



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109685935 A

(43)申请公布日 2019. 04. 26

(21)申请号 201710973156.1

(22)申请日 2017.10.18

(71)申请人 上海汽车集团股份有限公司  
地址 201203 上海市浦东新区张江高科技  
园区松涛路563号1号楼509室

(72)发明人 孙俊 赖祥翔 李雯 王磊  
王连旭

(74)专利代理机构 北京信远达知识产权代理事  
务所(普通合伙) 11304  
代理人 魏晓波

(51)Int.Cl.  
G07C 5/08(2006.01)

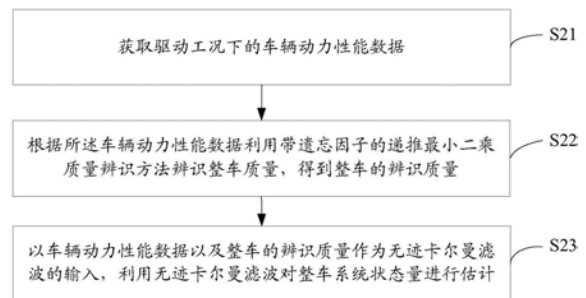
权利要求书4页 说明书12页 附图5页

(54)发明名称

一种整车系统状态量的估计方法和装置

(57)摘要

本申请提供了一种整车系统状态量的估计方法和装置,该方法包括:获取驱动工况下的车辆动力性能数据;根据所述车辆动力性能数据利用带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法辨识整车质量,得到整车的辨识质量;以所述车辆动力性能数据以及所述整车的辨识质量作为无迹卡尔曼滤波的输入,利用无迹卡尔曼滤波对整车系统状态量进行联合估计,所述整车系统状态量至少包括整车质量和道路坡度。本申请提供的估计方法在估计过程中无需对非线性系统进行线性化处理,因而也就避免了强行线性逼近引入的线性化误差,相较于现有技术中常用的非线性系统状态估计的方法而言,本申请提供的估计方法大大降低了计算结果发散的可能性。



1. 一种整车系统状态量的估计方法,其特征在于,包括:

获取驱动工况下的车辆动力性能数据;

根据所述车辆动力性能数据利用带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法辨识整车质量,得到整车的辨识质量;

以所述车辆动力性能数据以及所述整车的辨识质量作为无迹卡尔曼滤波的输入,利用无迹卡尔曼滤波对整车系统状态量进行联合估计,所述整车系统状态量至少包括整车质量和道路坡度。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述车辆动力性能数据利用带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法辨识整车质量,得到整车的辨识质量,具体包括:

根据所述车辆动力性能数据建立车辆行驶方程;

根据所述车辆行驶方程、旋转质量换算系数的计算公式以及无控制量的离散状态方程建立整车质量辨识的状态方程;

所述整车质量辨识的状态方程为:

$$z = h \cdot \theta = [gf + gi + \frac{dv}{dt} v^2] \cdot [m \cdot \frac{1}{2} C_d A \rho]^T ;$$

$$\text{其中, } z = \frac{T_{tq} i_g i_0 \eta}{r} - \frac{I_w}{r^2} \frac{dv}{dt} - \frac{I_f i_g^2 i_0^2 \eta}{r^2} \frac{dv}{dt} ;$$

$z$ 为输出矩阵, $h$ 为观测矩阵, $\theta$ 为待辨识参数矩阵, $g$ 为重力加速度, $f$ 为滚动摩擦系数, $i$ 为坡度, $\frac{dv}{dt}$ 为整车加速度, $v$ 为车速, $m$ 为整车质量, $C_d$ 为空气阻力系数, $A$ 为迎风面积, $\rho$ 为空气密度;

$T_{tq}$ 为动力装置输出扭矩, $r$ 为车轮半径, $i_g$ 为变速器传动比, $i_0$ 为主减速器传动比, $\eta$ 为传动系综合传动效率, $I_w$ 为车轮转动惯量, $I_f$ 为电动机转动惯量;

以 $z$ 作为输出矩阵,将 $\theta$ 里的参数作为待辨识参数,利用带遗忘因子的最小二乘递推方法辨识出整车质量。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述以 $z$ 作为输出矩阵,将 $\theta$ 里的参数作为待辨识参数,利用带遗忘因子的最小二乘递推方法辨识出整车质量,具体包括:

步骤A1: 获取第一离散时间 $k$ 时的矩阵 $\theta$ 、增益矩阵 $K$ 和修正矩阵 $P$ ;

步骤A2: 根据第一离散时间 $k$ 时的修正矩阵 $P$ 、第二离散时间 $k+1$ 时的观测矩阵计算第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵 $K$ ;其中,第二离散时间 $k+1$ 为第一离散时间 $k$ 的下一离散时间;

步骤A3: 根据第一离散时间时的修正矩阵 $P$ 、第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵 $K$ 以及第二离散时间 $k+1$ 时的观测矩阵计算第二离散时间 $k+1$ 时的修正矩阵;

步骤A4: 根据第一离散时间 $k$ 时的矩阵 $\theta$ ,第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵、第二离散时间 $k+1$ 时输出矩阵以及第二离散时间 $k+1$ 时观测矩阵,计算第二离散时间 $k+1$ 时的矩阵 $\theta$ ;

步骤A5: 将第一离散时间 $k$ 更新为第二离散时间,即 $k=k+1$ ;

步骤A6: 循环执行上述步骤A2至步骤A5,直至矩阵 $\theta$ 里的参数趋于稳定;

步骤A7: 从参数趋于稳定的矩阵 $\theta$ 里获取整车质量辨识结果。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的方法,其特征在于,

所述以所述车辆动力性能数据以及整车的辨识质量作为无迹卡尔曼滤波的输入,利用

无迹卡尔曼滤波对整车系统状态量进行联合估计,具体包括:

步骤B1:根据表达非线性系统的状态方程函数和观测方程函数、车辆行驶方程以及速度的物理计算公式,建立整车系统状态量的状态方程和观测方程;其中,整车系统状态量包括车速、整车质量和道路坡度;

步骤B2:获取系统状态量的初始值;其中,整车质量的初始值为所述整车的辨识质量;

步骤B3:将系统状态量的初始值进行无迹变换,生成初始采样点及其对应的加权值;

步骤B4:根据所述初始采样点及其对应的加权值,计算所述初始采样点的一步预测;

步骤B5:根据所述初始采样点的一步预测以及所述初始采样点对应的加权值并结合整车系统状态量的状态方程计算系统状态量的一步预测值与协方差;

步骤B6:将所述系统状态量的一步预测值进行无迹变换,生成新采样点及其加权值;

步骤B7:将所述新采样点代入整车系统状态量的观测方程,得到采样点的预测观测量及其加权值;

步骤B8:根据采样点的预测观测量及其加权值计算系统观测量的预测均值和协方差;

步骤B9:根据系统观测量的预测均值和协方差计算卡尔曼滤波增益矩阵;

步骤B10:根据卡尔曼滤波增益矩阵更新系统状态量的预测值和协方差;

步骤B11:将更新后的系统状态量的预测值和协方差确定为最终估计得到的系统状态量。

5.根据权利要求1-3任一项所述的方法,其特征在于,所述方法应用于轻型汽车。

6.一种整车系统状态量的估计装置,其特征在于,包括:

获取单元,用于获取驱动工况下的车辆动力性能数据;

质量辨识单元,用于根据所述车辆动力性能数据利用带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法辨识整车质量,得到整车的辨识质量;

系统状态量联合估计单元,用于以所述车辆动力性能数据以及整车的辨识质量作为无迹卡尔曼滤波的输入,利用无迹卡尔曼滤波对整车系统状态量进行联合估计,所述整车系统状态量至少包括整车质量和道路坡度。

7.根据权利要求6所述的装置,其特征在于,所述质量辨识单元包括:

第一建立子单元,用于根据所述车辆动力性能数据建立车辆行驶方程;

第二建立子单元,用于根据所述车辆行驶方程、旋转质量换算系数的计算公式以及无控制量的离散状态方程建立整车质量辨识的状态方程;

所述整车质量辨识的状态方程为:

$$z = h \cdot \theta = [gf + gi + \frac{dv}{dt} \quad v^2] \cdot [m \cdot \frac{1}{2} C_d A \rho]^T;$$

$$\text{其中, } z = \frac{T_{tq} i_g i_0 \eta}{r} - \frac{I_w}{r^2} \frac{dv}{dt} - \frac{I_f i_g^2 i_0^2 \eta}{r^2} \frac{dv}{dt};$$

$z$ 为输出矩阵, $h$ 为观测矩阵, $\theta$ 为待辨识参数矩阵, $g$ 为重力加速度, $f$ 为滚动摩擦系数, $i$ 为坡度, $\frac{dv}{dt}$ 为整车加速度, $v$ 为车速, $m$ 为整车质量, $C_d$ 为空气阻力系数, $A$ 为迎风面积, $\rho$ 为空气密度;

$T_{tq}$ 为动力装置输出扭矩, $r$ 为车轮半径, $i_g$ 为变速器传动比, $i_0$ 为主减速度器传动比, $\eta$ 为传

动系综合传动效率,  $I_w$ 为车轮转动惯量,  $I_f$ 为电动机转动惯量;

辨识子单元,用于以 $z$ 作为输出矩阵,将 $\theta$ 里的参数作为待辨识参数,利用带遗忘因子的最小二乘递推方法辨识出整车质量。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,所述辨识子单元具体包括:

第一获取子单元,用于获取第一离散时间 $k$ 时的矩阵 $\theta$ 、增益矩阵 $K$ 和修正矩阵 $P$ ;

第一计算子单元,用于根据第一离散时间 $k$ 时的修正矩阵 $P$ 、第二离散时间 $k+1$ 时的观测矩阵计算第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵 $K$ ;其中,第二离散时间 $k+1$ 为第一离散时间 $k$ 的下一离散时间;

第二计算子单元,用于根据第一离散时间时的修正矩阵 $P$ 、第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵 $K$ 以及第二离散时间 $k+1$ 时的观测矩阵计算第二离散时间 $k+1$ 时的修正矩阵;

第三计算子单元,用于根据第一离散时间 $k$ 时的矩阵 $\theta$ ,第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵、第二离散时间 $k+1$ 时输出矩阵以及第二离散时间 $k+1$ 时观测矩阵,计算第二离散时间 $k+1$ 时的矩阵 $\theta$ ;

第一更新子单元,用于将第一离散时间 $k$ 更新为第二离散时间,即 $k=k+1$ ,并触发所述获取子单元,直至矩阵 $\theta$ 里的参数趋于稳定;

第二获取子单元,用于从参数趋于稳定的矩阵 $\theta$ 里获取整车质量辨识结果。

9. 根据权利要求6-8任一项所述的装置,其特征在于,所述系统状态量估计单元具体包括:

第三建立子单元,用于根据表达非线性系统的状态方程函数和观测方程函数、车辆行驶方程以及速度的物理计算公式,建立整车系统状态量的状态方程和观测方程;其中,整车系统状态量包括车速、整车质量和道路坡度;

获取子单元,用于获取系统状态量的初始值;其中,整车质量的初始值为所述整车的辨识质量;

第一无迹变换子单元,用于将系统状态量的初始值进行无迹变换,生成初始采样点及其对应的加权值;

第四计算子单元,用于根据所述初始采样点及其对应的加权值,计算所述初始采样点的一步预测;

第五计算子单元,用于根据所述初始采样点的一步预测以及所述初始采样点对应的加权值并结合整车系统状态量的状态方程计算系统状态量的一步预测值与协方差;

第二无迹变换子单元,用于将所述系统状态量的一步预测值进行无迹变换,生成新采样点及其加权值;

第六计算子单元,用于将所述新采样点代入整车系统状态量的观测方程,得到采样点的预测观测量及其加权值;

第七计算子单元,用于根据采样点的预测观测量及其加权值计算系统观测量的预测均值和协方差;

第八计算子单元,用于根据系统观测量的预测均值和协方差计算卡尔曼滤波增益矩阵;

第二更新子单元,用于根据卡尔曼滤波增益矩阵更新系统状态量的预测值和协方差;

确定子单元,用于将更新后的系统状态量的预测值和协方差确定为最终估计得到的系

统状态量。

10. 根据权利要求6-8任一项所述的装置,其特征在于,所述装置应用于轻型汽车。

## 一种整车系统状态量的估计方法和装置

### 技术领域

[0001] 本申请涉及车辆的状态估计领域,尤其涉及一种整车系统状态量的估计方法和装置。

### 背景技术

[0002] 整车质量和道路坡度这两个参数对于整车动力性以及经济性有着重要的影响。设计一个有效的整车质量以及道路坡度的估计算法可以更为精确的制定整车动力性以及经济性控制策略,同时对于未来无人驾驶汽车,也能辅助相关无人驾驶控制策略分析整车当前的内部状态以及外部道路状况。

[0003] 整车系统具有非线性特点,对非线性系统进行状态量估计时,常用的思路都是首先对系统状态量非线性函数进行线性化,这个过程中可能存在强行线性逼近的过程。强行线性逼近会引入线性化误差,对于非线性较强的系统甚至可能会产生计算结果发散。这对于整车控制策略的应用是极为不利的。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本申请提供了一种整车系统状态量的估计方法和装置,以避免强行线性逼近引入的线性化误差,进而带来的计算结果发散的问题。

[0005] 为了解决上述技术问题,本申请采用了如下技术方案:

[0006] 一种整车系统状态量的估计方法,包括:

[0007] 获取驱动工况下的车辆动力性能数据;

[0008] 根据所述车辆动力性能数据利用带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法辨识整车质量,得到整车的辨识质量;

[0009] 以所述车辆动力性能数据以及所述整车的辨识质量作为无迹卡尔曼滤波的输入,利用无迹卡尔曼滤波对整车系统状态量进行联合估计,所述整车系统状态量至少包括整车质量和道路坡度。

[0010] 可选地,所述根据所述车辆动力性能数据利用带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法辨识整车质量,得到整车的辨识质量,具体包括:

[0011] 根据所述车辆动力性能数据建立车辆行驶方程;

[0012] 根据所述车辆行驶方程、旋转质量换算系数的计算公式以及无控制量的离散状态方程建立整车质量辨识的状态方程;

[0013] 所述整车质量辨识的状态方程为:

$$[0014] \quad z = h \cdot \theta = \left[ gf + gi + \frac{dv}{dt} \quad v^2 \right] \cdot \left[ m \cdot \frac{1}{2} C_d A \rho \right]^T ;$$

$$[0015] \quad \text{其中, } z = \frac{T_{ig} i_0 \eta}{r} - \frac{I_w}{r^2} \frac{dv}{dt} - \frac{I_f i_g^2 i_0^2 \eta}{r^2} \frac{dv}{dt} ;$$

[0016] z为输出矩阵,h为观测矩阵, $\theta$ 为待辨识参数矩阵,g为重力加速度,f为滚动摩擦系

数,  $i$  为坡度,  $\frac{dv}{dt}$  为整车加速度,  $v$  为车速,  $m$  为整车质量,  $C_d$  为空气阻力系数,  $A$  为迎风面积,  $\rho$  为空气密度;

[0017]  $T_{td}$  为动力装置输出扭矩,  $r$  为车轮半径,  $i_g$  为变速器传动比,  $i_0$  为主减速器传动比,  $\eta$  为传动系综合传动效率,  $I_w$  为车轮转动惯量,  $I_f$  为电动机转动惯量;

[0018] 以  $z$  作为输出矩阵, 将  $\theta$  里的参数作为待辨识参数, 利用带遗忘因子的最小二乘递推方法辨识出整车质量。

[0019] 可选地, 所述以  $z$  作为输出矩阵, 将  $\theta$  里的参数作为待辨识参数, 利用带遗忘因子的最小二乘递推方法辨识出整车质量, 具体包括:

[0020] 步骤A1: 获取第一离散时间  $k$  时的矩阵  $\theta$ 、增益矩阵  $K$  和修正矩阵  $P$ ;

[0021] 步骤A2: 根据第一离散时间  $k$  时的修正矩阵  $P$ 、第二离散时间  $k+1$  时的观测矩阵计算第二离散时间  $k+1$  时的增益矩阵  $K$ ; 其中, 第二离散时间  $k+1$  为第一离散时间  $k$  的下一离散时间;

[0022] 步骤A3: 根据第一离散时间时的修正矩阵  $P$ 、第二离散时间  $k+1$  时的增益矩阵  $K$  以及第二离散时间  $k+1$  时的观测矩阵计算第二离散时间  $k+1$  时的修正矩阵;

[0023] 步骤A4: 根据第一离散时间  $k$  时的矩阵  $\theta$ , 第二离散时间  $k+1$  时的增益矩阵、第二离散时间  $k+1$  时输出矩阵以及第二离散时间  $k+1$  时观测矩阵, 计算第二离散时间  $k+1$  时的矩阵  $\theta$ ;

[0024] 步骤A5: 将第一离散时间  $k$  更新为第二离散时间, 即  $k=k+1$ ;

[0025] 步骤A6: 循环执行上述步骤A2至步骤A5, 直至矩阵  $\theta$  里的参数趋于稳定;

[0026] 步骤A7: 从参数趋于稳定的矩阵  $\theta$  里获取整车质量辨识结果。

[0027] 可选地, 所述以所述车辆动力性能数据以及整车的辨识质量作为无迹卡尔曼滤波的输入, 利用无迹卡尔曼滤波对整车系统状态量进行联合估计, 具体包括:

[0028] 步骤B1: 根据表达非线性系统的状态方程函数和观测方程函数、车辆行驶方程以及速度的物理计算公式, 建立整车系统状态量的状态方程和观测方程; 其中, 整车系统状态量包括车速、整车质量和道路坡度;

[0029] 步骤B2: 获取系统状态量的初始值; 其中, 整车质量的初始值为所述整车的辨识质量;

[0030] 步骤B3: 将系统状态量的初始值进行无迹变换, 生成初始采样点及其对应的加权值;

[0031] 步骤B4: 根据所述初始采样点及其对应的加权值, 计算所述初始采样点的一步预测;

[0032] 步骤B5: 根据所述初始采样点的一步预测以及所述初始采样点对应的加权值并结合整车系统状态量的状态方程计算系统状态量的一步预测值与协方差;

[0033] 步骤B6: 将所述系统状态量的一步预测值进行无迹变换, 生成新采样点及其加权值;

[0034] 步骤B7: 将所述新采样点代入整车系统状态量的观测方程, 得到采样点的预测观测测量及其加权值;

[0035] 步骤B8: 根据采样点的预测观测测量及其加权值计算系统观测量的预测均值和协方

差；

[0036] 步骤B9:根据系统观测量的预测均值和协方差计算卡尔曼滤波增益矩阵；

[0037] 步骤B10:根据卡尔曼滤波增益矩阵更新系统状态量的预测值和协方差；

[0038] 步骤B11:将更新后的系统状态量的预测值和协方差确定为最终估计得到的系统状态量。

[0039] 可选地,所述方法应用于轻型汽车。

[0040] 一种整车系统状态量的估计装置,包括:

[0041] 获取单元,用于获取驱动工况下的车辆动力性能数据;

[0042] 质量辨识单元,用于根据所述车辆动力性能数据利用带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法辨识整车质量,得到整车的辨识质量;

[0043] 系统状态量联合估计单元,用于以所述车辆动力性能数据以及整车的辨识质量作为无迹卡尔曼滤波的输入,利用无迹卡尔曼滤波对整车系统状态量进行联合估计,所述整车系统状态量至少包括整车质量和道路坡度。

[0044] 可选地,所述质量辨识单元包括:

[0045] 第一建立子单元,用于根据所述车辆动力性能数据建立车辆行驶方程;

[0046] 第二建立子单元,用于根据所述车辆行驶方程、旋转质量换算系数的计算公式以及无控制量的离散状态方程建立整车质量辨识的状态方程;

[0047] 所述整车质量辨识的状态方程为:

$$[0048] \quad z = h \cdot \theta = [gf + gi + \frac{dv}{dt} \quad v^2] \cdot [m \cdot \frac{1}{2} C_d A \rho]^T;$$

$$[0049] \quad \text{其中, } z = \frac{T_{tq} i_g i_0 \eta}{r} - \frac{I_w}{r^2} \frac{dv}{dt} - \frac{I_f i_g^2 i_0^2 \eta}{r^2} \frac{dv}{dt};$$

[0050]  $z$ 为输出矩阵, $h$ 为观测矩阵, $\theta$ 为待辨识参数矩阵, $g$ 为重力加速度, $f$ 为滚动摩擦系数, $i$ 为坡度, $\frac{dv}{dt}$ 为整车加速度, $v$ 为车速, $m$ 为整车质量, $C_d$ 为空气阻力系数, $A$ 为迎风面积, $\rho$ 为空气密度;

[0051]  $T_{tq}$ 为动力装置输出扭矩, $r$ 为车轮半径, $i_g$ 为变速器传动比, $i_0$ 为主减速器传动比, $\eta$ 为传动系综合传动效率, $I_w$ 为车轮转动惯量, $I_f$ 为电动机转动惯量;

[0052] 辨识子单元,用于以 $z$ 作为输出矩阵,将 $\theta$ 里的参数作为待辨识参数,利用带遗忘因子的最小二乘递推方法辨识出整车质量。

[0053] 可选地,所述辨识子单元具体包括:

[0054] 第一获取子单元,用于获取第一离散时间 $k$ 时的矩阵 $\theta$ 、增益矩阵 $K$ 和修正矩阵 $P$ ;

[0055] 第一计算子单元,用于根据第一离散时间 $k$ 时的修正矩阵 $P$ 、第二离散时间 $k+1$ 时的观测矩阵计算第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵 $K$ ;其中,第二离散时间 $k+1$ 为第一离散时间 $k$ 的下一离散时间;

[0056] 第二计算子单元,用于根据第一离散时间时的修正矩阵 $P$ 、第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵 $K$ 以及第二离散时间 $k+1$ 时的观测矩阵计算第二离散时间 $k+1$ 时的修正矩阵;

[0057] 第三计算子单元,用于根据第一离散时间 $k$ 时的矩阵 $\theta$ ,第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵、第二离散时间 $k+1$ 时输出矩阵以及第二离散时间 $k+1$ 时观测矩阵,计算第二离散时间 $k$



+1时的矩阵 $\theta$ ;

[0058] 第一更新子单元,用于将第一离散时间 $k$ 更新为第二离散时间,即 $k=k+1$ ,并触发所述获取子单元,直至矩阵 $\theta$ 里的参数趋于稳定;

[0059] 第二获取子单元,用于从参数趋于稳定的矩阵 $\theta$ 里获取整车质量辨识结果。

[0060] 可选地,所述系统状态量估计单元具体包括:

[0061] 第三建立子单元,用于根据表达非线性系统的状态方程函数和观测方程函数、车辆行驶方程以及速度的物理计算公式,建立整车系统状态量的状态方程和观测方程;其中,整车系统状态量包括车速、整车质量和道路坡度;

[0062] 获取子单元,用于获取系统状态量的初始值;其中,整车质量的初始值为所述整车的辨识质量;

[0063] 第一无迹变换子单元,用于将系统状态量的初始值进行无迹变换,生成初始采样点及其对应的加权值;

[0064] 第四计算子单元,用于根据所述初始采样点及其对应的加权值,计算所述初始采样点的一步预测;

[0065] 第五计算子单元,用于根据所述初始采样点的一步预测以及所述初始采样点对应的加权值并结合整车系统状态量的状态方程计算系统状态量的一步预测值与协方差;

[0066] 第二无迹变换子单元,用于将所述系统状态量的一步预测值进行无迹变换,生成新采样点及其加权值;

[0067] 第六计算子单元,用于将所述新采样点代入整车系统状态量的观测方程,得到采样点的预测观测量及其加权值;

[0068] 第七计算子单元,用于根据采样点的预测观测量及其加权值计算系统观测量的预测均值和协方差;

[0069] 第八计算子单元,用于根据系统观测量的预测均值和协方差计算卡尔曼滤波增益矩阵;

[0070] 第二更新子单元,用于根据卡尔曼滤波增益矩阵更新系统状态量的预测值和协方差;

[0071] 确定子单元,用于将更新后的系统状态量的预测值和协方差确定为最终估计得到的系统状态量。

[0072] 可选地,所述装置应用于轻型汽车。

[0073] 相较于现有技术,本申请具有以下有益效果:

[0074] 通过以上技术方案可知,本申请实施例提供的整车系统状态量的估计方法中,利用无迹卡尔曼滤波理论,从系统概率密度分布逼近的角度对整车的系统状态量进行了估计。而且本申请提供的估计方法在估计过程中无需对非线性系统进行线性化处理,因而也就避免了强行线性逼近引入的线性化误差,相较于现有技术中常用的非线性系统状态估计的方法而言,本申请提供的估计方法大大降低了计算结果发散的可能性。

## 附图说明

[0075] 为了清楚地理解本申请的具体实施方式,下面将描述本申请具体实施方式时用到的附图做一简要说明。显而易见地,这些附图仅是本申请的部分实施例。

- [0076] 图1是本申请实施例提供的整车系统状态量的估计方法的原理示意图；
- [0077] 图2是本申请实施例提供的整车系统状态量的估计方法流程示意图；
- [0078] 图3是本申请实施例提供的步骤S22的一种具体实现方式的流程示意图；
- [0079] 图4是本申请实施例提供的步骤S223的一种具体实现方式的流程示意图；
- [0080] 图5是本申请实施例提供的步骤S23的具体实现方式的流程示意图；
- [0081] 图6是本申请实施例提供的整车系统状态量的估计装置结构示意图；
- [0082] 图7是本申请实施例提供的辨识子单元623的结构示意图；
- [0083] 图8是本申请实施例提供的系统状态量估计单元63的结构示意图。

### 具体实施方式

[0084] 针对传统状态估计中非线性系统线性化计算误差不易控制的特点,本申请通过利用无迹卡尔曼滤波理论,设计了从系统概率密度分布逼近的角度,对整车系统状态量进行估计的方法和装置。

[0085] 需要说明,由于整车质量和道路坡度这两个参数对于整车动力性以及经济性有着重要的影响,因此本申请实施例主要针对整车质量和道路坡度的联合估计。

[0086] 图1是本申请实施例提供的整车系统状态量的估计方法的原理示意图。如图1所示,整个估计方法基于无迹卡尔曼滤波进行整车质量和道路坡度的联合估计,以此为基础,可以将联合估计方法分为两部分:

[0087] 第一部分是无迹卡尔曼滤波的输入,这部分根据无迹卡尔曼滤波算法要求,输入驱动工况下的车辆动力性能数据,同时还包括由质量辨识方法得到的整车辨识质量。其中,质量辨识方法为带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法,该带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法的输入为驱动工况下的车辆动力性能数据,车辆动力性能数据例如可以为车轮半径、滚动摩擦系数、整车车速、动力装置输出扭矩、加速度、动力装置转动惯量、变速器传动比、主减速器传动比以及传动系统综合传动效率中的一种或多种。

[0088] 第二部分是利用无迹卡尔曼滤波进行整车质量和道路坡度的联合估计,最终得到整车质量和坡度的联合估计结果。

[0089] 需要说明,本申请提供的整车系统状态量的估计方法适用于轻型车辆,其中,轻型车辆包括以发动机为动力装置的燃油汽车和以电动机为动力装置的电动汽车。该方法可以联合车辆的整车控制策略对车辆进出控制与管理,未来对无人驾驶汽车整车状态动态识别具有一定的辅助意义。

[0090] 下面结合附图详细描述本申请实施例提供的整车系统状态量的估计方法和装置的具体实施方式。

[0091] 图2是本申请实施例提供的整车系统状态量的估计方法流程示意图。如图2所示,该方法包括以下步骤:

[0092] S21:获取驱动工况下的车辆动力性能数据。

[0093] 车辆动力性能数据包括车轮半径、滚动摩擦系数、整车车速、动力装置输出扭矩、加速度、动力装置转动惯量、变速器传动比、主减速器传动比和传动系统综合传动效率中的一种或多种。

[0094] S22:根据所述车辆动力性能数据利用带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法

辨识整车质量,得到整车的辨识质量。

[0095] S23:以车辆动力性能数据以及整车的辨识质量作为无迹卡尔曼滤波的输入,利用无迹卡尔曼滤波对整车系统状态量进行联合估计,所述整车系统状态量至少包括整车质量和道路坡度。

[0096] 在本申请实施例提供的整车系统状态量的估计方法中,利用无迹卡尔曼滤波理论,从系统概率密度分布逼近的角度对整车的系统状态量进行了估计。而且本申请提供的估计方法在估计过程中无需对非线性系统进行线性化处理,因而也就避免了强行线性逼近引入的线性化误差,相较于现有技术中常用的非线性系统状态估计的方法而言,本申请提供的估计方法大大降低了计算结果发散的可能性。

[0097] 下面详细描述步骤S22一种可能的具体实现方式。

[0098] 如上所述,本申请实施例提供的整车系统状态量的估计方法可以适用于轻型汽车,其包括动力装置为电动机的电动汽车和动力装置为发动机的燃油汽车。

[0099] 下面以动力装置为电动机的电动汽车为例描述步骤S22的具体实现方式。

[0100] 图3是本申请实施例提供的步骤S22的一种具体实现方式的流程示意图。如图3所示,该具体实现方式包括:

[0101] S221:根据车辆动力性能数据建立车辆行驶方程。

[0102] 对处于驱动工况下的车辆进行受力平衡分析,得出车辆行驶方程为:

$$[0103] \quad F_t = F_f + F_i + F_j + F_w \quad (1)$$

[0104] 其中, $F_t$ 为电动机提供的驱动力,单位为N, $F_f$ 为摩擦阻力,单位为N, $F_i$ 为坡道阻力,单位为N, $F_j$ 为加速阻力,单位为N, $F_w$ 为空气阻力,单位为N。

[0105] 利用物理上的力学分析以及车辆动力性能数据推导出上述公式(1)中的各个力的计算公式,并将各个力的计算公式代入公式(1)中,上述车辆行驶方程变为:

$$[0106] \quad \frac{T_{tq} i_g i_0 \eta}{r} = mgf + mgi + \delta m \frac{dv}{dt} + \frac{1}{2} C_d A \rho v^2 \quad (2)$$

[0107] 其中, $T_{tq}$ 为电动汽车电动机驱动扭矩,单位为N, $r$ 为车轮半径,单位为m, $i_g$ 为变速器传动比, $i_0$ 为主减速器传动比, $\eta$ 为传动系综合传动效率。

[0108]  $m$ 为整车质量,单位为kg, $g$ 为重力加速度,单位为 $m/s^2$ , $f$ 为滚动摩擦系数, $i$ 为坡度, $\delta$ 为旋转质量换算系数, $v$ 为车速,单位为 $m/s$ , $\frac{dv}{dt}$ 为整车加速度,单位为 $m/s^2$ , $C_d$ 为空气阻力系数, $A$ 为迎风面积,单位为 $m^2$ , $\rho$ 为空气密度,单位为 $kg/m^3$ 。

[0109] 在公式(2)中,旋转质量换算系数 $\delta$ 的计算公式为:

$$[0110] \quad \delta = 1 + \frac{1}{m} \frac{I_w}{r^2} + \frac{1}{m} \frac{I_f i_g^2 i_0^2 \eta}{r^2} \quad (3)$$

[0111] 其中, $r$ 为车轮半径(m), $m$ 为整车质量,单位为kg, $I_w$ 为车轮转动惯量,单位为 $kg \cdot m^2$ , $I_f$ 为电动机转动惯量,单位为 $kg \cdot m^2$ , $i_g$ 为变速器传动比, $i_0$ 为主减速器传动比, $\eta$ 为传动系综合传动效率。

[0112] S222:根据车辆行驶方程、旋转质量换算系数的计算公式以及无控制量的离散状态方程建立整车质量估计的状态方程。

[0113] 根据现代控制理论,如果将系统状态认为是离散的,则无控制量的离散状态可表

示为:

$$[0114] \quad \theta(k+1) = \Phi \theta(k) + \Gamma W(k) \quad (4)$$

$$[0115] \quad Z(k) = H\theta(k) + V(k) \quad (5)$$

[0116] 本步骤具体为:根据上述公式(2)、(3)、(4)和(5)建立整车质量辨识的状态方程。

[0117] 所述整车质量辨识的状态方程为:

$$[0118] \quad z = h \cdot \theta = [gf + gi + \frac{dv}{dt} v^2] \cdot [m \cdot \frac{1}{2} C_d A \rho]^T \quad (6)$$

$$[0119] \quad \text{其中, } z = \frac{T_{tq} i_g i_0 \eta}{r} - \frac{I_w}{r^2} \frac{dv}{dt} - \frac{I_f i_g^2 i_0^2 \eta}{r^2} \frac{dv}{dt};$$

[0120] 矩阵z为输出矩阵,矩阵h ( $h = [gf + gi + \frac{dv}{dt} v^2]$ )为观测矩阵,矩阵 $\theta$  ( $\theta = [m \cdot \frac{1}{2} C_d A \rho]^T$ )

为待辨识参数矩阵,g为重力加速度,单位为 $m/s^2$ ,f为滚动摩擦系数,i为坡度, $\frac{dv}{dt}$ 为整车加速度,单位为 $m/s^2$ ,v为车速,单位为 $m/s$ ,m为整车质量,单位为 $kg$ , $C_d$ 为空气阻力系数,A为迎风面积,单位为 $m^2$ , $\rho$ 为空气密度,单位为 $kg/m^3$ ;

[0121]  $T_{tq}$ 为电动机输出扭矩,单位为 $N$ ,r为车轮半径,单位为 $m$ , $i_g$ 为变速器传动比, $i_0$ 为主减速器传动比, $\eta$ 为传动系综合传动效率, $I_w$ 为车轮转动惯量,单位为 $kg \cdot m^2$ , $I_f$ 为电动机转动惯量、单位为 $kg \cdot m^2$ ;

[0122] S223:以z作为输出矩阵,将 $\theta$ 里的参数作为待辨识参数,利用带遗忘因子的最小二乘递推方法辨识出整车质量。

[0123] 作为示例,步骤S223的具体实现方式可以如图4所示,其包括以下步骤:

[0124] S2231:获取第一离散时间k时的矩阵 $\theta$ 、增益矩阵K和修正矩阵P。

[0125] 由于本申请提供的整车系统状态量的估计方法可以实时进行估计,所以,在本申请实施例中,第一离散时间k可以为当前离散时间。

[0126] S2232:根据第一离散时间k时的修正矩阵 $P_k$ 、第二离散时间k+1时的观测矩阵h(k+1)计算第二离散时间k+1时的增益矩阵 $K_{k+1}$ ;其中,第二离散时间k+1为第一离散时间k的下一离散时间;

[0127] 该步骤对应的具体的计算公式如下:

$$[0128] \quad K_{k+1} = P_k h^T(k+1) [\lambda I + h(k+1) P_k h^T(k+1)]^{-1} \quad (7)$$

[0129] 式中,I为单位矩阵, $\lambda$ 为遗忘因子。

[0130] S2233:根据第一离散时间时的修正矩阵 $P_k$ 、第二离散时间k+1时的增益矩阵 $K_{k+1}$ 以及第二离散时间k+1时的观测矩阵h(k+1)计算第二离散时间k+1时的修正矩阵 $P_{k+1}$ 。

[0131] 该步骤对应的具体的计算公式如下:

$$[0132] \quad P_{k+1} = \frac{1}{\lambda} [I - K_{k+1} h(k+1)] P_k \quad (8)$$

[0133] S2234:根据第一离散时间k时的矩阵 $\theta_k$ 、第二离散时间k+1时的增益矩阵 $K_{k+1}$ 、第二离散时间k+1时输出矩阵z(k+1)以及第二离散时间k+1时观测矩阵h(k+1),计算第二离散时间k+1时的系统状态参数矩阵 $\theta_{k+1}$ ;

[0134] 该步骤对应的具体的计算公式如下:

$$[0135] \quad \hat{\theta}_{k+1} = \hat{\theta}_k + K_{k+1} [z(k+1) - h(k+1) \hat{\theta}_k] \quad (9)$$

[0136] 式中,  $\hat{\theta}$  为辨识参数矩阵。

[0137] S2235: 将第一离散时间  $k$  更新为第二离散时间, 即  $k = k + 1$ , 返回执行步骤 S2232, 循环执行上述步骤 S2231 至步骤 S2235, 直至矩阵  $\theta$  里的参数趋于稳定。

[0138] S2236: 从参数趋于稳定的系统状态参数矩阵  $\theta$  里获取整车质量辨识结果。

[0139] 以上为步骤 S22 的具体实现方式, 在该具体实现方式中, 带遗忘因子的最小二乘递推方法是一个递推算法, 递推算法本身不需要太大的存储空间, 因此, 在质量辨识方法的实时性较好, 能够实时辨识处于驱动工况下的车辆质量。而且, 该质量辨识方法考虑了遗忘因子, 该遗忘因子能够在递推过程中不断赋予原始数据与新数据不同的加权值, 不断增加新数据对于计算的影响, 从而提高了计算效率。

[0140] 需要说明, 在上述步骤 S22 的具体实现方式中, 是以电动汽车为例说明的。在这种情况下, 公式 (1) 中的  $F_t$  为电动机提供的驱动力, 公式 (2) 中的  $T_{tq}$  为电动汽车的电动机驱动扭矩, 此外, 本申请提供的整车系统状态量的估计方法还可以应用到燃油汽车上, 当上述具体实施方式应用到燃油汽车中时, 公式 (1) 中的  $F_t$  为发动机提供的驱动力, 公式 (2) 中的  $T_{tq}$  为燃油汽车的发动机驱动扭矩。

[0141] 下面介绍步骤 S23 的具体实现方式。

[0142] 图 5 是本申请实施例提供的步骤 S23 的具体实现方式的流程示意图。如图 5 所示, 该具体实现方式包括以下步骤:

[0143] S2301: 根据表达非线性系统的状态方程函数和观测方程函数、车辆行驶方程以及速度的物理计算公式, 建立整车系统状态量的状态方程和观测方程。

[0144] 表达非线性系统的状态方程函数为:

$$[0145] \quad X(k+1) = f(X(k), W(k)) \quad (10)$$

[0146] 表达非线性系统的观测方程函数为:

$$[0147] \quad Z(k+1) = h(X(k), V(k)) \quad (11)$$

[0148] 速度的物理计算公式为:

$$[0149] \quad v_{k+1} = v_k + a \Delta t \quad (12)$$

[0150] 其中,  $a$  为加速度,  $\Delta t$  为时间的变化量,  $v_k$  与  $v_{k+1}$  分别为当前和下一个步长的速度。

[0151] 然后根据公式 (2) 的汽车行驶方程计算整车的加速度  $\frac{dv}{dt}$ , 将计算得到的整车的加

速度  $\frac{dv}{dt}$  带入到速度的计算公式 (13) 中, 就可以推导出整车系统状态量的状态方程和观测方程。

[0152] 推导出的整车系统状态量的状态方程如下:

[0153]

$$[v_{k+1}, m_{k+1}, i_{k+1}]^T = [v_k + \frac{T_{tq} i_g i_0 \eta}{r} - m_k g f - m_k g i_k - \frac{1}{2} C_d A \rho v_k^2}{\delta_k m_k} \Delta t, m_k, i_k]^T + \Gamma W(k) \quad (13)$$

[0154] 整车系统状态量的观测方程如下:

$$[0155] \quad Z_{k+1} = [1, 0, 0] [v_{k+1}, m_{k+1}, i_{k+1}]^T + V(k) \quad (14)$$

[0156] 在推导出的整车系统状态量的状态方程中,  $[v_k, m_k, i_k]^T$  为系统状态量,  $v$  为车速,  $m$  为整车质量,  $i$  为道路坡度。因此, 在本申请实施例中, 利用该整车系统状态量的状态方程可

以对整车的车速、质量以及道路坡度进行联合估计。由于整车的质量与道路坡度这两个参数对于整车动力性以及经济性有着重要的影响,因此,在本申请实施例中,主要关注质量和坡度的估计。

[0157] S2302:获取系统状态量的初始值。

[0158] 在本申请实施例中,系统状态量包括车速、整车质量和坡度,其中,整车质量的初始值为整车的辨识质量。车速和坡度的初始值可以为当前离散时间k时的车速和坡度。

[0159] S2303:将系统状态量的初始值进行无迹变换,生成初始采样点及其对应的加权值。

[0160] 该步骤对应的计算公式如下:

$$X^{(i)}(k|k) = [X(k|k), \hat{X}(k|k) + \sqrt{(n+\lambda)P(k|k)}, \hat{X}(k|k) - \sqrt{(n+\lambda)P(k|k)}] \quad (15)$$

[0162] 式中n为状态维数。

[0163] S2304:根据所述初始采样点及其对应的加权值,计算所述初始采样点的一步预测。

[0164] 该步骤对应的计算公式如下:

$$X^{(i)}(k+1|k) = f(k, X^{(i)}(k|k)) \quad (16)$$

[0166] S2305:根据所述初始采样点的一步预测以及所述初始采样点对应的加权值并结合整车系统状态量的状态方程计算系统状态量的一步预测值与协方差。

[0167] 该步骤对应的计算公式如下:

$$\hat{X}(k+1|k) = \sum_{i=0}^{2n} w^{(i)} X^{(i)}(k+1|k) \quad (17)$$

$$P(k+1|k) = \sum_{i=0}^{2n} w^{(i)} [\hat{X}(k+1|k) - X^{(i)}(k+1|k)][\hat{X}(k+1|k) - X^{(i)}(k+1|k)]^T + Q \quad (18)$$

[0170] 式中Q为W(k)的协方差矩阵, $w^{(i)}$ 为采样点相应的加权值。

$$w_m^{(0)} = \frac{\lambda}{n+\lambda}, \quad w_c^{(0)} = \frac{\lambda}{n+\lambda} + (1-\alpha^2 + \beta), \quad w_m^{(i)} = w_c^{(i)} = \frac{\lambda}{2(n+\lambda)}, i=1 \sim 2n$$

[0172]  $\alpha, \beta$ 为调节缩放比例的参数; $w_m, w_c$ 分别为均值和协方差的加权值。

[0173] S2306:将所述系统状态量的一步预测值进行无迹变换,生成新采样点及其加权值。

[0174] 该步骤对应的计算公式如下:

[0175]

$$X^{(i)}(k+1|k) = [X(k+1|k), \hat{X}(k+1|k) + \sqrt{(n+\lambda)P(k+1|k)}, \hat{X}(k+1|k) - \sqrt{(n+\lambda)P(k+1|k)}] \quad (19)$$

[0176] S2307:将所述新采样点代入整车系统状态量的观测方程,得到采样点的预测观测量及其加权值。

[0177] 该步骤对应的计算公式如下:

$$Z^{(i)}(k+1|k) = h[X^{(i)}(k+1|k)] \quad (20)$$

[0179] S2308:根据采样点的预测观测量及其加权值计算系统观测量的预测均值和协方差。

[0180] 该步骤对应的计算公式如下:

$$[0181] \quad \bar{Z}(k+1|k) = \sum_{i=0}^{2n} w^{(i)} Z^{(i)}(k+1|k) \quad (21)$$

$$[0182] \quad P_{z_k z_k} = \sum_{i=0}^{2n} w^{(i)} [Z^{(i)}(k+1|k) - \bar{Z}(k+1|k)][Z^{(i)}(k+1|k) - \bar{Z}(k+1|k)]^T + R \quad (22)$$

$$[0183] \quad P_{x_k z_k} = \sum_{i=0}^{2n} w^{(i)} [X^{(i)}(k+1|k) - \bar{Z}(k+1|k)][Z^{(i)}(k+1|k) - \bar{Z}(k+1|k)]^T \quad (23)$$

[0184] 式中,R为V(k)的协方差矩阵。协方差矩阵用于衡量当前预测值与真实值之间的误差。

[0185] S2309:根据系统观测量的预测均值和协方差计算卡尔曼滤波增益矩阵。

[0186] 该步骤对应的计算公式如下:

$$[0187] \quad K(k+1) = P_{x_k z_k} P_{z_k z_k}^{-1} \quad (24)$$

[0188] S2310:根据卡尔曼滤波增益矩阵更新系统状态量的预测值和协方差。

$$[0189] \quad \hat{X}(k+1|k+1) = \hat{X}(k+1|k) + K(k+1)[Z(k+1) - \hat{Z}(k+1|k)] \quad (25)$$

$$[0190] \quad P(k+1|k+1) = P(k+1|k) - K(k+1)P_{z_k z_k} K^T(k+1) \quad (26)$$

[0191] 步骤S2311、将更新后的系统状态量的预测值和协方差确定为最终估计得到的系统状态量。

[0192] 需要说明,在步骤S2311之前,S2310之后,还可以返回执行步骤S2303,循环执行步骤S2303至步骤S2310至少一次。如此,可以实现整个估计过程的递推。

[0193] 以上为步骤S23的具体实现方式。该具体实现方式就是一个完整的不断反复递推的过程,具体地,利用当前数据信息通过状态方程计算下一个步长的系统状态量的预测值,同时得到协方差,然后根据预测值与其协方差计算卡尔曼增益,最后根据卡尔曼增益更新系统状态,得到最终的估计值和对应的协方差。如此循环执行这个过程。可以说整个估计过程就是不断的在预测、修正。

[0194] 因为上述步骤S23的具体实现方式为一个递推的过程。就递推算法本身就不需要太大的储存空间,实时性较好,因此,该估计方法可以在车辆处于驱动工况下,在线实时计算整车的系统状态量。

[0195] 在该具体实现方式中,利用无迹卡尔曼滤波对非线性系统进行了无迹变换,从而避免了利用非线性系统线性化所带来的误差,提高了整个算法的精度,同时由于算法本身不需要进行线性化,从而不需要像扩展卡尔曼滤波一样计算大型的雅克比矩阵,因而提高了计算效率。

[0196] 综上,本申请提供的整车系统状态量的估计方法能够较为准确地估计到整车的质量与道路坡度,基于该准确的整车质量与道路坡度可以更为精确的制定整车动力性以及经济性控制策略,同时对于未来无人驾驶汽车,也能辅助相关无人驾驶控制策略分析整车当前的内部状态以及外部道路状况。

[0197] 以上为本申请实施例提供的整车系统状态量的估计方法的具体实施方式。基于该估计方法的具体实施方式,本申请实施例还提供了整车系统状态量的估计装置的具体实施方式。具体参见以下实施例。

[0198] 图6是本申请实施例提供的整车系统状态量的估计装置结构示意图。如图6所示,

该装置包括：

[0199] 获取单元61,用于获取驱动工况下的车辆动力性能数据；

[0200] 质量辨识单元62,用于根据所述车辆动力性能数据利用带遗忘因子的递推最小二乘质量辨识方法辨识整车质量,得到整车的辨识质量；

[0201] 系统状态量估计单元63,用于以所述车辆动力性能数据以及整车的辨识质量作为无迹卡尔曼滤波的输入,利用无迹卡尔曼滤波对整车系统状态量进行联合估计,所述整车系统状态量至少包括整车质量和道路坡度。

[0202] 需要说明,本申请实施例提供的整车系统状态量的估计装置可以应用于轻型汽车。

[0203] 上述实施例提供的整车系统状态量的估计装置,利用无迹卡尔曼滤波理论,从系统概率密度分布逼近的角度对整车系统状态量进行状态估计。该估计装置在对整车系统状态量进行估计的过程中无需对非线性系统进行线性化处理,因而避免了强行线性逼近带来的线性化误差以及由此带来的计算结果发散的问题。

[0204] 为了提高整车质量的辨识效率,作为示例,上述所述的质量辨识单元62可以包括：

[0205] 第一建立子单元621,用于根据所述车辆动力性能数据建立车辆行驶方程；

[0206] 第二建立子单元622,用于根据所述车辆行驶方程、旋转质量换算系数的计算公式以及无控制量的离散状态方程建立整车质量辨识的状态方程；

[0207] 所述整车质量辨识的状态方程为：

$$[0208] \quad z = h \cdot \theta = [gf + gi + \frac{dv}{dt} \quad v^2] \cdot [m \cdot \frac{1}{2} C_d A \rho]^T \quad (6)$$

$$[0209] \quad \text{其中, } z = \frac{T_{ig} i_g i_0 \eta}{r} - \frac{I_w}{r^2} \frac{dv}{dt} - \frac{I_f i_g^2 i_0^2 \eta}{r^2} \frac{dv}{dt} ;$$

[0210]  $z$ 为输出矩阵, $h$ 为观测矩阵, $\theta$ 为待辨识参数矩阵, $g$ 为重力加速度, $f$ 为滚动摩擦系数, $i$ 为坡度, $\frac{dv}{dt}$ 为整车加速度, $v$ 为车速, $m$ 为整车质量, $C_d$ 为空气阻力系数, $A$ 为迎风面积, $\rho$ 为空气密度；

[0211]  $T_{tq}$ 为动力装置输出扭矩, $r$ 为车轮半径, $i_g$ 为变速器传动比, $i_0$ 为主减速器传动比, $\eta$ 为传动系综合传动效率, $I_w$ 为车轮转动惯量, $I_f$ 为电动机转动惯量；

[0212] 辨识子单元623,用于以 $z$ 作为输出矩阵,将 $\theta$ 里的参数作为待辨识参数,利用带遗忘因子的最小二乘递推方法辨识出整车质量。

[0213] 作为示例,辨识子单元623的结构如图7所示,其包括：

[0214] 第一获取子单元6231,用于获取第一离散时间 $k$ 时的矩阵 $\theta$ 、增益矩阵 $K$ 和修正矩阵 $P$ ；

[0215] 第一计算子单元6232,用于根据第一离散时间 $k$ 时的修正矩阵 $P$ 、第二离散时间 $k+1$ 时的观测矩阵计算第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵 $K$ ；其中,第二离散时间 $k+1$ 为第一离散时间 $k$ 的下一离散时间；

[0216] 第二计算子单元6233,用于根据第一离散时间时的修正矩阵 $P$ 、第二离散时间 $k+1$ 时的增益矩阵 $K$ 以及第二离散时间 $k+1$ 时的观测矩阵计算第二离散时间 $k+1$ 时的修正矩阵；

[0217] 第三计算子单元6234,用于根据第一离散时间 $k$ 时的矩阵 $\theta$ ,第二离散时间 $k+1$ 时的



增益矩阵、第二离散时间 $k+1$ 时输出矩阵以及第二离散时间 $k+1$ 时观测矩阵,计算第二离散时间 $k+1$ 时的矩阵 $\theta$ ;

[0218] 第一更新子单元6235,用于将第一离散时间 $k$ 更新为第二离散时间,即 $k=k+1$ ,并触发所述获取子单元6231,直至矩阵 $\theta$ 里的参数趋于稳定;

[0219] 第二获取子单元6236,用于从参数趋于稳定的矩阵 $\theta$ 里获取整车质量辨识结果。

[0220] 为了提高系统状态量的估计效率,上述所述的系统状态量估计单元63的结构可以如图8所示,其具体包括:

[0221] 第三建立子单元631,用于根据表达非线性系统的状态方程函数和观测方程函数、车辆行驶方程以及速度的物理计算公式,建立整车系统状态量的状态方程和观测方程;其中,整车系统状态量包括车速、质量和道路坡度;

[0222] 获取子单元632,用于获取系统状态量的初始值;其中,整车质量的初始值为所述整车的辨识质量;

[0223] 第一无迹变换子单元633,用于将系统状态量的初始值进行无迹变换,生成初始采样点及其对应的加权值;

[0224] 第四计算子单元634,用于根据所述初始采样点及其对应的加权值,计算所述初始采样点的一步预测;

[0225] 第五计算子单元635,用于根据所述初始采样点的一步预测以及所述初始采样点对应的加权值并结合整车系统状态量的状态方程计算系统状态量的一步预测与协方差;

[0226] 第二无迹变换子单元636,用于将所述系统状态量的一步预测值进行无迹变换,生成新采样点及其加权值;

[0227] 第六计算子单元637,用于将所述新采样点代入整车系统状态量的观测方程,得到采样点的预测观测量及其加权值;

[0228] 第七计算子单元638,用于根据采样点的预测观测量及其加权值计算系统观测量的预测均值和协方差;

[0229] 第八计算子单元639,用于根据系统观测量的预测均值和协方差计算卡尔曼滤波增益矩阵;

[0230] 第二更新子单元6310,用于根据卡尔曼滤波增益矩阵更新系统状态量的预测值和协方差;

[0231] 确定子单元6311,用于将更新后的系统状态量的预测值和协方差确定为最终估计得到的系统状态量。

[0232] 以上为本申请实施例的具体实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以作出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

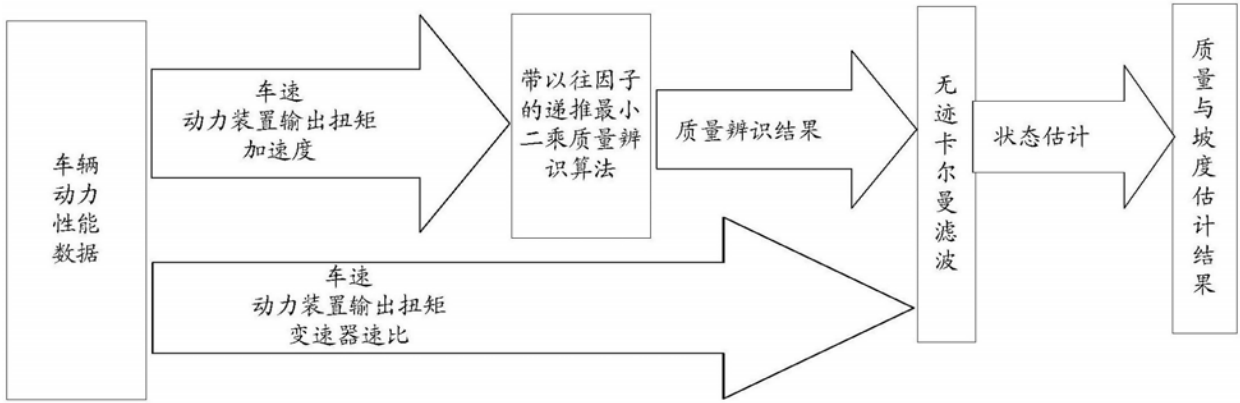


图1

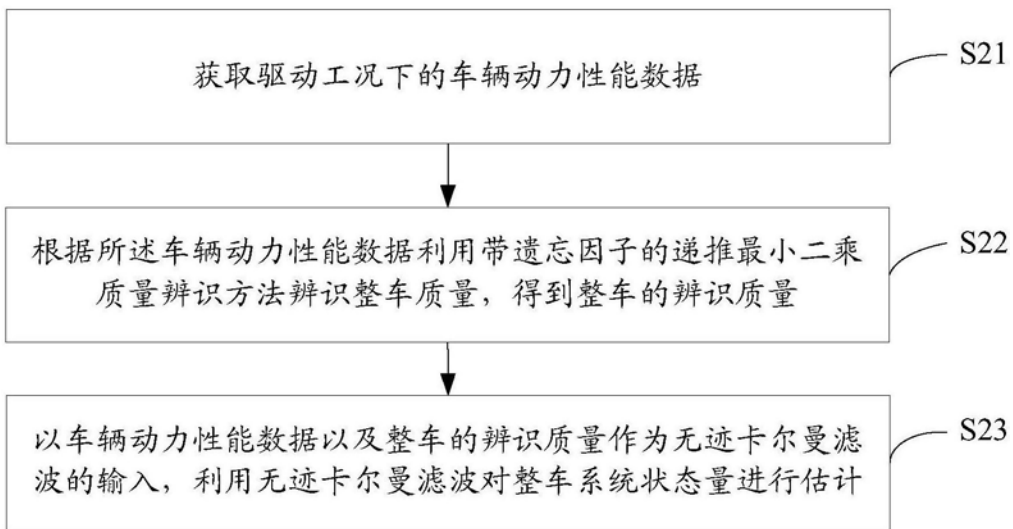


图2

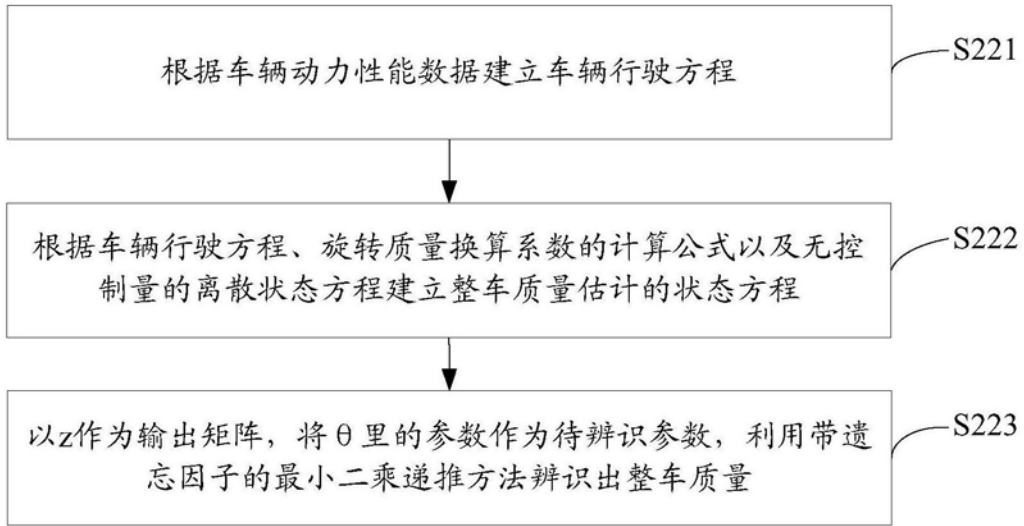


图3

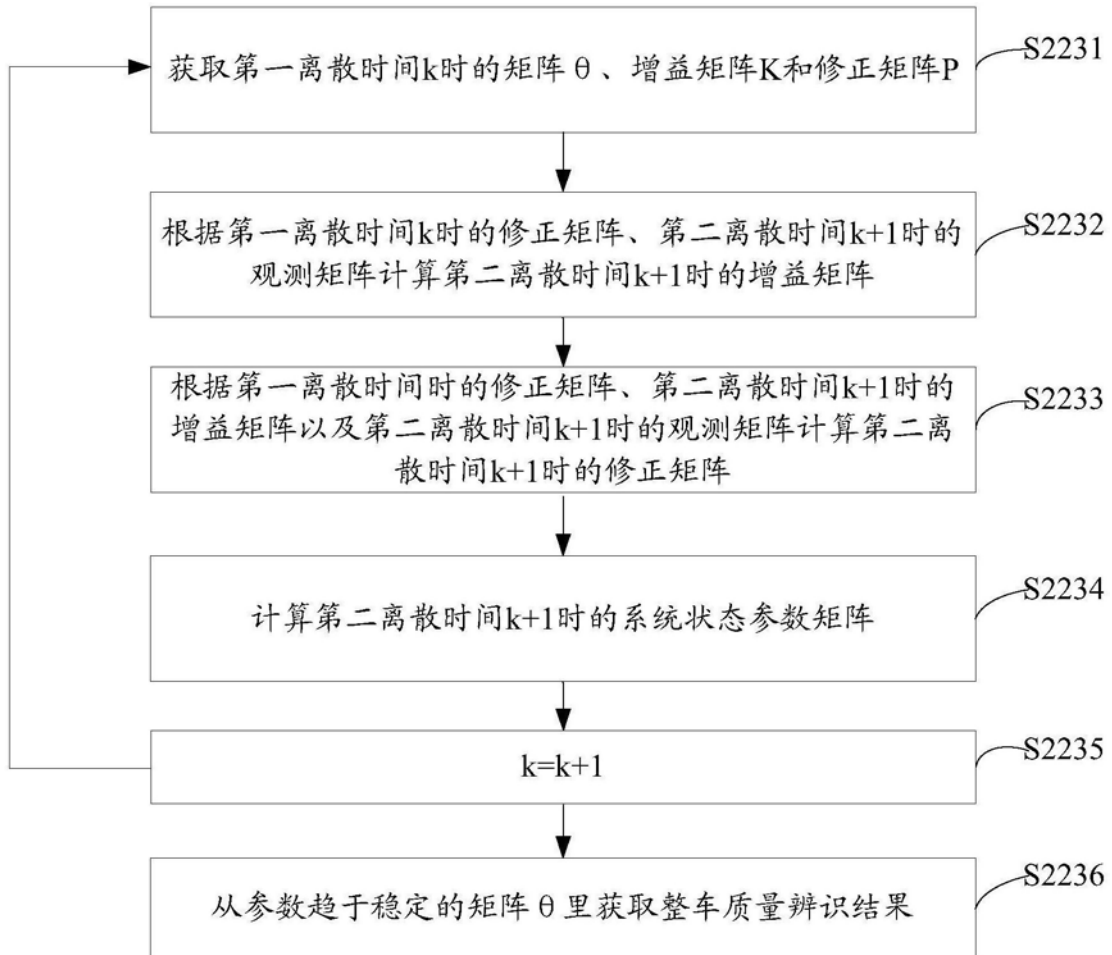


图4

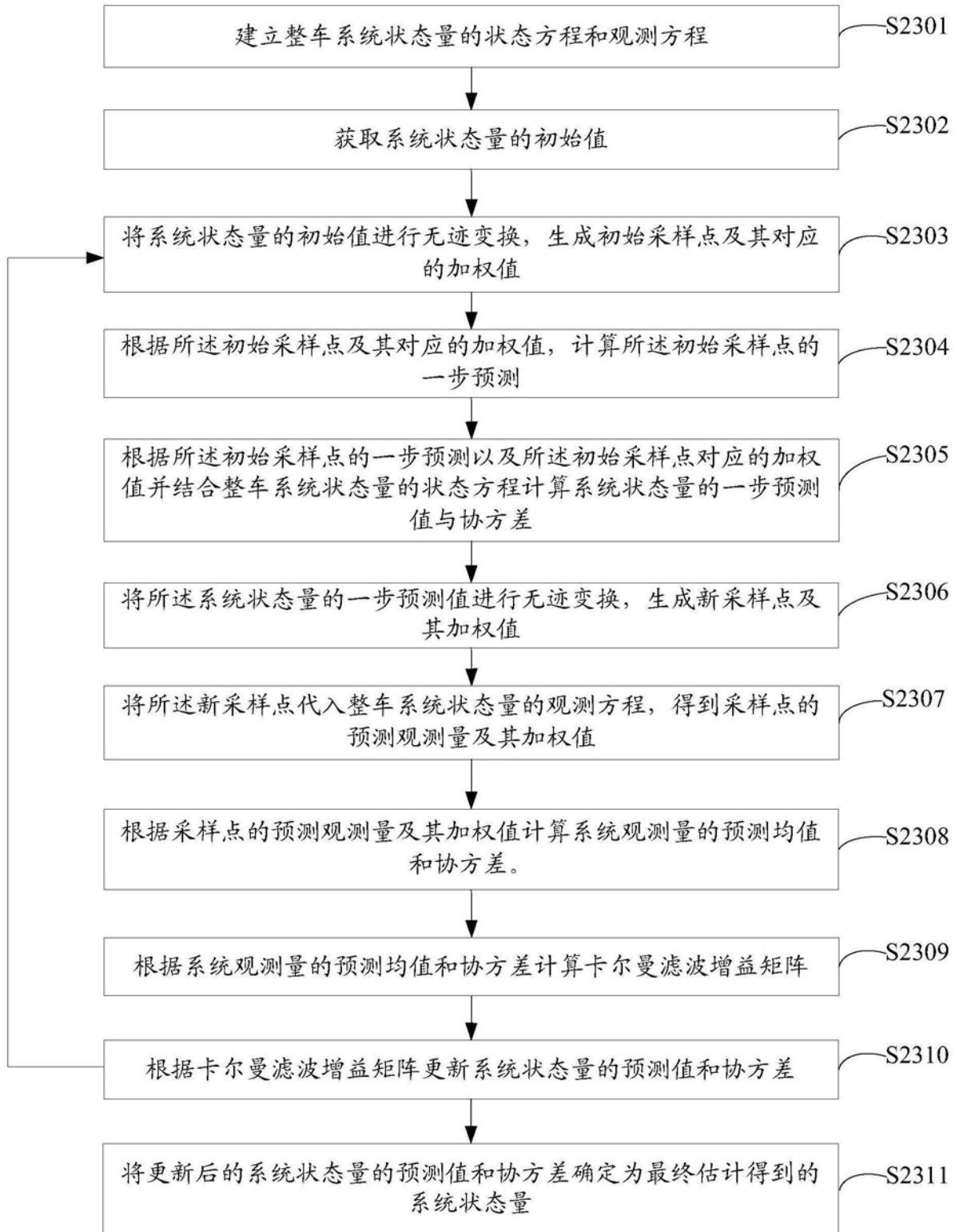


图5

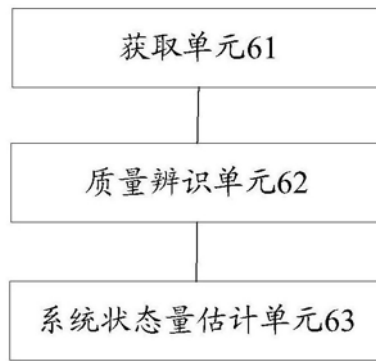


图6

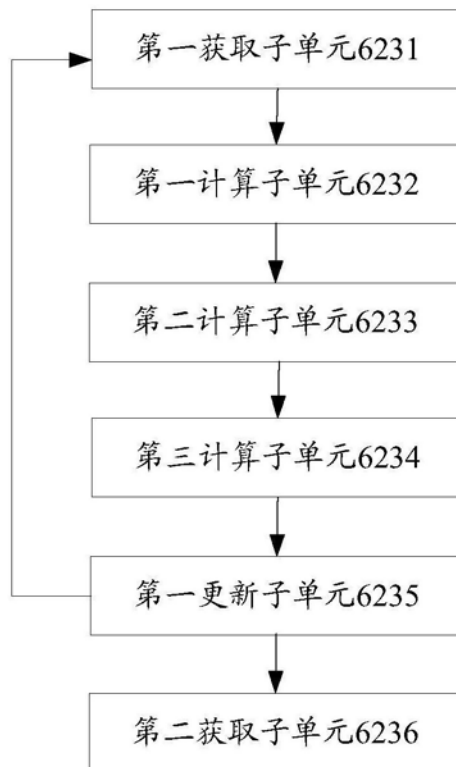


图7



图8