}{2\Delta} \right) (t - T + \Delta) + \hat{F}'_{yfr}(T-\Delta) & , t \in [T-\Delta, T+\Delta] \\ -\frac{I_z}{d_f \sin \delta} \hat{F}_2 & , t \notin [T-\Delta, T+\Delta] \end{cases} \\ \hat{F}_{yfl} = F_{yfl} - \hat{F}_{yfr} \end{array} \right. \quad (8)$$

[0061] 式(8)中,T为时间常数,且在 $t=T$ 时,转向角 δ 为零; Δ 是以T点为中心的邻域半径;

$\hat{F}_{yfr}(t)$ 、 \hat{F}_{yfl} 分别为右前轮、左前轮的侧向力估计值。

[0062] 尽管本发明已经根据各种具体实施方式被描述,本领域技术人员将意识到,本发明可以以权利要求书的精神范围内的修改来实施。

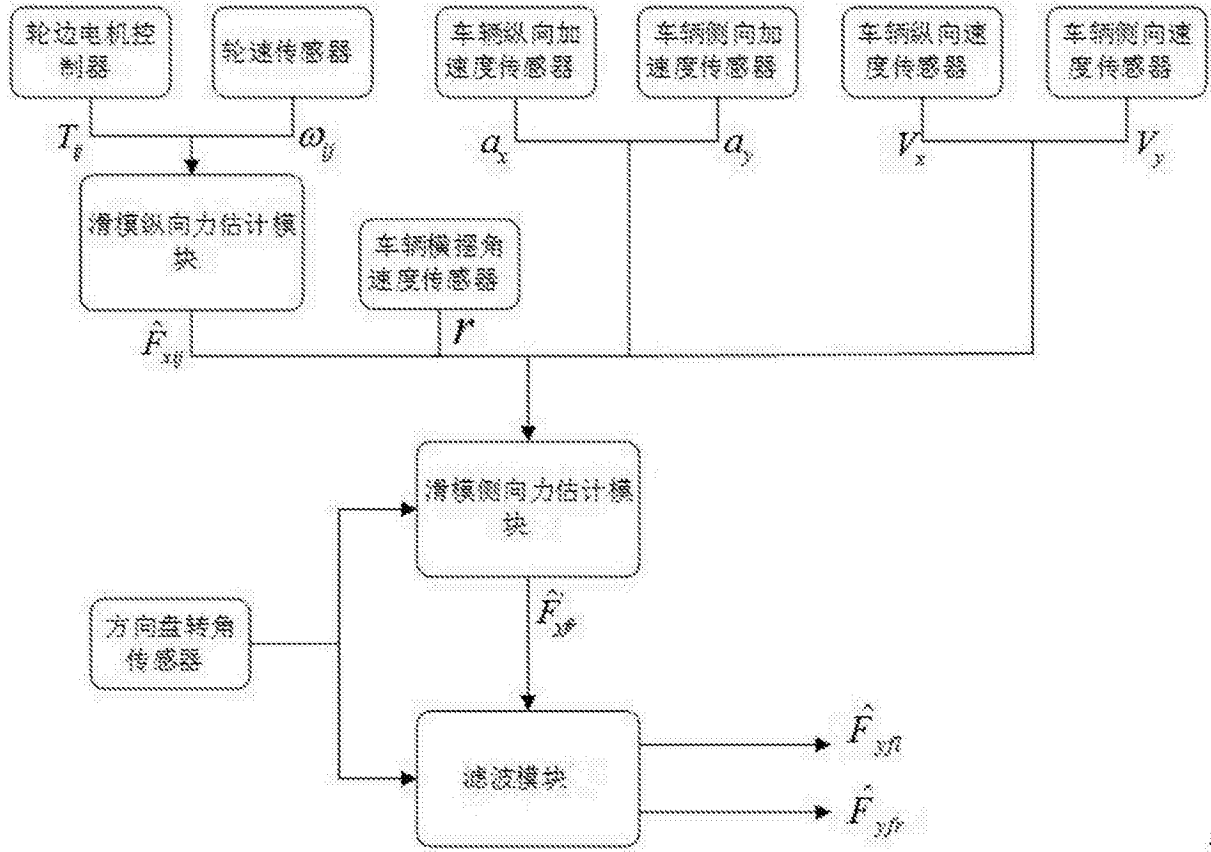


图1