



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114435378 A

(43) 申请公布日 2022. 05. 06

(21) 申请号 202011209557.8

G06F 17/18 (2006.01)

(22) 申请日 2020.11.03

(71) 申请人 陕西汽车集团有限责任公司

地址 710200 陕西省西安市经济技术开发区泾渭工业园

(72) 发明人 孟蓉歌 王鹏翔 史强 张耀锋
王号 舒航

(74) 专利代理机构 北京金宏来专利代理事务所
(特殊普通合伙) 11641

专利代理师 许振强

(51) Int. Cl.

B60W 40/13 (2012.01)

G06N 3/04 (2006.01)

G06N 3/08 (2006.01)

G06F 17/12 (2006.01)

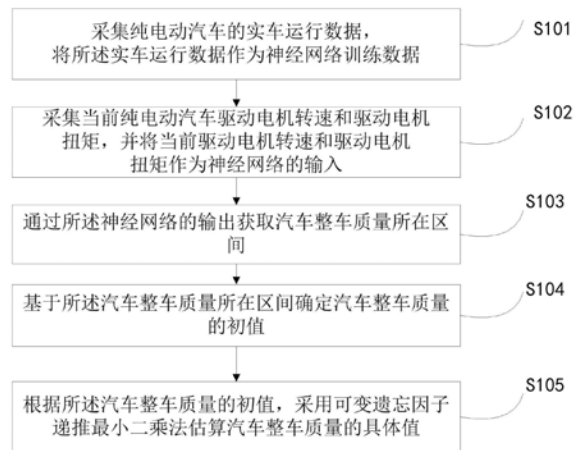
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法

(57) 摘要

本申请提供一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法,包括:采集纯电动汽车的实车运行数据,将所述实车运行数据作为神经网络训练数据;将当前驱动电机转速和驱动电机扭矩作为神经网络的输入;通过所述神经网络的输出获取汽车整车质量所在区间;基于所述汽车整车质量所在区间确定汽车整车质量的初值;根据所述汽车整车质量的初值,采用可变遗忘因子递推最小二乘法估算汽车整车质量的具体值。本申请由神经网络计算的质量初值使得递推最小二乘法收敛速度更快,能够在更短的时间内为整车提供可靠的质量参数。



1. 一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法,其特征在于,包括:

步骤一:采集纯电动汽车的实车运行数据,将所述实车运行数据作为神经网络训练数据;

步骤二:采集当前纯电动汽车驱动电机转速和驱动电机扭矩,并将当前驱动电机转速和驱动电机扭矩作为神经网络的输入;

步骤三:通过所述神经网络的输出获取汽车整车质量所在区间;

步骤四:基于所述汽车整车质量所在区间确定汽车整车质量的初值;

步骤五:根据所述汽车整车质量的初值,采用可变遗忘因子递推最小二乘法估算汽车整车质量的具体值。

2. 如权利要求1所述的一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法,其特征在于,所述整车质量所在区间可具体划分为空载、半载和满载状态的三个子区间。

3. 如权利要求2所述的一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法,其特征在于,所述神经网络模型隐含层节点个数根据公式 $N = \sqrt{m+n} + a$ 计算,其中,m为输入层节点个数,n为输出层节点个数,a为1-10之间的常数。

4. 如权利要求1至3任一项所述的一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法,其特征在于,根据所述汽车整车质量的初值,采用可变遗忘因子递推最小二乘法估算汽车整车质量的具体值的方法为:

根据汽车行驶方程可得:

$$\begin{aligned} \delta\dot{v} &= \left(\frac{T_{tq} i_g i_0 \eta_T}{r} - \frac{C_D A v^2}{21.15} \right) \frac{1}{m} - f g \cos \alpha - g \sin \alpha \\ &= \left(\frac{T_{tq} i_g i_0 \eta_T}{r} - \frac{C_D A v^2}{21.15} \right) \frac{1}{m} - \frac{g}{\cos \alpha_f} \sin(\alpha_f + \alpha) \end{aligned}$$

其中, T_{tq} 为驱动电机输出扭矩($N \cdot m$), i_g 为变速器传动比, i_0 为主减速器传动比, η_T 为传动效率, r 为轮胎半径(m), f 为滚动阻力系数, m 为汽车质量(kg), g 为重力加速度($9.8m/s^2$), α 为道路坡度角, C_D 为空气阻力系数, A 为迎风面积(m^2), v 是车速(km/h), δ 为旋转质量换算系数;且 $f = \tan \alpha_f$;当 α_f 很小时,则 $\sin \alpha_f \approx \tan \alpha_f$, $\cos \alpha_f \approx 1$;

对每个待估参数应用不同遗忘因子 λ_1 和 λ_2 ,得到用于整车质量和道路坡度的VFF-RLS算法如下:

$$y = \delta\dot{v}, \quad \hat{\theta} = \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{m} \\ \sin(\alpha_f + \alpha) \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{T_{tq} i_g i_0 \eta_T}{r} - \frac{C_D A v^2}{21.15} \\ -\frac{g}{\cos \alpha_f} \end{bmatrix}$$

根据上述VFF-RLS算法得到基于VFF-RLS的整车质量估算递推公式为:

$$\begin{bmatrix} \hat{\theta}_1(k+1) \\ \hat{\theta}_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_1(k)\Phi_2(k) \\ K_2(k)\Phi_1(k) & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1(k) + K_1(k)[y(k) - \Phi_1(k+1)\hat{\theta}_1(k)] \\ \hat{\theta}_2(k) + K_2(k)[y(k) - \Phi_2(k+1)\hat{\theta}_2(k)] \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} K_1(k+1) \\ K_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1(k)\Phi_1(k+1)[\lambda_1 + \Phi_1^T(k+1)P_1(k)\Phi_1(k+1)]^{-1} \\ P_2(k)\Phi_2(k+1)[\lambda_2 + \Phi_2^T(k+1)P_2(k)\Phi_2(k+1)]^{-1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} P_1(k+1) \\ P_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda_1(k+1)} [P_1(k) - K_1(k+1)\Phi_1^T(k+1)P_1(k)] \\ \frac{1}{\lambda_2(k+1)} [P_2(k) - K_2(k+1)\Phi_2^T(k+1)P_2(k)] \end{bmatrix};$$

将对应整车质量初值代入VFF-RLS的整车质量估算递推公式求出增益矩阵P的初值即可实现对整车质量的估算。

一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法

技术领域

[0001] 本申请涉及新能源汽车技术领域,具体而言,涉及一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法。

背景技术

[0002] 纯电动汽车因其驾驶品质好、易于实现智能化,同时具有节能环保、低噪音等优点而受到许多消费者的喜爱,但里程焦虑一直是制约其应用推广的一个主要因素,特别地,对于纯电动商用车这一问题更为突出。

[0003] 商用车整车质量变化范围大,满载质量最大可为空载的3-4倍,质量是影响纯电动商用车整车控制策略制定和续驶里程估算的一个重要因素。根据整车控制需求快速合理的估算出整车的载荷状态(如空载、半载和满载)、质量区间范围和满足控制要求的具体质量对于整车换挡控制、续驶里程估算、制动能量回收策略制定和整车驱动扭矩计算等关键算法的设计具有重要的意义。

[0004] 现有的用于整车质量估算的方法主要有利用加速度传感器的方法、基于动能定理和采样窗口原则的整车质量估算方法以及基于卡尔曼滤波辨识的整车质量估算和递推最小二乘法。这些方法主要存在设备昂贵、稳定性差、抗干扰能力差、估算误差大、算法收敛速度慢以及实用性低等问题。采用加速度传感器的方法由于车重对车辆加速度变化范围的影响,使得同样的算法对不同质量的整车估算误差变化较大,无法满足实际应用需求。此外,根据车辆动力学利用递推最小二乘进行整车质量估算的方法由于其计算初期结果变化较大,无法在较短时间内给出一个准确的质量区间范围,这为车辆上电后的续驶里程估算造成了很大的困难。因此估算结果无法用于指导整车控制策略的制定。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本申请提供一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法,以克服现有技术中存在的缺陷。

[0006] 为实现上述目的,本申请采用的技术方案如下:

[0007] 本申请提供一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法,包括:

[0008] 步骤一:采集纯电动汽车的实车运行数据,将所述实车运行数据作为神经网络训练数据;

[0009] 步骤二:采集当前纯电动汽车驱动电机转速和驱动电机扭矩,并将当前驱动电机转速和驱动电机扭矩作为神经网络的输入;

[0010] 步骤三:通过所述神经网络的输出获取汽车整车质量所在区间;

[0011] 步骤四:基于所述汽车整车质量所在区间确定汽车整车质量的初值;

[0012] 步骤五:根据所述汽车整车质量的初值,采用可变遗忘因子递推最小二乘法估算汽车整车质量的具体值。

[0013] 可选的,所述整车质量所在区间可具体划分为空载、半载和满载状态的三个子区

间。

[0014] 可选的,所述神经网络模型隐含层节点个数根据公式 $N = \sqrt{m+n} + a$ 计算,其中,m为输入层节点个数,n为输出层节点个数,a为1-10之间的常数。

[0015] 可选的,根据所述汽车整车质量的初值,采用可变遗忘因子递推最小二乘法估算汽车整车质量的具体值的方法为:

[0016] 根据汽车行驶方程可得:

$$[0017] \quad \begin{aligned} \delta\dot{v} &= \left(\frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_T}{r} - \frac{C_D A v^2}{21.15} \right) \frac{1}{m} - f g \cos \alpha - g \sin \alpha \\ &= \left(\frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_T}{r} - \frac{C_D A v^2}{21.15} \right) \frac{1}{m} - \frac{g}{\cos \alpha_f} \sin(\alpha_f + \alpha) \end{aligned}$$

[0018] 其中, T_{iq} 为驱动电机输出扭矩($N \cdot m$), i_g 为变速器传动比, i_0 为主减速器传动比, η_T 为传动效率, r 为轮胎半径(m), f 为滚动阻力系数, m 为汽车质量(kg), g 为重力加速度($9.8m/s^2$), a 为道路坡度角, C_D 为空气阻力系数, A 为迎风面积(m^2), v 是车速(km/h), δ 为旋转质量换算系数;且 $f = \tan \alpha_f$;当 α_f 很小时,则 $\sin \alpha_f \approx \tan \alpha_f$, $\cos \alpha_f \approx 1$;

[0019] 对每个待估参数应用不同遗忘因子 λ_1 和 λ_2 ,得到用于整车质量和道路坡度的VFF-RLS算法如下:

$$[0020] \quad y = \delta\dot{v}, \quad \hat{\theta} = \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{m} \\ \sin(\alpha_f + \alpha) \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{T_{iq} i_g i_0 \eta_T}{r} - \frac{C_D A v^2}{21.15} \\ -\frac{g}{\cos \alpha_f} \end{bmatrix}$$

[0021] 根据上述VFF-RLS算法得到基于VFF-RLS的整车质量估算递推公式为:

$$[0022] \quad \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1(k+1) \\ \hat{\theta}_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_1(k)\Phi_2(k) \\ K_2(k)\Phi_1(k) & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1(k) + K_1(k)[y(k) - \Phi_1(k+1)\hat{\theta}_1(k)] \\ \hat{\theta}_2(k) + K_2(k)[y(k) - \Phi_2(k+1)\hat{\theta}_2(k)] \end{bmatrix}$$

$$[0023] \quad \begin{bmatrix} K_1(k+1) \\ K_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1(k)\Phi_1(k+1)[\lambda_1 + \Phi_1^T(k+1)P_1(k)\Phi_1(k+1)]^{-1} \\ P_2(k)\Phi_2(k+1)[\lambda_2 + \Phi_2^T(k+1)P_2(k)\Phi_2(k+1)]^{-1} \end{bmatrix}$$

$$[0024] \quad \begin{bmatrix} P_1(k+1) \\ P_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda_1(k+1)} [P_1(k) - K_1(k+1)\Phi_1^T(k+1)P_1(k)] \\ \frac{1}{\lambda_2(k+1)} [P_2(k) - K_2(k+1)\Phi_2^T(k+1)P_2(k)] \end{bmatrix};$$

[0025] 将对应整车质量初值代入VFF-RLS的整车质量估算递推公式求出增益矩阵P的初值即可实现对整车质量的估算。

[0026] 本申请的有益效果是:

[0027] 1、本申请递推最小二乘算法的质量初值来自神经网络计算结果,而不是直接给定初值,因此具有更高的准确性;

[0028] 2、本申请由神经网络计算的质量初值使得递推最小二乘算法收敛速度更快,能够在更短的时间内为整车提供可靠的质量参数;

[0029] 3、神经网络在整车试验阶段完成离线训练,实际应用中通过指定车速范围内的几

帧测试数据即可完成车辆载重判断,因此本算法具有一定的实用性。

附图说明

[0030] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本申请的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

[0031] 图1为基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法流程图;

[0032] 图2为基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算模型图;

[0033] 图3为递推最小二乘法的汽车整车质量估算结果图;

[0034] 图4基于BP神经网络的可变遗忘因子递推最小二乘整车质量估算结果图。

具体实施方式

[0035] 为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。

[0036] 如图1所示,本申请提供一种基于神经网络的纯电动汽车整车质量估算方法,包括:

[0037] S101:采集纯电动汽车的实车运行数据,将所述实车运行数据作为神经网络训练数据;

[0038] 具体的,分别采集纯电动汽车整车空载、半载和满载状态下的实车运行数据作为网络训练数据,训练数据样本3000组,构造 $[3000, 3]$ 的样本数据输入矩阵,3列数据分别为载荷状态、驱动电机转速和驱动电机扭矩。分别取500组数据为对应网络测试样本,数据格式为 $[500, 3]$ 。

[0039] 所述实车运行数据包括纯电动汽车驱动电机转速和驱动电机扭矩。

[0040] 另外,本申请所述神经网络包括但不限于BP (Back-propagation,反向传播)神经网络。

[0041] S102:采集当前纯电动汽车驱动电机转速和驱动电机扭矩,并将当前驱动电机转速和驱动电机扭矩作为神经网络的输入;

[0042] BP神经网络的输入节点有两个,分别对应驱动电机转速和扭矩,神经网络隐含层节点个数根据公式 $N = \sqrt{m+n} + a$ 计算,其中,m为输入层节点个数,n为输出层节点个数,a为1-10之间的常数。

[0043] 进一步的,所述隐含层神经元个数最终可根据网络训练结果对进行调整,以取得更好的预测精度。如图2所示,在具体实施时,取隐含层神经元个数为5。

[0044] S103:通过所述神经网络的输出获取汽车整车质量所在区间;

[0045] 具体的,所述整车质量所在区间可具体划分为空载、半载和满载状态的三个子区间,所述神经网络的输出为欲分类的质量区间,也即为空载、半载和满载三类区间。

[0046] 在具体实施时,空载、半载和满载对应输出值可分别为1、2和3。

[0047] 不同载荷下对应网络输出结果相对误差分别为0.7983,0.9734,0.9385,该误差能

够达到可变遗忘因子递推最小二乘法对整车质量初值预测结果的要求。

[0048] S104:基于所述汽车整车质量所在区间确定汽车整车质量的初值;

[0049] 对于某种型号的车而言,其在空载、半载和满载三种载荷状态的质量初值是确定的,例如陕汽的E9纯电动轻卡,可认为其空载质量初值为3.13吨,半载质量初值为3.825吨,满载质量初值为4.495吨。

[0050] 因此整车质量所在区间(即所属的载荷状态)与质量初值是一一对应关系,当根据神经网络预测出整车质量所在区间后,就可依此得出与其对应的质量初值。

[0051] S105:根据所述汽车整车质量的初值,采用可变遗忘因子递推最小二乘法估算汽车整车质量的具体值。

[0052] 原理如下:

[0053] ①根据汽车行驶方程:

$$[0054] \quad \frac{T_{tq} i_g i_0 \eta_T}{r} = fmg \cos \alpha + \frac{C_D A v^2}{21.15} + mg \sin \alpha + \delta m \dot{v}$$

[0055] 其中, T_{tq} 为驱动电机输出扭矩(N·m), i_g 为变速器传动比, i_0 为主减速器传动比, η_T 为传动效率, r 为轮胎半径(m), f 为滚动阻力系数, m 为汽车质量(kg), g 为重力加速度(9.8m/s²), α 为道路坡度角, C_D 为空气阻力系数, A 为迎风面积(m²), v 是车速(km/h), δ 为旋转质量换算系数;且 $f = \tan \alpha_f$;当 α_f 很小时,则 $\sin \alpha_f \approx \tan \alpha_f$, $\cos \alpha_f \approx 1$;

[0056] 可得:

$$[0057] \quad \begin{aligned} \delta \dot{v} &= \left(\frac{T_{tq} i_g i_0 \eta_T}{r} - \frac{C_D A v^2}{21.15} \right) \frac{1}{m} - fg \cos \alpha - g \sin \alpha \\ &= \left(\frac{T_{tq} i_g i_0 \eta_T}{r} - \frac{C_D A v^2}{21.15} \right) \frac{1}{m} - \frac{g}{\cos \alpha_f} \sin(\alpha_f + \alpha) \end{aligned}$$

[0058] ②递推最小二乘方法

[0059] 设离散系统模型:

$$[0060] \quad A(z^{-1})y(k) = B(z^{-1})u(k)$$

$$[0061] \quad \begin{cases} A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n} \\ B(z^{-1}) = 1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n} \end{cases}$$

[0062] 其中, $u(k)$ 为系统输入, $y(k)$ 为系统输出。 a_1, \dots, a_n 为系统输入对应的多项式系数, b_1, \dots, b_n 为输出多项式系数。

[0063] 最小二乘表达式为: $y(k) = \boldsymbol{\varphi}^T(k)\boldsymbol{\theta} + e(k)$

[0064] 其向量形式的线性方程为:

$$[0065] \quad Y = \Phi \boldsymbol{\theta} + e$$

[0066] 其中,

$$[0067] \quad Y = [y(1), y(2), \dots, y(n)]^T, \Phi = [\phi(1), \phi(2), \dots, \phi(n)]^T, \boldsymbol{\theta} = [a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n]^T$$

[0068] 取准则函数 $J(\boldsymbol{\theta})$ 为:

$$[0069] \quad J(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{k=1}^N [Y - \Phi \boldsymbol{\theta}]^2 = (Y - \Phi \boldsymbol{\theta})^T (Y - \Phi \boldsymbol{\theta})$$

[0070] 设 $\hat{\theta}_{LS}$ 使得 $J(\theta)|_{\hat{\theta}_{LS}} = \min$, 则有

$$[0071] \quad \left. \frac{\partial J(\theta)}{\partial \theta} \right|_{\hat{\theta}_{LS}} = \frac{\partial}{\partial \theta} [(Y - \Phi\theta)^T (Y - \Phi\theta)] = 0$$

[0072] 求解可得待辨识参数:

$$[0073] \quad \hat{\theta}_{LS} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T Y$$

$$[0074] \quad \text{且 } \left. \frac{\partial^2 J(\theta)}{\partial \theta^2} \right|_{\hat{\theta}_{LS}} = 2\Phi^T \Phi > 0$$

[0075] 设k-1时刻与k时刻系统的参数估计结果为:

$$[0076] \quad \hat{\theta}(k-1) = (\Phi_{k-1}^T \Phi_{k-1})^{-1} \Phi_{k-1}^T Y_{k-1}$$

$$[0077] \quad \hat{\theta}(k) = (\Phi_k^T \Phi_k)^{-1} \Phi_k^T Y_k$$

[0078] 将上式逆矩阵通过 $P(k) = (\Phi_k^T \Phi_k)^{-1}$ 进行改写, 可得如下最小二乘估计算法表达式:

$$[0079] \quad \hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + K(k)[y(k) - \phi^T(k)\hat{\theta}(k-1)]$$

$$[0080] \quad P(k) = [I - K(k)\phi^T(k)]P(k-1)$$

$$[0081] \quad K(k) = \frac{P(k-1)\phi(k)}{1 + \phi^T(k)P(k-1)\phi(k)}$$

[0082] ③带遗忘因子的递推最小二乘方法

[0083] 假设k时刻, 已知参数估计值 $\hat{\theta}(k)$ 增益矩阵P(k), 在k+1时刻, 得到新的观测数据向量 $\Phi(k+1)$ 和 $y(k+1)$ 。则在k+1时刻, 参数的估计值为:

$$[0084] \quad \hat{\theta}(k+1) = \hat{\theta}(k) + K(k+1)[y(k+1) - \Phi^T(k+1)\hat{\theta}(k)]$$

$$[0085] \quad K(k+1) = P(k)\Phi(k+1)[1 + \Phi^T(k+1)P(k)\Phi(k+1)]^{-1}$$

$$[0086] \quad P(k+1) = P(k) - P(k)\Phi(k+1)[1 + \Phi^T(k+1)P(k)\Phi(k+1)]^{-1}\Phi^T(k+1)P(k)$$

$$[0087] \quad = [I - K(k+1)\Phi^T(k+1)]P(k)$$

[0088] 递推最小二乘算法虽然能不断地更新估计值, 但是在时变系统中, 随着时间的推移, 会出现

$$[0089] \quad \begin{aligned} P(k) - P(k+1) &= P(k)\Phi(k+1)[1 + \Phi(k+1)P(k)\Phi(k+1)]^{-1}\Phi^T(k+1)P(k) \\ &= P(k)\frac{\Phi(k+1)\Phi^T(k+1)}{1 + \Phi(k+1)P(k)\Phi(k+1)}P(k) \geq 0 \end{aligned}$$

[0090] 随着递推次数的增加, P(k+1) 逐渐小于P(k), 出现“数据饱和”。这种现象导致新的观测数据对估计值的更新作用越来越小, 递推误差累计越来越大。为克服这一现象, 因此算法引入遗忘因子 λ ($0 < \lambda \leq 1$), 以加强新信息数据的权重, 减弱旧信息数据的权重, 从而不断更新参数的估计值。

[0091] 可得VFF-RLS算法(可变遗忘因子递推最小二乘法)为:

$$[0092] \quad \hat{\theta}(k+1) = \hat{\theta}(k) + K(k+1)[y(k+1) - \Phi^T(k+1)\hat{\theta}(k)]$$

$$[0093] \quad K(k+1) = P(k) \Phi(k+1) [\lambda + \Phi^T(k+1)P(k)\Phi(k+1)]^{-1}$$

$$[0094] \quad P(k+1) = \frac{1}{\lambda} [P(k) - K(k+1)\Phi^T(k+1)P(k)]$$

[0095] ④整车质量估算

[0096] 对每个待估参数应用不同遗忘因子 λ_1 和 λ_2 的方法,得到用于整车质量和道路坡度的可变遗忘因子递推最小二乘VFF-RLS算法如下:

$$[0097] \quad y = \delta\dot{v}, \quad \hat{\theta} = \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{\theta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{m} \\ \sin(\alpha_f + \alpha) \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{T_{iq}i_g i_0 \eta_T}{r} - \frac{C_D A v^2}{21.15} \\ -\frac{g}{\cos \alpha_f} \end{bmatrix}$$

[0098] 因此基于VFF-RLS的整车质量估算递推公式为:

$$[0099] \quad \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1(k+1) \\ \hat{\theta}_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & K_1(k)\Phi_2(k) \\ K_2(k)\Phi_1(k) & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_1(k) + K_1(k)[y(k) - \Phi_1(k+1)\hat{\theta}_1(k)] \\ \hat{\theta}_2(k) + K_2(k)[y(k) - \Phi_2(k+1)\hat{\theta}_2(k)] \end{bmatrix}$$

$$[0100] \quad \begin{bmatrix} K_1(k+1) \\ K_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1(k)\Phi_1(k+1)[\lambda_1 + \Phi_1^T(k+1)P_1(k)\Phi_1(k+1)]^{-1} \\ P_2(k)\Phi_2(k+1)[\lambda_2 + \Phi_2^T(k+1)P_2(k)\Phi_2(k+1)]^{-1} \end{bmatrix}$$

$$[0101] \quad \begin{bmatrix} P_1(k+1) \\ P_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\lambda_1(k+1)} [P_1(k) - K_1(k+1)\Phi_1^T(k+1)P_1(k)] \\ \frac{1}{\lambda_2(k+1)} [P_2(k) - K_2(k+1)\Phi_2^T(k+1)P_2(k)] \end{bmatrix}$$

[0102] 将对应整车质量初值代入VFF-RLS的整车质量估算递推公式求出增益矩阵P的初值即可实现对整车质量的估算。

[0103] 综上通过引入两个遗忘因子,更新VFF-RLS递推即可对整车质量进行估算。

[0104] 图3为递推最小二乘法的汽车整车质量估算结果图;图4基于神经网络的可变遗忘因子递推最小二乘整车质量估算结果图。由图3和4可知,本申请采用的可变遗忘因子递推最小二乘算法,其递推最小二乘算法收敛速度更快,能够在更短的时间内为整车提供可靠的质量参数。

[0105] 上仅为本申请的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

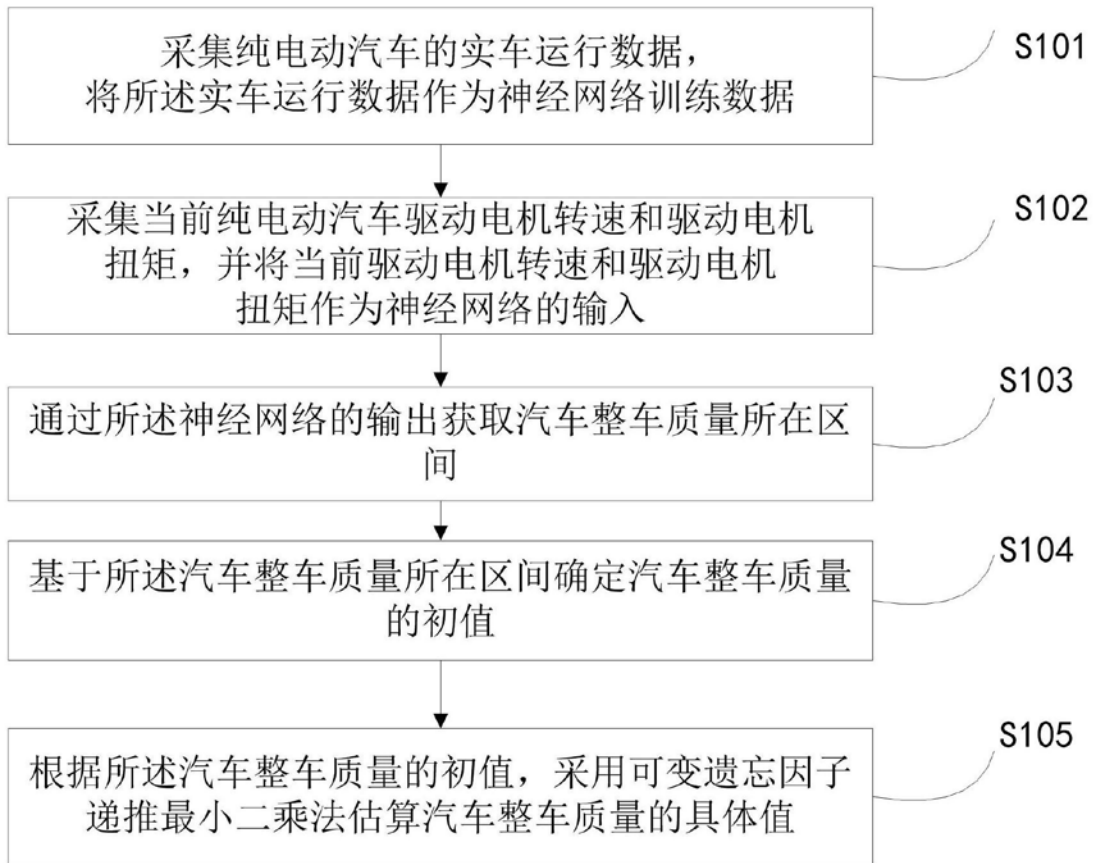


图1

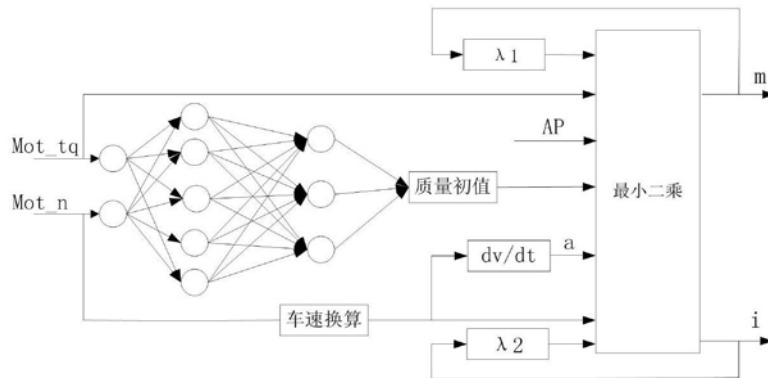


图2

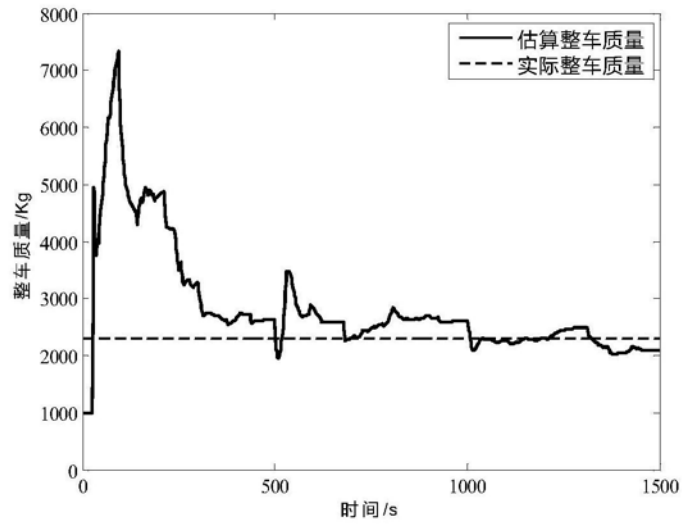


图3

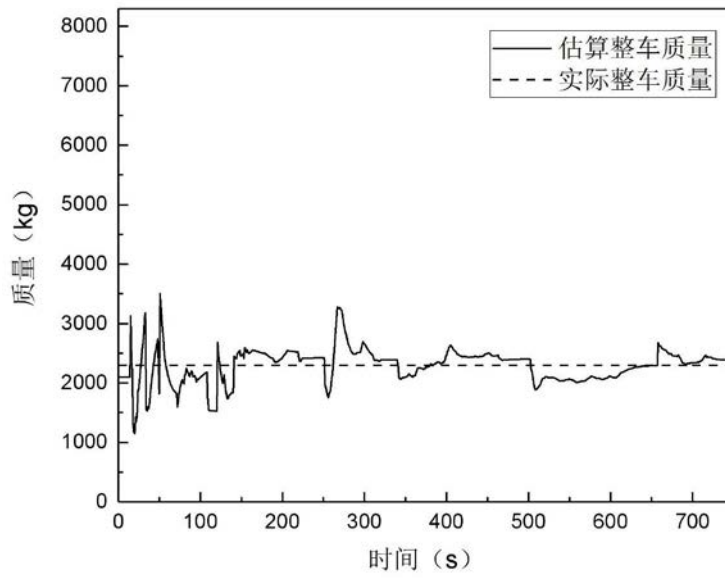


图4