



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116443011 A

(43) 申请公布日 2023. 07. 18

(21) 申请号 202310657993.9

(22) 申请日 2023.06.05

(71) 申请人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区

(72) 发明人 潘公宇 段友好 王学攀 杜曾龙

晋恩荣

(74) 专利代理机构 南京智造力知识产权代理有

限公司 32382

专利代理师 王军丽

(51) Int. Cl.

B60W 30/18 (2012.01)

B60W 10/08 (2006.01)

B60W 10/188 (2012.01)

B60L 7/24 (2006.01)

B60L 7/10 (2006.01)

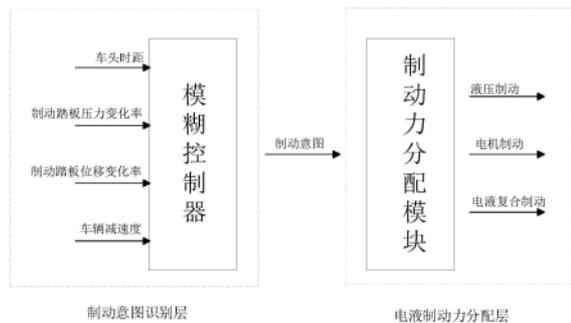
权利要求书7页 说明书17页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制系统及方法,采用上层制动意图识别层和下层制动力分配层相结合的控制策略。其中上层主要利用V2V通信设备实时获得车头时距和其他一些传感器实时获得制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车辆减速度,并将其作为模糊控制器的输入,模糊控制器的输出为制动意图;提高了制动意图识别的精度。下层制动力分配层依据上层输出的制动意图以及制动安全性进行电机制动力和液压制动力的分配,并合理安排电机制动介入的时间,提高再生制动的参与率,从而最大程度上实现了制动过程中的能量回收,提高电动车续航里程。



1. 一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、实时采集本车信息和道路交通信息:实时采集制动踏板位移变化率、制动踏板压力变化率、车辆制动减速度以及车头时距;

S2、制动意图识别:根据S1获得的制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车辆制动减速度以及车头时距,得到制动意图;

S3、电机制动力与液压制动力的分配:根据制动意图并基于电机最大制动力和需求制动力,对左前轮、右前轮、左后轮、右后轮电机制动力和液压制动力进行分配。

2. 根据权利要求1所述的一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制方法,其特征在于,所述S1的具体实现包括:

通过轮速传感器收集车辆制动减速度、V2V通信网络获得车头时距、制动踏板位移传感器收集踏板位移变化率以及制动踏板压力传感器收集踏板压力变化率。

3. 根据权利要求1所述的一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制方法,其特征在于,所述S2的具体实现包括:

根据制动踏板压力变化率、车辆减速度、制动踏板位移变化率以及车头时距作为模糊控制算法的输入变量,制动意图作为输出变量,制定模糊子集,并基于输入、输出变量的模糊子集制定相应的模糊控制规则。

4. 根据权利要求3所述的一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制方法,其特征在于,所述模糊规则具体如下:

定义踏板压力变化率论域为 $[0, 300]$,划分 $[0, 80]$, $[40, 210]$, $[150, 300]$,分别构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,定义踏板位移变化率论域为 $[0, 100]$,划分为 $[0, 40]$, $[20, 80]$, $[60, 100]$,分别构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,定义车辆减速度论域为 $[0, 9.8]$,划分为 $[0, 2.5]$ 、 $[0.5, 7.5]$ 、 $[5, 9.8]$,分别构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,定义车头时距论域为 $[0, 5]$,划分为 $[0, 0.6]$ 、 $[0.5, 3]$ 、 $[2.5, 5]$,分别构建大(B)、中(M)、小(S)3个模糊子集,定义制动意图论域为 $[0, 3]$,划分为 $[0, 1.2]$ 、 $[0, 2.5]$ 、 $[1.8, 3]$,分别构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集。

5. 根据权利要求4所述的一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制方法,其特征在于,当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时,则输出子集为M子集,即输出为中度制动;当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应S模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时,则输出子集为S子集,即输出为轻度制动;当制动踏板压力变化率对应B模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时,则输出子集为B子集,即为紧急制动。

6. 根据权利要求5所述的一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制方法,其特征在于,具体的模糊规则如表1所示,

表1

| 踏板压力变化率 | 踏板位移变化率 | 车辆减速度 | 车头时距 | 制动意图 |
|---------|---------|-------|------|------|
| S | S | S | S | S |
| M | M | M | M | M |
| B | B | B | B | B |
| M | S | S | S | M |
| B | S | S | S | B |
| S | M | S | S | M |
| S | B | S | S | B |
| S | S | M | S | M |
| S | S | B | S | B |
| S | S | S | M | M |
| S | S | S | B | B |

7. 根据权利要求1所述的一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制方法, 其特征在于, 所述S3的具体实现包括:

S3.1、首先计算需求制动力和电机最大制动力; 根据所述车速v和制动强度z输入得到需求制动力、电机最大制动力矩, 具体为:

$$\frac{dv}{dt} = zg$$

式中: g为重力加速度, v为车速

$$F_N = M \frac{dv}{dt} = Gz$$

$$F_N = F_{\mu 1} + F_{\mu 2}$$

式中: $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力, $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力, G为汽车重力, F_N 为需求制动力, M为汽车质量;

电机最大制动力矩具体为:

$$T_{emax} \begin{cases} \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, \frac{9550P_{Bmax}}{n\eta_b} \right\} & n > n_d \\ \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, T_{max} \right\} & n \leq n_d \end{cases}$$

式中: T_{emax} 为电机最大制动力矩; P_{max} 为电机峰值功率; P_{Bmax} 为电池最大充电功率; T_{max} 为电机峰值扭矩; n为电机转速; n_d 为电机额定转速; η_b 为电池充电效率;

S3.2、分配前后轴需求制动力; 以I曲线为基础确定前后轴制动力分配关系, 具体为:

$$F_{\mu 1} + F_{\mu 2} = \varphi G = F_N$$

$$\frac{F_{\mu 1}}{F_{\mu 2}} = \frac{b + \varphi h_g}{a - \varphi h_g}$$

式中: $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力; $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力; h_g 为质心高度; a为质心到前轴的距离; b为质心到后轴的距离; L为车辆轴距; φ 为路面附着系数; F_N 为需求制动力;

S3.3、计算各轮制动器制动力, 根据制动时车轮的受力分析可得出:

$$I \frac{dw_{ij}}{dt} = F_{g_{ij}} \cdot r - T_{z_{ij}}$$

$$T_{z_{ij}} = T_{\mu_{ij}} + T_{e_{ij}}$$

式中： I 为各轮转动惯量； w_{ij} 为各车轮角速度； $F_{g_{ij}}$ 为各轮地面制动力； $T_{z_{ij}}$ 为作用于车轮的制动力矩； $T_{\mu_{ij}}$ 为各轮制动器制动力； $T_{e_{ij}}$ 为各轮电机制动力； r 为车轮滚动半径；其中 $ij \in (L_1, L_r, r_1, r_r)$ ， L_1 表示左前轮； L_r 表示左后轮； r_1 表示右前轮； r_r 表示右后轮；

当只有液压制动作用时，电机制动力矩为0，当只有电机制动作用时，液压制动力矩为0。液压制动力与电机制动力共同作用时，制动器制动力可由下式计算得出：

$$F_{\mu_{ij}} = \frac{F_{g_{ij}} \cdot r - I \frac{dw_{ij}}{dt} + T_{e_{ij}}}{r}$$

S3.4、根据制动意图进行制动力分配；

当制动意图为轻度制度时，需求制动力全部由电机制动力提供，若仅前轮电机制动力能满足需求制动力，则具体为：

$$F_{e_{L_1}} = \frac{1}{2} F_N$$

$$F_{e_{r_1}} = \frac{1}{2} F_N$$

若前轮电机制动力达不到需求制动力时，则后轮电机介入参与制动，前后电机制动力之和满足需求制动力，则具体为：

$$F_{e_{r_1}} = F_{e_{L_1}} = F_{e_{r_r}} = F_{e_{L_r}} = \frac{1}{4} F_N$$

当制动意图为中度制动时，先让前后轮电机介入，若前后轮电机制动力满足需求制动力，则液压制动力为0，若不满足，液压制动进行补偿，具体为：

$$F_{e_{L_1}} = F_{e_{r_1}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{FI}, \frac{iT_{e_{\max}}}{r} \right)$$

$$F_{e_{L_r}} = F_{e_{r_r}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{RI}, \frac{iT_{e_{\max}}}{r} \right)$$

$$F_{m_{L_1}} = F_{m_{r_1}} = \frac{1}{2} (F_{FI} - F_{e_{L_1}})$$

$$F_{m_{L_r}} = F_{m_{r_r}} = \frac{1}{2} (F_{RI} - F_{e_{r_1}})$$

式中： i 为电机与差速器之间的传动比； F_{FI} 、 F_{RI} 分别为前、后轴按I曲线分配下的制动力；

当制动意图为紧急制动时，由液压制动系统进行单独制动，具体为：

$$F_{e_{L_1}} = F_{e_{r_1}} = F_{e_{L_r}} = F_{e_{r_r}} = 0$$

$$F_{m_{r_1}} = F_{m_{L_1}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{b + zh_g}{L} \right)$$

$$F_{m_{-r}} = F_{m_{-L_r}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{a - zh_g}{L} \right)$$

8. 根据权利要求7所述的一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制方法, 其特征在于, 所述S3.3中, 液压制动对应的条件: 当车速小于5km/h, 速度较小, 电机的发电效率较低; 当电池SOC值大于85%时, 为防止电池过充, 以上两个条件均为液压制动;

其中, 电池SOC值采用安时积分法计算得出, 具体为:

$$SOC = SOC_i - \frac{C}{SOC_Q}$$

$$C = \int \eta I dt$$

式中: SOC_i 为电池初始电量; SOC_Q 为电池储存电量; η 为电池充放电效率; I 为充放电电流;

再生制动过程中充电电流与电机制动力成正比, 具体为:

$$I = \frac{\eta_e T_e}{9550 U_{ec}}$$

式中: η_e 为电机发电效率; T_e 为单个电机制动力矩; U_{ec} 为电池端电压。

9. 一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制系统, 其特征在于, 包括信息采集模块和控制器; 所述信息采集模块和控制器连接以传递信息;

所述信息采集模块包括: 车速传感器、轮速传感器、V2V通信网络设备、制动踏板压力传感器、制动踏板位移传感器; 通过车速传感器获取车速, 轮速传感器获得车辆制动减速度, V2V通信网络设备获得车头时距, 制动踏板位移传感器收集踏板位移变化率以及制动踏板压力传感器收集踏板压力变化率;

所述控制器包括: 上层制动意图识别模块、需求制动力计算模块、以及下层制动力分配模块、再生制动开启模块;

上层制动意图识别模块, 根据信息采集模块提供的信息, 通过模糊控制算法得出制动意图; 具体如下:

将制动踏板压力变化率、车辆减速度、制动踏板位移变化率以及车头时距作为输入变量, 将驾驶员制动意图作为输出变量, 采用模糊控制算法模糊化输入、输出变量, 并基于输入、输出变量的模糊子集制定模糊控制规则; 首先定义踏板压力变化率论域为 $[0, 300]$, 划分 $[0, 80]$, $[40, 210]$, $[150, 300]$, 构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集, 定义踏板位移变化率论域为 $[0, 100]$, 划分为 $[0, 40]$, $[20, 80]$, $[60, 100]$, 构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集, 定义车辆减速度论域为 $[0, 9.8]$, 划分为 $[0, 2.5]$ 、 $[0.5, 7.5]$ 、 $[5, 9.8]$, 构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集, 定义车头时距论域为 $[0, 5]$, 划分为 $[0, 0.6]$ 、 $[0.5, 3]$ 、 $[2.5, 5]$, 构建大(B)、中(M)、小(S)3个模糊子集, 定义制动意图论域为 $[0, 3]$, 划分为 $[0, 1.2]$ 、 $[0, 2.5]$ 、 $[1.8, 3]$, 构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集;

踏板压力变化率、踏板位移变化率、车头时距、车辆减速度均可反应制动意图, 根据制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车辆减速度与制动意图成正比, 车头时距与制动意图成反比的原则, 当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时, 则输出子集为M子集, 即输

出为中度制动;当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应S模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时,则输出子集为S子集,即输出为轻度制动;当制动踏板压力变化率对应B模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时,则输出子集为B子集,即为紧急制动;制定的模糊规则表1所示:

表1

| 踏板压力变化率 | 踏板位移变化率 | 车辆减速度 | 车头时距 | 制动意图 |
|---------|---------|-------|------|------|
| S | S | S | S | S |
| M | M | M | M | M |
| B | B | B | B | B |
| M | S | S | S | M |
| B | S | S | S | B |
| S | M | S | S | M |
| S | B | S | S | B |
| S | S | M | S | M |
| S | S | B | S | B |
| S | S | S | M | M |
| S | S | S | B | B |

所述需求制动力计算模块是用于计算需求制动力和电机最大制动力;具体为:

$$\frac{dv}{dt} = zg$$

式中:g为重力加速度,v为车速

需求制动力具体为:

$$F_N = M \frac{dv}{dt} = Gz$$

$$F_N = F_{\mu 1} + F_{\mu 2}$$

式中: $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力, $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力,G为汽车重力, F_N 为需求制动力,M为汽车质量;

电机最大制动力矩具体为:

$$T_{emax} \begin{cases} \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, \frac{9550P_{Bmax}}{n\eta_b} \right\} & n > n_d \\ \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, T_{max} \right\} & n \leq n_d \end{cases}$$

式中: T_{emax} 为电机最大制动力矩; P_{max} 为电机峰值功率; P_{Bmax} 为电池最大充电功率; T_{max} 为电机峰值扭矩;n为电机转速; n_d 为电机额定转速; η_b 为电池充电效率;

所述下层制动力分配模块,根据制动意图,结合需求制动力和电机最大制动力,制定前后轴制动力分配策略;具体如下:

车辆在制动时,其方向稳定性和附着条件在前后轮同时抱死的情况下容易被较好的利

用,无论附着系数为何值,如果在前后轮都同时抱死时,前后轮的附着力都与各自的附着力是相等的,并且前、后轮制动力总和与地面附着力是相等的,以I曲线为基础确定前后轴制动力分配关系,具体为:

$$F_{\mu 1} + F_{\mu 2} = \varphi G = F_N$$

$$\frac{F_{\mu 1}}{F_{\mu 2}} = \frac{b + \varphi h_g}{a - \varphi h_g}$$

式中: $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力; $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力; h_g 为质心高度; a 为质心到前轴的距离; b 为质心到后轴的距离; L 为车辆轴距; φ 为路面附着系数; F_N 为需求制动力;

计算各轮制动器制动力,根据制动时车轮的受力分析可得出:

$$I \frac{dw_{ij}}{dt} = F_{g_{ij}} \cdot r - T_{Z_{ij}}$$

$$T_{Z_{ij}} = T_{\mu_{ij}} + T_{e_{ij}}$$

式中: I 为各轮转动惯量; w_{ij} 为各车轮角速度; $F_{g_{ij}}$ 为各轮地面制动力; $T_{Z_{ij}}$ 为作用于车轮的制动力矩; $T_{\mu_{ij}}$ 为各轮制动器制动力; $T_{e_{ij}}$ 为各轮电机制动力; r 为车轮滚动半径;其中 $ij \in (L_1, L_r, r_1, r_r)$, L_1 表示左前轮; L_r 表示左后轮; r_1 表示右前轮; r_r 表示右后轮;

当只有液压制动作用时,电机制动力矩为0,当只有电机制动作用时,液压制动力矩为0。液压制动力与电机制动力共同作用时,制动器制动力可由下式计算得出:

$$F_{\mu_{ij}} = \frac{F_{g_{ij}} \cdot r - I \frac{dw_{ij}}{dt} + T_{e_{ij}}}{r}$$

判断电机制动是否满足条件:当车速小于5km/h,速度较小,电机的发电效率较低;当电池SOC值大于85%时,为防止电池过充,以上两个条件均为液压制动,

其中电池SOC值采用安时积分法计算得出,具体为:

$$SOC = SOC_i - \frac{C}{SOC_Q}$$

$$C = \int \eta I dt$$

式中: SOC_i 为电池初始电量; SOC_Q 为电池储存电量; η 为电池充放电效率; I 为充放电电流;

再生制动过程中充电电流与电机制动力成正比,具体为:

$$I = \frac{\eta_e T_e}{9550 U_{ec}}$$

式中: η_e 为电机发电效率, T_e 为单个电机制动力矩, U_{ec} 为电池端电压;

满足电机制动的条件为:车速大于5km/h,电池SOC值小于85%,此时:

当制动意图为轻度制动时,需求制动力全部由电机制动力提供,若仅前轮电机制动力便可满足需求制动力,则具体为:

$$F_{e_{L_1}} = \frac{1}{2} F_N$$

$$F_{e_{-r_1}} = \frac{1}{2} F_N$$

若前轮电机制动力达不到需求制动力时,则后轮电机介入参与制动,前后电机制动力之和满足需求制动力,则具体为:

$$F_{e_{-r_1}} = F_{e_{-L_1}} = F_{e_{-r_r}} = F_{e_{-L_r}} = \frac{1}{4} F_N$$

当制动意图为中度制动时,先让前后轮电机介入,若前后轮电机制动力满足需求制动力,则液压制动力为0,若不满足,液压制动进行补偿,具体为:

$$F_{e_{-L_1}} = F_{e_{-r_1}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{FI}, \frac{iT_{e_{\max}}}{r} \right)$$

$$F_{e_{-L_r}} = F_{e_{-r_r}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{RI}, \frac{iT_{e_{\max}}}{r} \right)$$

$$F_{m_{-L_1}} = F_{m_{-r_1}} = \frac{1}{2} (F_{F_i} - F_{e_{-L_1}})$$

$$F_{m_{-L_r}} = F_{m_{-r_r}} = \frac{1}{2} (F_{R_i} - F_{e_{-r_1}})$$

式中: i 为电机与差速器之间的传动比; F_{FI} 、 F_{RI} 分别为前、后轴按I曲线分配下的制动力;当制动意图为紧急制动时,此时由液压制动系统进行单独制动,前、后轴液压制动力沿理想制动力分配曲线进行分配,具体为:

$$F_{e_{-L_1}} = F_{e_{-r_1}} = F_{e_{-L_r}} = F_{e_{-r_r}} = 0$$

$$F_{m_{-r_1}} = F_{m_{-L_1}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{b + zh_g}{L} \right)$$

$$F_{m_{-r_r}} = F_{m_{-L_r}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{a - zh_g}{L} \right)$$

10. 根据权利要求9所述的一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制系统,其特征在于,还包括再生制动开启模块、电机模块、电池模块;

所述再生制动开启模块是依据电池SOC值和车速的大小来判断是否开启电机制动;

所述电机模块在再生制动模式下,将车辆动能转换为电能;

所述电池模块用于储存制动过程中的电能,实现再生制动。

一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及新能源汽车领域,尤其涉及一种基于V2V通信网络电动汽车的制动能量回收分层控制系统及方法。本发明旨在提高电动汽车的能量利用率,提升电动汽车续航里程。

背景技术

[0002] 目前能源短缺与环境污染问题日益凸显,发展新能源汽车成为缓解能源与环境危机的理想方式之一。电动汽车是新能源汽车的一种,其驱动装置是驱动电机,因消耗的是电能,从很大程度上保护了环境。相比于传统汽车发动机,驱动电机还具备线性加速快,噪声小的特点。V2V是一种网状网络,网络中的节点(汽车、智能交通灯等)可以发射、捕获并转发信号,具备V2V通信网络的汽车可以实时获得道路其他车辆信息以及道路交通信息。虽然目前电动车的快充能力得到较大发展,但电动汽车受到电池的限制,人们在考虑购买电动车时,仍然有着续航里程的焦虑。所以在现有的电池电量的基础上,最大可能的提高能量利用率,提高续航里程是十分必要的。

[0003] 近年来,制动过程中的能量回收技术逐渐出现在大家的视野中。制动过程中的能量回收又称之为再生制动,再生制动发生在电动车减速制动的时候,或者在下长坡的过程中。利用电机的可逆状态,让电机运行在发电模式,在整车控制器的作用下调节电机侧的电压,这样发出的电量能够流向电压侧,进而回收并储存在蓄电池里,从而充分发挥蓄电池电能的利用率,提高电动汽车的续驶里程。

[0004] 再生制动一般是在制动踏板下压或者油门踏板从下压位置松开时进行控制,制动力是在这种分离过程或者释放过程相结合中产生的。由于电动汽车的线控制动系统的特点,对驾驶员制动意图的准确识别甚至预测,有助于进行再生制动系统的制动力分配,对保证电动汽车的制动安全性,提高能量利用率有着重要作用。

发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的不足,本发明提供了一种基于V2V通信网络电动汽车的制动能量回收分层控制策略及方法,以解决现有技术中制动意图识别准确度低的问题。本发明通过制动踏板位移变化率、制动踏板压力变化率、车辆制动减速度进行制动意图识别的同时,又通过V2V通信设备获得实时车头时距,从而进行更精准的制动意图判别。依据不同的制动意图并结合制动的安全性,将前后轴电机制动力和液压制动进行合理分配,从而实现制动能量回收,提高能量利用率。本发明的再生制动分配策略是在对制动意图的识别之后,在保证车辆不抱死的情况下,并基于电机最大制动力和需求制动力,对前左轮、前右轮、后左轮、后右轮的电机制动力和液压制动力进行分配。

[0006] 本发明是通过以下技术手段实现上述技术目的。

[0007] 一种基于V2V通信网络电动汽车制动能量回收分层控制方法,包括:

[0008] 步骤一、实时采集本车信息和道路交通信息:实时采集制动踏板位移变化率、制动踏板压力变化率、车辆制动减速度以及车头时距。

[0009] 步骤二、制动意图识别:将步骤一获得的制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车辆制动减速度以及车头时距作为模糊控制器的输入,其输出为制动意图。

[0010] 步骤三、电机制动力与液压制动力的分配:依据制动意图,基于电机最大制动力和需求制动力,对左前轮、右前轮、左后轮、右后轮电机制动力和液压制动力进行分配。

[0011] 进一步地,所述步骤一信息采集包括以下过程:

[0012] 通过轮速传感器收集车辆制动减速度、V2V通信网络获得车头时距、制动踏板位移传感器收集踏板位移变化率以及制动踏板压力传感器收集踏板压力变化率。其中V2V通信网络原理为:首先是车载自动诊断系统(On-Board Diagnostics车载OBD)获取自身位置、速度等信息并组装BSM(Business Service Management)消息,然后车载OBD将BSM消息通过PC5端口进行广播,其它车辆的车载OBD通过PC5接收周围其它车辆的BSM信息并解析出其它车辆的位置、状态、类型等信息,本发明中的车头时距正是通过车与车之间的相对位置而获取。原理如图2所示。

[0013] 进一步地,所述步骤二具体包括以下过程:

[0014] 将制动踏板压力变化率、车辆减速度、制动踏板位移变化率以及车头时距作为驾驶员制动意图识别控制器的输入变量,将驾驶员制动意图作为驾驶员制动意图识别控制器的输出变量,将模糊控制算法作为驾驶员制动意图识别控制器的识别算法。模糊化制动意图识别的输入、输出变量,并基于输入、输出变量的模糊子集制定模糊控制规则。首先定义踏板压力变化率论域为 $[0, 300]$,划分为 $[0, 80]$, $[40, 210]$, $[150, 300]$,构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图3所示。定义踏板位移变化率论域为 $[0, 100]$,划分为 $[0, 40]$, $[20, 80]$, $[60, 100]$,构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图4所示。定义车辆减速度论域为 $[0, 9.8]$,划分为 $[0, 2.5]$ 、 $[0.5, 7.5]$ 、 $[5, 9.8]$,构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图5所示。定义车头时距论域为 $[0, 5]$,划分为 $[0, 0.6]$ 、 $[0.5, 3]$ 、 $[2.5, 5]$,构建大(B)、中(M)、小(S)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图6所示。定义制动意图论域为 $[0, 3]$,划分为 $[0, 1.2]$ 、 $[0, 2.5]$ 、 $[1.8, 3]$,构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图7所示。

[0015] 踏板压力变化率、踏板位移变化率、车头时距、车辆减速度均可反应制动意图,根据制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车辆减速度与制动意图成正比,车头时距与制动意图成反比的原则,当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时,则输出子集为M子集,即输出为中度制动。当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应S模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时,则输出子集为S子集,即输出为轻度制动。当制动踏板压力变化率对应B模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时,则输出子集为B子集,即为紧急制动。其中输出的制动意图受制动踏板压力变化率以及制动踏板位移变化率的影响较大。制定的模糊规则如表1所示。

[0016] 表1模糊逻辑推理规则

| | 踏板压力变化率 | 踏板位移变化率 | 车辆减速度 | 车头时距 | 制动意图 |
|--------|---------|---------|-------|------|------|
| | S | S | S | S | S |
| | M | M | M | M | M |
| | B | B | B | B | B |
| | M | S | S | S | M |
| [0017] | B | S | S | S | B |
| | S | M | S | S | M |
| | S | B | S | S | B |
| | S | S | M | S | M |
| | S | S | B | S | B |
| | S | S | S | M | M |
| | S | S | S | B | B |

[0018] 进一步地,所述步骤三的实现包括以下过程:

[0019] 依据制动意图进行制动等级识别,分为轻度制动,中度制动以及紧急制动,然后对应不同的制动等级进行不同电、液制动力分配。轻度制动,此时速度较低,制动力完全由电机制动力提供。中度制动,此时按照I曲线进行分配前后轴电液制动力。紧急制动,此时为了保证车辆安全,再生制动并不介入,即纯液压制动。

[0020] 首先计算需求制动力和电机最大制动力,在制动开始时,根据车速传感器采集车速 v ,然后由车速 v 和制动强度 z 得到需求制动力,其中制动强度 z 由下式获得:

$$[0021] \quad \frac{dv}{dt} = zg$$

[0022] 式中: g 为重力加速度, v 为车速

[0023] 需求制动力具体为:

$$[0024] \quad F_N = M \frac{dv}{dt} = Gz$$

$$[0025] \quad F_N = F_{\mu 1} + F_{\mu 2}$$

[0026] 式中: $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力, $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力, G 为汽车重力, F_N 为需求制动力, M 为汽车质量;

[0027] 电机最大制动力矩具体为:

$$[0028] \quad T_{emax} \begin{cases} \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, \frac{9550P_{Bmax}}{n\eta_b} \right\} & n > n_d \\ \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, T_{max} \right\} & n \leq n_d \end{cases}$$

[0029] 式中: T_{emax} 为电机最大制动力矩; P_{max} 为电机峰值功率; P_{Bmax} 为电池最大充电功率; T_{max} 为电机峰值扭矩; n 为电机转速; n_d 为电机额定转速; η_b 为电池充电效率;

[0030] 其次分配前后轴需求制动力,车辆在制动时,其方向稳定性和附着条件在前后轮同时抱死的情况下容易被较好的利用,无论附着系数为何值,如果在前后轮都同时抱死时,前后轮的附着力都与各自的附着力是相等的,并且前、后轮制动力总和与地面附着力是相

等的,所以本发明是以I曲线为基础确定前后轴制动力分配关系,具体为:

$$[0031] \quad F_{\mu 1} + F_{\mu 2} = \varphi G = F_N$$

$$[0032] \quad \frac{F_{\mu 1}}{F_{\mu 2}} = \frac{b + \varphi h_g}{a - \varphi h_g}$$

[0033] 式中: $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力; $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力; h_g 为质心高度; a 为质心到前轴的距离; b 为质心到后轴的距离; L 为车辆轴距; φ 为路面附着系数; F_N 为需求制动力;

[0034] 再次计算各轮制动器制动力,根据制动时车轮的受力分析可得出:

$$[0035] \quad I \frac{dw_{ij}}{dt} = F_{g_{ij}} \cdot r - T_{Z_{ij}}$$

$$[0036] \quad T_{Z_{ij}} = T_{\mu_{ij}} + T_{e_{ij}}$$

[0037] 式中: I 为各轮转动惯量; w_{ij} 为各车轮角速度; $F_{g_{ij}}$ 为各轮地面制动力; $T_{Z_{ij}}$ 为作用于车轮的制动力矩; $T_{\mu_{ij}}$ 为各轮制动器制动力; $T_{e_{ij}}$ 为各轮电机制动力; r 为车轮滚动半径;其中 $ij \in (L_l, L_r, r_l, r_r)$, L_l 表示左前轮; L_r 表示左后轮; r_l 表示右前轮; r_r 表示右后轮。

[0038] 当只有液压制动作用时,电机制动力矩为0,当只有电机制动作用时,液压制动力矩为0。液压制动力与电机制动力共同作用时,制动器制动力可由下式计算得出:

$$[0039] \quad F_{\mu_{ij}} = \frac{F_{g_{ij}} \cdot r - I \frac{dw_{ij}}{dt} + T_{e_{ij}}}{r}$$

[0040] 进一步地,判断电机制动是否满足条件:当车速小于5km/h,速度较小,电机的发电效率较低;当电池SOC值大于85%时,为防止电池过充,以上两个条件均为液压制动。电池SOC值采用安时积分法计算得出,具体为:

$$[0041] \quad SOC = SOC_i - \frac{C}{SOC_Q}$$

$$[0042] \quad C = \int \eta I dt$$

[0043] 式中: SOC_i 为电池初始电量; SOC_Q 为电池储存电量; η 为电池充放电效率; I 为充放电电流;

[0044] 再生制动过程中充电电流与电机制动力成正比,具体为:

$$[0045] \quad I = \frac{\eta_e T_e}{9550 U_{ec}}$$

[0046] 式中: η_e 为电机发电效率; T_e 为单个电机制动力矩; U_{ec} 为电池端电压;

[0047] 进一步地,满足电机制动的条件为:车速大于5km/h,电池SOC值小于85%,根据制动意图,前后轴的电机制动力和液压制动力与需求制动力的分配策略如图8所示。

[0048] 为提高制动能量回收效率,当前轮电机制动力能够满足制动所需的制动力时,仅由前轮电机进行制动,若不足时,前,后轮电机同时进行,若前,后轮电机制动力之和仍不满足需求制动力,此时液压制动力介入进行补偿。其中 $F_{e_{Ll}}$ 为左前轮电机制动力; $F_{e_{rl}}$ 右前轮电机制动力; $F_{e_{Lr}}$ 为左后轮电机制动力; $F_{e_{rr}}$ 为右后轮电机制动力; $F_{m_{Ll}}$ 为左前轮液压制动力; $F_{m_{rl}}$ 右前轮液压制动力; $F_{m_{Lr}}$ 为左后轮液压制动力; $F_{m_{rr}}$ 为右后轮液压制动力;

[0049] 当制动意图为轻度制动时,需求制动力全部由电机制动力提供。若仅前轮电机制动力便可满足需求制动力,则具体为:

$$[0050] \quad F_{e_{-L_1}} = \frac{1}{2} F_N$$

$$[0051] \quad F_{e_{-r_1}} = \frac{1}{2} F_N$$

[0052] 若前轮电机制动力达不到需求制动力时,则后轮电机介入参与制动,前后电机制动力之和满足需求制动力,则具体为:

$$[0053] \quad F_{e_{-r_1}} = F_{e_{-L_1}} = F_{e_{-r_r}} = F_{e_{-L_r}} = \frac{1}{4} F_N$$

[0054] 当制动意图为中度制动时,为了提高制动能量回收效率,先让前后轮电机介入,若前后轮电机制动力满足需求制动力,则液压制动力为0,具体分配策略与轻度制动的第二种情况相同,若不满足,液压制动进行补偿,具体为:

$$[0055] \quad F_{e_{-L_1}} = F_{e_{-r_1}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{F_l}, \frac{i T_{e_{\max}}}{r} \right)$$

$$[0056] \quad F_{e_{-L_r}} = F_{e_{-r_r}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{R_l}, \frac{i T_{e_{\max}}}{r} \right)$$

$$[0057] \quad F_{m_{-L_1}} = F_{m_{-r_1}} = \frac{1}{2} (F_{F_l} - F_{e_{-L_1}})$$

$$[0058] \quad F_{m_{-L_r}} = F_{m_{-r_r}} = \frac{1}{2} (F_{R_l} - F_{e_{-r_1}})$$

[0059] 式中: i 为电机与差速器之间的传动比; F_{F_l} 、 F_{R_l} 分别为前、后轴按I曲线分配下的制动力;

[0060] 当制动意图为紧急制动时,为确保制动安全,可以及时刹车,此时应由液压制动系统进行单独制动,前、后轴液压制动力沿理想制动力分配曲线进行分配,具体为:

$$[0061] \quad F_{e_{-L_1}} = F_{e_{-r_1}} = F_{e_{-L_r}} = F_{e_{-r_r}} = 0$$

$$[0062] \quad F_{m_{-r_1}} = F_{m_{-L_1}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{b + zh_g}{L} \right)$$

$$[0063] \quad F_{m_{-r_r}} = F_{m_{-L_r}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{a - zh_g}{L} \right)$$

[0064] 一种基于V2V通信网络电动汽车的制动能量回收分层控制系统包括,信息采集模块、控制器、电机模块、电池模块;所述信息采集模块、电机模块和电池模块均和控制器连接以传递信息;

[0065] 所述信息采集模块包括:车速传感器、轮速传感器、V2V通信网络设备、制动踏板压力传感器、制动踏板位移传感器;通过车速传感器获取车速,轮速传感器获得车辆制动减速度,V2V通信网络设备获得车头时距,制动踏板位移传感器收集踏板位移变化率以及制动踏

板压力传感器收集踏板压力变化率。

[0066] 所述控制器包括：上层制动意图识别模块、需求制动力计算模块、以及下层制动力分配模块、再生制动开启模块；

[0067] 上层制动意图识别模块，根据信息采集模块提供的信息，通过模糊控制算法得出制动意图；具体如下：

[0068] 将制动踏板压力变化率、车辆减速度、制动踏板位移变化率以及车头时距作为驾驶员制动意图识别控制器的输入变量，将驾驶员制动意图作为驾驶员制动意图识别控制器的输出变量，将模糊控制算法作为驾驶员制动意图识别控制器的识别算法。模糊化制动意图识别的输入、输出变量，并基于输入、输出变量的模糊子集制定模糊控制规则。首先定义踏板压力变化率论域为 $[0, 300]$ ，划分为 $[0, 80]$ ， $[40, 210]$ ， $[150, 300]$ ，构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集，对应的隶属度函数曲线如图3所示。定义踏板位移变化率论域为 $[0, 100]$ ，划分为 $[0, 40]$ ， $[20, 80]$ ， $[60, 100]$ ，构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集，对应的隶属度函数曲线如图4所示。定义车辆减速度论域为 $[0, 9.8]$ ，划分为 $[0, 2.5]$ 、 $[0.5, 7.5]$ 、 $[5, 9.8]$ ，构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集，对应的隶属度函数曲线如图5所示。定义车头时距论域为 $[0, 5]$ ，划分为 $[0, 0.6]$ 、 $[0.5, 3]$ 、 $[2.5, 5]$ ，构建大(B)、中(M)、小(S)3个模糊子集，对应的隶属度函数曲线如图6所示。定义制动意图论域为 $[0, 3]$ ，划分为 $[0, 1.2]$ 、 $[0, 2.5]$ 、 $[1.8, 3]$ ，构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集，对应的隶属度函数曲线如图7所示。

[0069] 踏板压力变化率、踏板位移变化率、车头时距、车辆减速度均可反应制动意图，根据制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车辆减速度与制动意图成正比，车头时距与制动意图成反比的原则，当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时，则输出子集为M子集，即输出为中度制动。当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应S模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时，则输出子集为S子集，即输出为轻度制动。当制动踏板压力变化率对应B模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时，则输出子集为B子集，即为紧急制动。其中输出的制动意图受制动踏板压力变化率以及制动踏板位移变化率的影响较大。制定的模糊规则如上面表1所示。

[0070] 所述需求制动力计算模块是用于计算需求制动力和电机最大制动力；具体为：

$$[0071] \quad \frac{dv}{dt} = zg$$

[0072] 式中： g 为重力加速度， v 为车速

[0073] 需求制动力具体为：

$$[0074] \quad F_N = M \frac{dv}{dt} = Gz$$

$$[0075] \quad F_N = F_{\mu 1} + F_{\mu 2}$$

[0076] 式中： $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力， $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力， G 为汽车重力， F_N 为需求制动力， M 为汽车质量；

[0077] 电机最大制动力矩具体为：

$$[0078] \quad T_{emax} \begin{cases} \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, \frac{9550P_{Bmax}}{n\eta_b} \right\} & n > n_d \\ \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, T_{max} \right\} & n \leq n_d \end{cases}$$

[0079] 式中： T_{emax} 为电机最大制动力矩； P_{max} 为电机峰值功率； P_{Bmax} 为电池最大充电功率； T_{max} 为电机峰值扭矩； n 为电机转速； n_d 为电机额定转速； η_b 为电池充电效率。

[0080] 所述下层制动力分配模块，根据制动意图，结合需求制动力和电机最大制动力，制定前后轴制动力分配策略；具体如下：

[0081] 车辆在制动时，其方向稳定性和附着条件在前后轮同时抱死的情况下容易被较好的利用，无论附着系数为何值，如果在前后轮都同时抱死时，前后轮的附着力都与各自的附着力是相等的，并且前、后轮制动力总和与地面附着力是相等的，所以本发明是以I曲线为基础确定前后轴制动力分配关系，具体为：

$$[0082] \quad F_{\mu 1} + F_{\mu 2} = \varphi G = F_N$$

$$[0083] \quad \frac{F_{\mu 1}}{F_{\mu 2}} = \frac{b + \varphi h_g}{a - \varphi h_g}$$

[0084] 式中： $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力； $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力； h_g 为质心高度； a 为质心到前轴的距离； b 为质心到后轴的距离； L 为车辆轴距； φ 为路面附着系数； F_N 为需求制动力；

[0085] 再次计算各轮制动器制动力，根据制动时车轮的受力分析可得出：

$$[0086] \quad I \frac{dw_{ij}}{dt} = F_{g_{ij}} \cdot r - T_{z_{ij}}$$

$$[0087] \quad T_{z_{ij}} = T_{\mu_{ij}} + T_{e_{ij}}$$

[0088] 式中： I 为各轮转动惯量； w_{ij} 为各车轮角速度； $F_{g_{ij}}$ 为各轮地面制动力； $T_{z_{ij}}$ 为作用于车轮的制动力矩； $T_{\mu_{ij}}$ 为各轮制动器制动力； $T_{e_{ij}}$ 为各轮电机制动力； r 为车轮滚动半径；其中 $ij \in (L_1, L_r, r_1, r_r)$ ， L_1 表示左前轮； L_r 表示左后轮； r_1 表示右前轮； r_r 表示右后轮。

[0089] 当只有液压制动作用时，电机制动力矩为0，当只有电机制动作用时，液压制动力矩为0。液压制动力与电机制动力共同作用时，制动器制动力可由下式计算得出：

$$[0090] \quad F_{\mu_{ij}} = \frac{F_{g_{ij}} \cdot r - I \frac{dw_{ij}}{dt} + T_{e_{ij}}}{r}$$

[0091] 进一步地，判断电机制动是否满足条件：当车速小于5km/h，速度较小，电机的发电效率较低；当电池SOC值大于85%时，为防止电池过充，以上两个条件均为液压制动。电池SOC值采用安时积分法计算得出，具体为：

$$[0092] \quad SOC = SOC_i - \frac{C}{SOC_Q}$$

$$[0093] \quad C = \int \eta I dt$$

[0094] 式中： SOC_i 为电池初始电量； SOC_Q 为电池储存电量； η 为电池充放电效率； I 为充放电电流；

[0095] 再生制动过程中充电电流与电机制动力成正比,具体为:

$$[0096] \quad I = \frac{\eta_e T_e}{9550 U_{ec}}$$

[0097] 式中: η_e 为电机发电效率; T_e 为单个电机制动力矩; U_{ec} 为电池端电压;

[0098] 进一步地,满足电机制动的条件为:车速大于5km/h,电池SOC值小于85%,根据制动意图,前后轴的电机制动力和液压制动力与需求制动力的分配策略如图8所示。

[0099] 为提高制动能量回收效率,当前轮电机制动力能够满足制动所需的制动力时,仅由前轮电机进行制动,若不足时,前,后轮电机同时进行,若前,后轮电机制动力之和仍不满足需求制动力,此时液压制动力介入进行补偿。其中 $F_{e_{L1}}$ 为左前轮电机制动力; $F_{e_{r1}}$ 右前轮电机制动力; $F_{e_{Lr}}$ 为左后轮电机制动力; $F_{e_{rr}}$ 为右后轮电机制动力; $F_{m_{L1}}$ 为左前轮液压制动力; $F_{m_{r1}}$ 右前轮液压制动力; $F_{m_{Lr}}$ 为左后轮液压制动力; $F_{m_{rr}}$ 为右后轮液压制动力;

[0100] 当制动意图为轻度制动时,需求制动力全部由电机制动力提供。若仅前轮电机制动力便可满足需求制动力,则具体为:

$$[0101] \quad F_{e_{L1}} = \frac{1}{2} F_N$$

$$[0102] \quad F_{e_{r1}} = \frac{1}{2} F_N$$

[0103] 若前轮电机制动力达不到需求制动力时,则后轮电机介入参与制动,前后电机制动力之和满足需求制动力,则具体为:

$$[0104] \quad F_{e_{r1}} = F_{e_{L1}} = F_{e_{Lr}} = F_{e_{rr}} = \frac{1}{4} F_N$$

[0105] 当制动意图为中度制动时,为了提高制动能量回收效率,先让前后轮电机介入,若前后轮电机制动力满足需求制动力,则液压制动力为0,具体分配策略与轻度制动的第二种情况相同,若不满足,液压制动力进行补偿,具体为:

$$[0106] \quad F_{e_{L1}} = F_{e_{r1}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{F1}, \frac{i T_{e_{max}}}{r} \right)$$

$$[0107] \quad F_{e_{Lr}} = F_{e_{rr}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{R1}, \frac{i T_{e_{max}}}{r} \right)$$

$$[0108] \quad F_{m_{L1}} = F_{m_{r1}} = \frac{1}{2} (F_{F1} - F_{e_{L1}})$$

$$[0109] \quad F_{m_{Lr}} = F_{m_{rr}} = \frac{1}{2} (F_{R1} - F_{e_{r1}})$$

[0110] 式中: i 为电机与差速器之间的传动比; F_{F1} 、 F_{R1} 分别为前、后轴按I曲线分配下的制动力;

[0111] 当制动意图为紧急制动时,为确保制动安全,可以及时刹车,此时应由液压制动力系

统进行单独制动,前、后轴液压制动力沿理想制动力分配曲线进行分配,具体为:

$$[0112] \quad F_{e_{L_1}} = F_{e_{r_1}} = F_{e_{L_r}} = F_{e_{r_r}} = 0$$

$$[0113] \quad F_{m_{r_1}} = F_{m_{L_1}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{b + zh_g}{L} \right)$$

$$[0114] \quad F_{m_{r_r}} = F_{m_{L_r}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{a - zh_g}{L} \right)。$$

[0115] 所述再生制动开启模块是依据电池SOC值和车速的大小来判断是否开启电机制动;

[0116] 所述电机模块在再生制动模式下,将车辆动能转换为电能;

[0117] 所述电池模块用于储存制动过程中的电能,从而实现再生制动。

[0118]

[0119] 本发明的有益效果:

[0120] 1、本发明所述的一种基于V2V通信网络电动汽车的制动能量回收分层控制系统及方法,通过将车头时距、踏板压力变化率、踏板位移变化率、车辆制动减速度作为模糊控制器的输入量,并定义相对应的模糊子集和模糊规则,输出量为轻度制动、中度制动和紧急制动,三种制动意图,考虑了车头时距对制动的影 响,提高了制动意图识别的准确度。

[0121] 2、本发明所述的电动汽车制动能量回收分层控制系统及方法,根据制动稳定性的要求,结合I曲线,合理分配前左、前右、后左、后右轮的电机制动力与液压制动力,能够有效缩小左右两侧车轮地面制动力的差值,减小车辆横摆力矩,有效提高车辆的制动性以及稳定性。

[0122] 3、本发明所提出的制动能量回收分配策略,合理考虑再生制动介入条件,充分利用电机制动力,提高了再生制动的能量回收效率,增加了电动汽车续航里程。

附图说明

[0123] 图1为本发明策略整体分布示意图;

[0124] 图2为本发明V2V通信网络原理示意图;

[0125] 图3为制动踏板压力变化率隶属度函数曲线;

[0126] 图4为制动踏板位移变化率隶属度函数曲线;

[0127] 图5为车辆减速度隶属度函数曲线;

[0128] 图6为车头时距隶属度函数曲线;

[0129] 图7为制动意图隶属度函数曲线;

[0130] 图8为本发明制动能量回收控制策略流程图

具体实施方式

[0131] 下面结合附图对本发明作进一步说明。

[0132] 如图1所示,一种基于V2V通信网络电动汽车的制动能量回收分层控制系统主要是通过上层制动意图识别层和下层制动力分配层构成,上层是通过V2V通信网络设备、制动踏板压力传感器、制动踏板位移传感器以及轮速传感器分别获取车头时距、压力变化率、位移

变化率以及车辆减速度,然后将其作为模糊控制器的输入变量从而输出制动意图。而下层制动力分配层依据制动意图,合理分配前左、前右、后左、后右的液压制动力以及电机制动力,从而实现制动过程中的能量回收,提升电动车续航里程。

[0133] 一种基于V2V通信网络电动汽车的制动能量回收分层控制方法包含以下步骤。

[0134] 步骤一、实时采集本车信息和道路交通信息:实时采集制动踏板位移变化率、制动踏板压力变化率、车辆制动减速度以及车头时距。

[0135] 步骤二、制动意图识别:将步骤一获得的制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车辆制动减速度以及车头时距作为模糊控制器的输入,其输出为制动意图,其中上层制动意图识别层是通过车速传感器收集车辆制动减速度、V2V通信网络设备获得车头时距、制动踏板位移传感器收集踏板位移变化率以及制动踏板压力传感器收集踏板压力变化率。

[0136] 步骤三、电机制动力与液压制动力的分配:下层电液制动力分配层依据上层制动意图识别层输出的制动意图,并基于电机最大制动力和需求制动力,对左前轮、右前轮、左后轮、右后轮电机制动力和液压制动力进行分配。

[0137] 进一步地,所述步骤一信息采集包括以下过程:

[0138] 通过轮速传感器收集车辆制动减速度、V2V通信网络获得车头时距、制动踏板位移传感器收集踏板位移变化率以及制动踏板压力传感器收集踏板压力变化率。其中V2V通信网络原理为:首先是车载自动诊断系统(On-Board Diagnostics车载OBD)获取自身位置、速度等信息并组装BSM(Business Service Management)消息,然后车载OBD将BSM消息通过PC5端口进行广播,其它车辆的车载OBD通过PC5接收周围其它车辆的BSM信息并解析出其它车辆的位置、状态、类型等信息,本发明中的车头时距正是通过车与车之间的相对位置而获取。原理图如图2所示。

[0139] 进一步地,所述步骤二上层制动意图识别层包括以下过程:

[0140] 将制动踏板压力变化率、车辆减速度、制动踏板位移变化率以及车头时距作为驾驶员制动意图识别控制器的输入变量,将驾驶员制动意图作为驾驶员制动意图识别控制器的输出变量,将模糊控制算法作为驾驶员制动意图识别控制器的识别算法。模糊化制动意图识别的输入、输出变量,并基于输入、输出变量的模糊子集制定模糊控制规则。首先定义踏板压力变化率论域为 $[0, 300]$,划分为 $[0, 80]$, $[40, 210]$, $[150, 300]$,构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图3所示。定义踏板位移变化率论域为 $[0, 100]$,划分为 $[0, 40]$, $[20, 80]$, $[60, 100]$,构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图4所示。定义车辆减速度论域为 $[0, 9.8]$,划分为 $[0, 2.5]$ 、 $[0.5, 7.5]$ 、 $[5, 9.8]$,构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图5所示。定义车头时距论域为 $[0, 5]$,划分为 $[0, 0.6]$ 、 $[0.5, 3]$ 、 $[2.5, 5]$,构建大(B)、中(M)、小(S)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图6所示。定义制动意图论域为 $[0, 3]$,划分为 $[0, 1.2]$ 、 $[0, 2.5]$ 、 $[1.8, 3]$,构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集,对应的隶属度函数曲线如图7所示。

[0141] 制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车头时距、车辆减速度均可反应制动意图,根据制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车辆减速度与制动意图成正比,车头时距与制动意图成反比的原则,制定的模糊规则如表1所示

[0142] 进一步地,所述步骤三下层电液制动力分配层包括以下过程:

[0143] 下层电液制动力分配层依据上层制动意图识别层得出的制动意图,进行识别,分

为轻度制动,中度制动以及紧急制动,然后对应不同的制动意图进行不同电液制动力分配。轻度制动,此时速度较低,制动力完全由电机制动力提供。中度制动,此时按照I曲线进行分配前后轴电液制动力。紧急制动,此时为了保证车辆安全,再生制动并不介入,即纯液压制动。

[0144] 首先计算需求制动力和电机最大制动力,在制动开始时,根据车速传感器采集车速 v ,将车速 v 和制动强度 z 输入制动力计算模块中得到需求制动力、电机最大制动力矩受电机峰值扭矩和动力电池的SOC值影响;

[0145] 进一步,所述车速 v 和制动强度 z 输入制动力计算模块中得到需求制动力、电机最大制动力矩受电机峰值扭矩和动力电池的SOC值,具体为:

$$[0146] \quad \frac{dv}{dt} = zg$$

[0147] 式中: g 为重力加速度, v 为车速

[0148] 需求制动力具体为:

$$[0149] \quad F_N = M \frac{dv}{dt} = Gz$$

$$[0150] \quad F_N = F_{\mu 1} + F_{\mu 2}$$

[0151] 式中: $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力, $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力, G 为汽车重力, F_N 为需求制动力, M 为汽车质量;

$$[0152] \quad T_{emax} \begin{cases} \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, \frac{9550P_{Bmax}}{n\eta_b} \right\} & n > n_d \\ \min \left\{ \frac{9550P_{max}}{n}, T_{max} \right\} & n \leq n_d \end{cases}$$

[0153] 式中: T_{emax} 为电机最大制动力矩; P_{max} 为电机峰值功率; P_{Bmax} 为电池最大充电功率; T_{max} 为电机峰值扭矩; n 为电机转速; n_d 为电机额定转速; η_b 为电池充电效率;

[0154] 车辆在制动时,其方向稳定性和附着条件在前后轮同时抱死的情况下容易被较好的利用,无论附着系数为何值,如果在前后轮都同时抱死时,前后轮的附着力都与各自的附着力是相等的,并且前,后轮制动力总和与地面附着力是相等的,所以本发明是以I曲线为基础确定前后轴制动力分配关系,具体为:

$$[0155] \quad F_{\mu 1} + F_{\mu 2} = \varphi G = F_N$$

$$[0156] \quad \frac{F_{\mu 1}}{F_{\mu 2}} = \frac{b + \varphi h_g}{a - \varphi h_g}$$

[0157] 式中: $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力; $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力; h_g 为质心高度; a 为质心到前轴的距离; b 为质心到后轴的距离; L 为车辆轴距; φ 为路面附着系数; F_N 为需求制动力;

[0158] 再次计算各轮制动器制动力,根据制动时车轮的受力分析可得出:

$$[0159] \quad I \frac{dw_{ij}}{dt} = F_{g_ij} \cdot r - T_{z_ij}$$

$$[0160] \quad T_{z_ij} = T_{\mu_ij} + T_{e_ij}$$

[0161] 式中： I 为各轮转动惯量； w_{ij} 为各车轮角速度； $F_{g_{ij}}$ 为各轮地面制动力； $T_{z_{ij}}$ 为作用于车轮的制动力矩； $T_{\mu_{ij}}$ 为各轮制动器制动力； $T_{e_{ij}}$ 为各轮电机制动力； r 为车轮滚动半径；其中 $ij \in (L_1, L_r, r_1, r_r)$ ， L_1 表示左前轮； L_r 表示左后轮； r_1 表示右前轮； r_r 表示右后轮。

[0162] 当只有液压制动作用时，电机制动力矩为0，当只有电机制动作用时，液压制动力矩为0。液压制动力与电机制动力共同作用时，制动器制动力可由下式计算得出：

$$[0163] \quad F_{\mu_{ij}} = \frac{F_{g_{ij}} \cdot r - I \frac{dw_{ij}}{dt} + T_{e_{ij}}}{r}$$

[0164] 进一步地，判断电机制动是否满足条件：当车速小于5km/h，速度较小，电机的发电效率较低；当电池SOC值大于85%时，为防止电池过充，以上两个条件均为液压制动。电池SOC采用安时积分法计算得出，具体为：

$$[0165] \quad SOC = SOC_i - \frac{C}{SOC_Q}$$

$$[0166] \quad C = \int \eta I dt$$

[0167] 式中： SOC_i 为电池初始电量； SOC_Q 为电池储存电量； η 为电池充放电效率； I 为充放电电流；

[0168] 再生制动过程中充电电流与电机制动力成正比，具体为：

$$[0169] \quad I = \frac{\eta_e T_e}{9550 U_{ec}}$$

[0170] 式中： η_e 为电机发电效率； T_e 为单个电机制动力矩； U_{ec} 为电池端电压；

[0171] 当满足电机制动的条件为：车速大于5km/h，电池SOC值小于85%，根据制动意图，前后轴的电机制动力和液压制动力与需求制动力的分配策略如图8所示。

[0172] 为提高制动能量回收效率，当前轮电机制动力能够满足制动所需的制动力时，仅由前轮电机进行制动，若不足时，前、后轮电机同时进行，若前、后轮电机制动力之和仍不满足需求制动力，此时液压制动力介入，开始进行补偿。其中 $F_{e_{L1}}$ 为左前轮电机制动力； $F_{e_{r1}}$ 右前轮电机制动力； $F_{e_{Lr}}$ 为左后轮电机制动力； $F_{e_{rr}}$ 为右后轮电机制动力； $F_{m_{L1}}$ 为左前轮液压制动力； $F_{m_{r1}}$ 右前轮液压制动力； $F_{m_{Lr}}$ 为左后轮液压制动力； $F_{m_{rr}}$ 为右后轮液压制动力；

[0173] 当制动意图为轻度制度时，需求制动力全部由电机制动制动力提供。若仅前电机制动力便可满足需求制动力，则具体为：

$$[0174] \quad F_{e_{L1}} = \frac{1}{2} F_N$$

$$[0175] \quad F_{e_{r1}} = \frac{1}{2} F_N$$

[0176] 若前电机制动力达不到需求制动力时，则后轮电机介入参与制动，前后电机制动力之和满足需求制动力，则具体为：

$$[0177] \quad F_{e_{-r_1}} = F_{e_{-L_1}} = F_{e_{-r_r}} = F_{e_{-L_r}} = \frac{1}{4} F_N$$

[0178] 当制动意图为中度制动时,为了提高制动能量回收效率,应先让前后轮电机介入,若前后轮电机制动力满足需求制动力,则液压制动力为0,具体分配策略与轻度制动的第二种情况相同,若不满足,液压制动进行补偿,具体为:

$$[0179] \quad F_{e_{-L_1}} = F_{e_{-r_1}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{FI}, \frac{iT_{e_{\max}}}{r} \right)$$

$$[0180] \quad F_{e_{-L_r}} = F_{e_{-r_r}} = \frac{1}{2} \min \left(F_{RI}, \frac{iT_{e_{\max}}}{r} \right)$$

$$[0181] \quad F_{m_{-L_1}} = F_{m_{-r_1}} = \frac{1}{2} (F_{FI} - F_{e_{-L_1}})$$

$$[0182] \quad F_{m_{-L_r}} = F_{m_{-r_r}} = \frac{1}{2} (F_{RI} - F_{e_{-r_1}})$$

[0183] 式中: i 为电机与差速器之间的传动比; F_{FI} 、 F_{RI} 分别为前、后轴按I曲线分配下的轴制动力;

[0184] 当制动意图为紧急制动时,为确保制动安全,可以及时刹车,此时应由液压制动系统进行单独制动,前、后轴液压制动力沿理想制动力分配曲线进行分配,具体为:

$$[0185] \quad F_{e_{-L_1}} = F_{e_{-r_1}} = F_{e_{-L_r}} = F_{e_{-r_r}} = 0$$

$$[0186] \quad F_{m_{-r_1}} = F_{m_{-L_1}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{b + zh_g}{L} \right)$$

$$[0187] \quad F_{m_{-r_r}} = F_{m_{-L_r}} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{a - zh_g}{L} \right)$$

[0188] 一种基于V2V通信网络电动汽车的制动能量回收分层控制系统包括,

[0189] 信息采集模块、控制器、电机模块、电池模块;所述信息采集模块、电机模块和电池模块均和控制器连接以传递信息;

[0190] 所述信息采集模块包括:车速传感器、轮速传感器、V2V通信网络设备、制动踏板压力传感器、制动踏板位移传感器;通过车速传感器获取车速,轮速传感器获得车辆制动减速度,V2V通信网络设备获得车头时距,制动踏板位移传感器收集踏板位移变化率以及制动踏板压力传感器收集踏板压力变化率。

[0191] 所述控制器包括:上层制动意图识别模块、需求制动力计算模块、以及下层制动力分配模块、再生制动开启模块;

[0192] 上层制动意图识别模块,根据信息采集模块提供的信息,通过模糊控制算法得出制动意图;具体如下:

[0193] 将制动踏板压力变化率、车辆减速度、制动踏板位移变化率以及车头时距作为驾驶员制动意图识别控制器的输入变量,将驾驶员制动意图作为驾驶员制动意图识别控制器的输出变量,将模糊控制算法作为驾驶员制动意图识别控制器的识别算法。模糊化制动意图识别的输入、输出变量,并基于输入、输出变量的模糊子集制定模糊控制规则。首先定义

踏板压力变化率论域为 $[0, 300]$, 划分 $[0, 80]$, $[40, 210]$, $[150, 300]$, 构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集, 对应的隶属度函数曲线如图3所示。定义踏板位移变化率论域为 $[0, 100]$, 划分为 $[0, 40]$, $[20, 80]$, $[60, 100]$, 构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集, 对应的隶属度函数曲线如图4所示。定义车辆减速度论域为 $[0, 9.8]$, 划分为 $[0, 2.5]$ 、 $[0.5, 7.5]$ 、 $[5, 9.8]$, 构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集, 对应的隶属度函数曲线如图5所示。定义车头时距论域为 $[0, 5]$, 划分为 $[0, 0.6]$ 、 $[0.5, 3]$ 、 $[2.5, 5]$, 构建大(B)、中(M)、小(S)3个模糊子集, 对应的隶属度函数曲线如图6所示。定义制动意图论域为 $[0, 3]$, 划分为 $[0, 1.2]$ 、 $[0, 2.5]$ 、 $[1.8, 3]$, 构建小(S)、中(M)、大(B)3个模糊子集, 对应的隶属度函数曲线如图7所示。

[0194] 踏板压力变化率、踏板位移变化率、车头时距、车辆减速度均可反应制动意图, 根据制动踏板压力变化率、制动踏板位移变化率、车辆减速度与制动意图成正比, 车头时距与制动意图成反比的原则, 当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时, 则输出子集为M子集, 即输出为中度制动。当制动踏板压力变化率对应S模糊子集、制动踏板位移变化率对应S模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时, 则输出子集为S子集, 即输出为轻度制动。当制动踏板压力变化率对应B模糊子集、制动踏板位移变化率对应M模糊子集、车辆减速度对应S模糊子集、车头时距对应S模糊子集时, 则输出子集为B子集, 即为紧急制动。其中输出的制动意图受制动踏板压力变化率以及制动踏板位移变化率的影响较大。制定的模糊规则如上面表1所示。

[0195] 所述需求制动力计算模块是用于计算需求制动力和电机最大制动力; 具体为:

$$[0196] \quad \frac{dv}{dt} = zg$$

[0197] 式中: g 为重力加速度, v 为车速

[0198] 需求制动力具体为:

$$[0199] \quad F_N = M \frac{dv}{dt} = Gz$$

$$[0200] \quad F_N = F_{\mu 1} + F_{\mu 2}$$

[0201] 式中: $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力, $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力, G 为汽车重力, F_N 为需求制动力, M 为汽车质量;

[0202] 电机最大制动力矩具体为:

$$[0203] \quad T_{emax} \begin{cases} \min \left\{ \frac{9550 P_{\max}}{n}, \frac{9550 P_{B \max}}{n \eta_b} \right\} & n > n_d \\ \min \left\{ \frac{9550 P_{\max}}{n}, T_{\max} \right\} & n \leq n_d \end{cases}$$

[0204] 式中: T_{emax} 为电机最大制动力矩; P_{\max} 为电机峰值功率; $P_{B \max}$ 为电池最大充电功率; T_{\max} 为电机峰值扭矩; n 为电机转速; n_d 为电机额定转速; η_b 为电池充电效率。

[0205] 所述下层制动力分配模块, 根据制动意图, 结合需求制动力和电机最大制动力, 制定前后轴制动力分配策略; 具体如下:

[0206] 车辆在制动时, 其方向稳定性和附着条件在前后轮同时抱死的情况下容易被较好

的利用,无论附着系数为何值,如果在前后轮都同时抱死时,前后轮的附着力都与各自的附着力是相等的,并且前、后轮制动力总和与地面附着力是相等的,所以本发明是以I曲线为基础确定前后轴制动力分配关系,具体为:

$$[0207] \quad F_{\mu 1} + F_{\mu 2} = \varphi G = F_N$$

$$[0208] \quad \frac{F_{\mu 1}}{F_{\mu 2}} = \frac{b + \varphi h_g}{a - \varphi h_g}$$

[0209] 式中: $F_{\mu 1}$ 为前轴制动器制动力; $F_{\mu 2}$ 为后轴制动器制动力; h_g 为质心高度; a 为质心到前轴的距离; b 为质心到后轴的距离; L 为车辆轴距; φ 为路面附着系数; F_N 为需求制动力;

[0210] 再次计算各轮制动器制动力,根据制动时车轮的受力分析可得出:

$$[0211] \quad I \frac{dw_{ij}}{dt} = F_{g_{ij}} \cdot r - T_{z_{ij}}$$

$$[0212] \quad T_{z_{ij}} = T_{\mu_{ij}} + T_{e_{ij}}$$

[0213] 式中: I 为各轮转动惯量; w_{ij} 为各车轮角速度; $F_{g_{ij}}$ 为各轮地面制动力; $T_{z_{ij}}$ 为作用于车轮的制动力矩; $T_{\mu_{ij}}$ 为各轮制动器制动力; $T_{e_{ij}}$ 为各轮电机制动力; r 为车轮滚动半径;其中 $ij \in (L_l, L_r, r_l, r_r)$, L_l 表示左前轮; L_r 表示左后轮; r_l 表示右前轮; r_r 表示右后轮。

[0214] 当只有液压制动作用时,电机制动力矩为0,当只有电机制动作用时,液压制动力矩为0。液压制动力与电机制动力共同作用时,制动器制动力可由下式计算得出:

$$[0215] \quad F_{\mu_{ij}} = \frac{F_{g_{ij}} \cdot r - I \frac{dw_{ij}}{dt} + T_{e_{ij}}}{r}$$

[0216] 进一步地,判断电机制动是否满足条件:当车速小于5km/h,速度较小,电机的发电效率较低;当电池SOC值大于85%时,为防止电池过充,以上两个条件均为液压制动。电池SOC值采用安时积分法计算得出,具体为:

$$[0217] \quad SOC = SOC_i - \frac{C}{SOC_Q}$$

$$[0218] \quad C = \int \eta I dt$$

[0219] 式中: SOC_i 为电池初始电量; SOC_Q 为电池储存电量; η 为电池充放电效率; I 为充放电电流;

[0220] 再生制动过程中充电电流与电机制动力成正比,具体为:

$$[0221] \quad I = \frac{\eta_e T_e}{9550 U_{ec}}$$

[0222] 式中: η_e 为电机发电效率; T_e 为单个电机制动力矩; U_{ec} 为电池端电压;

[0223] 进一步地,满足电机制动的条件为:车速大于5km/h,电池SOC值小于85%,根据制动意图,前后轴的电机制动力和液压制动力与需求制动力的分配策略如图8所示。

[0224] 为提高制动能量回收效率,当前轮电机制动力能够满足制动所需的制动力时,仅由前轮电机进行制动,若不足时,前、后轮电机同时进行,若前、后轮电机制动力之和仍不满足需求制动力,此时液压制动力介入进行补偿。其中 $F_{e_{L1}}$ 为左前轮电机制动力; $F_{e_{r1}}$ 右前轮

电机制动力; F_{e_Lr} 为左后轮电机制动力; F_{e_rr} 为右后轮电机制动力; F_{m_Ll} 为左前轮液压制动力; F_{m_r1} 右前轮液压制动力; F_{m_Lr} 为左后轮液压制动力; F_{m_rr} 为右后轮液压制动力;

[0225] 当制动意图为轻度制动时,需求制动力全部由电机制动力提供。若仅前轮电机制动力便可满足需求制动力,则具体为:

$$[0226] \quad F_{e_Ll} = \frac{1}{2} F_N$$

$$[0227] \quad F_{e_r1} = \frac{1}{2} F_N$$

[0228] 若前轮电机制动力达不到需求制动力时,则后轮电机介入参与制动,前后电机制动力之和满足需求制动力,则具体为:

$$[0229] \quad F_{e_r1} = F_{e_Ll} = F_{e_rr} = F_{e_Lr} = \frac{1}{4} F_N$$

[0230] 当制动意图为中度制动时,为了提高制动能量回收效率,先让前后轮电机介入,若前后轮电机制动力满足需求制动力,则液压制动力为0,具体分配策略与轻度制动的第二种情况相同,若不满足,液压制动进行补偿,具体为:

$$[0231] \quad F_{e_Ll} = F_{e_r1} = \frac{1}{2} \min \left(F_{Fl}, \frac{iT_{e\max}}{r} \right)$$

$$[0232] \quad F_{e_Lr} = F_{e_rr} = \frac{1}{2} \min \left(F_{Rl}, \frac{iT_{e\max}}{r} \right)$$

$$[0233] \quad F_{m_Ll} = F_{m_r1} = \frac{1}{2} (F_{Fl} - F_{e_Ll})$$

$$[0234] \quad F_{m_Lr} = F_{m_rr} = \frac{1}{2} (F_{Rl} - F_{e_r1})$$

[0235] 式中: i 为电机与差速器之间的传动比; F_{Fl} 、 F_{Rl} 分别为前、后轴按I曲线分配下的制动力;

[0236] 当制动意图为紧急制动时,为确保制动安全,可以及时刹车,此时应由液压制动系统进行单独制动,前、后轴液压制动力沿理想制动力分配曲线进行分配,具体为:

$$[0237] \quad F_{e_Ll} = F_{e_r1} = F_{e_Lr} = F_{e_rr} = 0$$

$$[0238] \quad F_{m_r1} = F_{m_Ll} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{b + zh_g}{L} \right)$$

$$[0239] \quad F_{m_rr} = F_{m_Lr} = \frac{1}{2} \left(Gz \frac{a - zh_g}{L} \right)。$$

[0240] 所述再生制动开启模块是依据电池SOC值和车速的大小来判断是否开启电机制动;

[0241] 所述电机模块在再生制动模式下,将车辆动能转换为电能;

[0242] 所述电池模块用于储存制动过程中的电能,从而实现再生制动。

[0243] 本发明控制器可以采用车辆已有的中央控制器(ECU)实现。

[0244] 上文所列出一系列的详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施方式的具体说明,它们并非用以限制本发明的保护范围,凡未脱离本发明技术所创的等效方式或变更均应包含在本发明的保护范围之内。

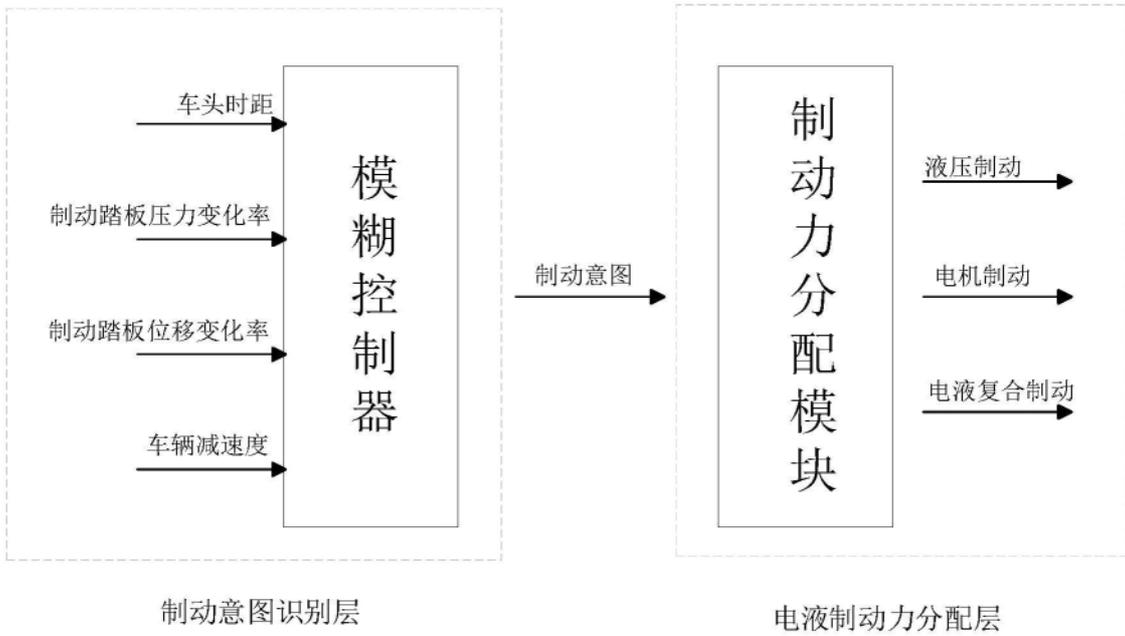


图1



OBD: 车载单元
 PC5: 终端与终端之间的直连通信接口
 BSM消息: 基础安全消息, 包括速度, 转向, 刹车, 双闪, 位置等等

图2

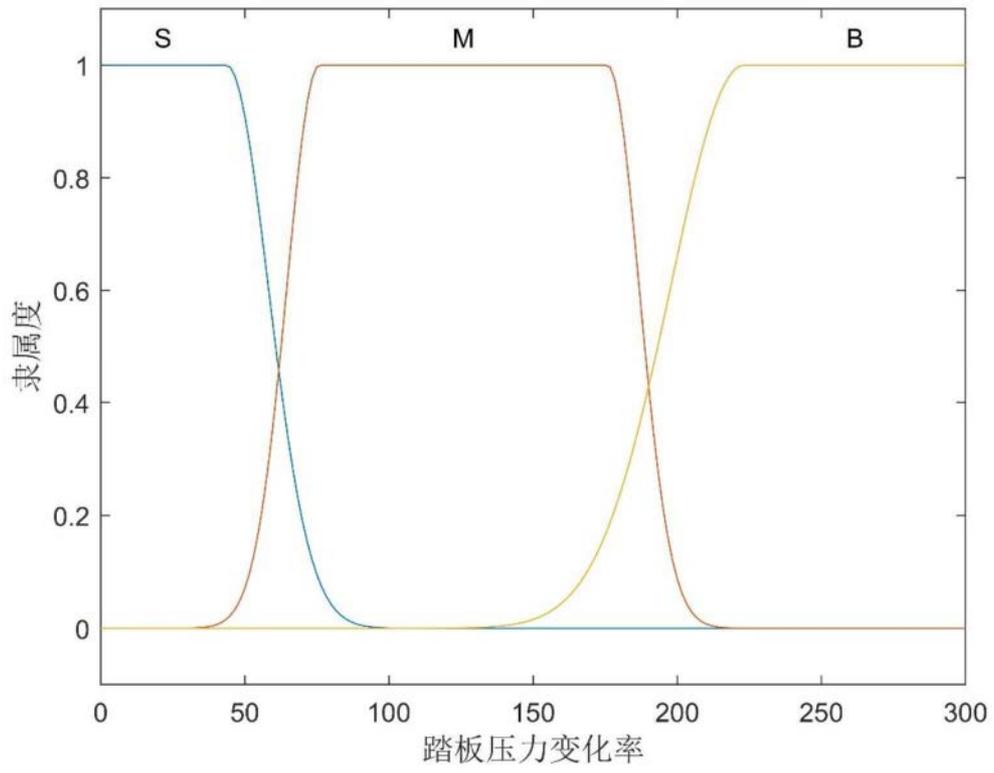


图3

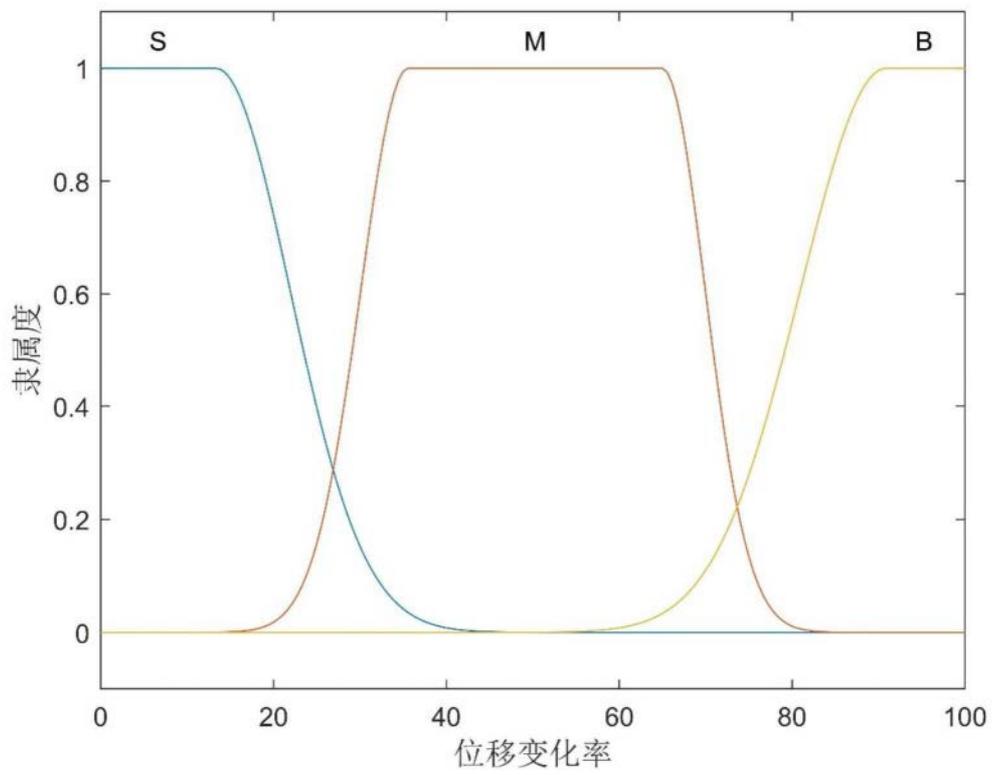


图4

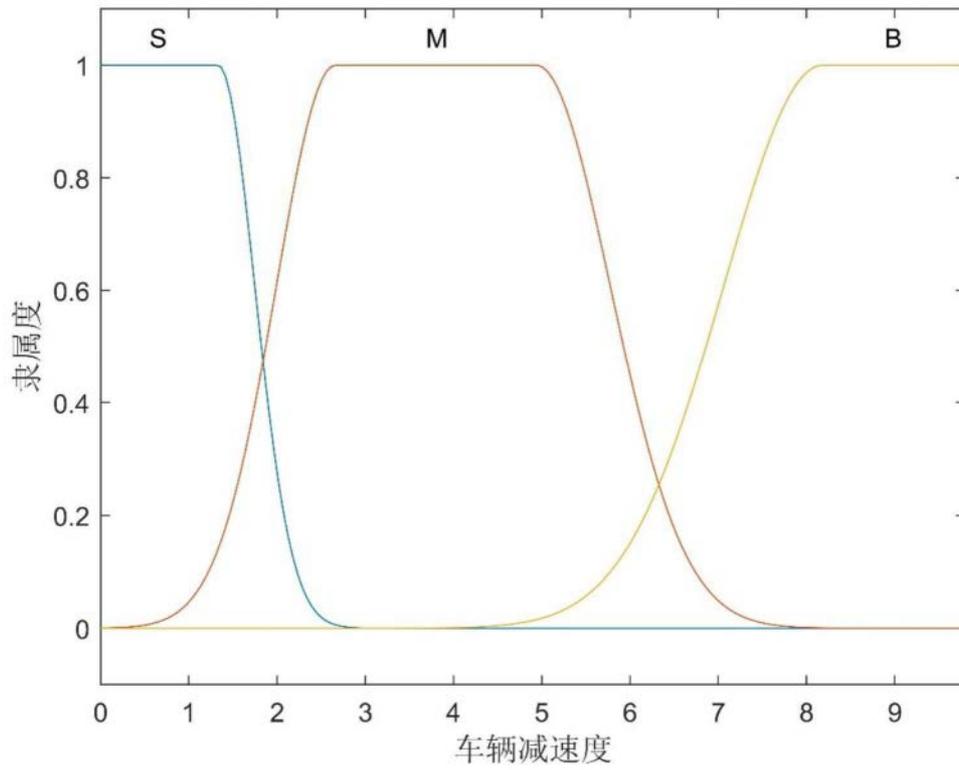


图5

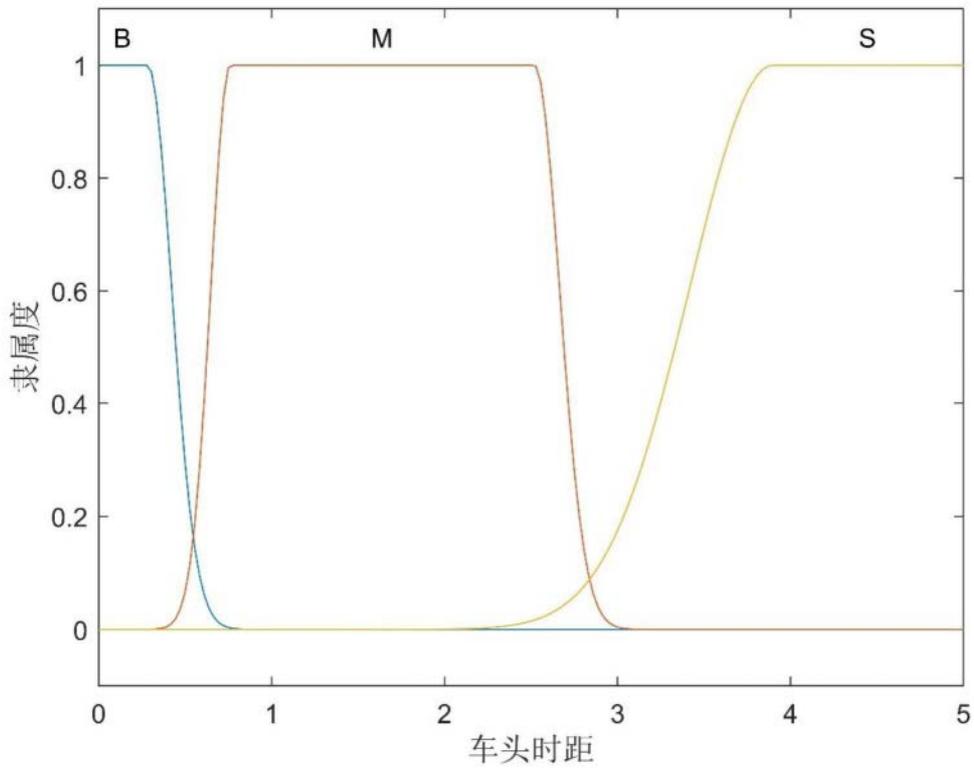


图6

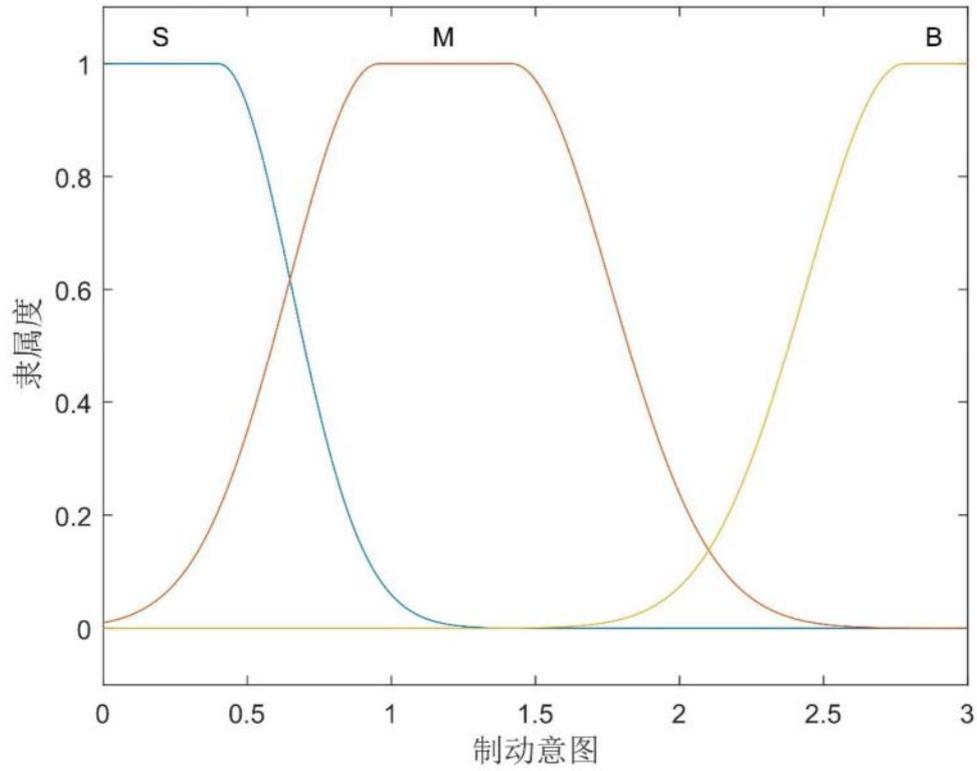


图7

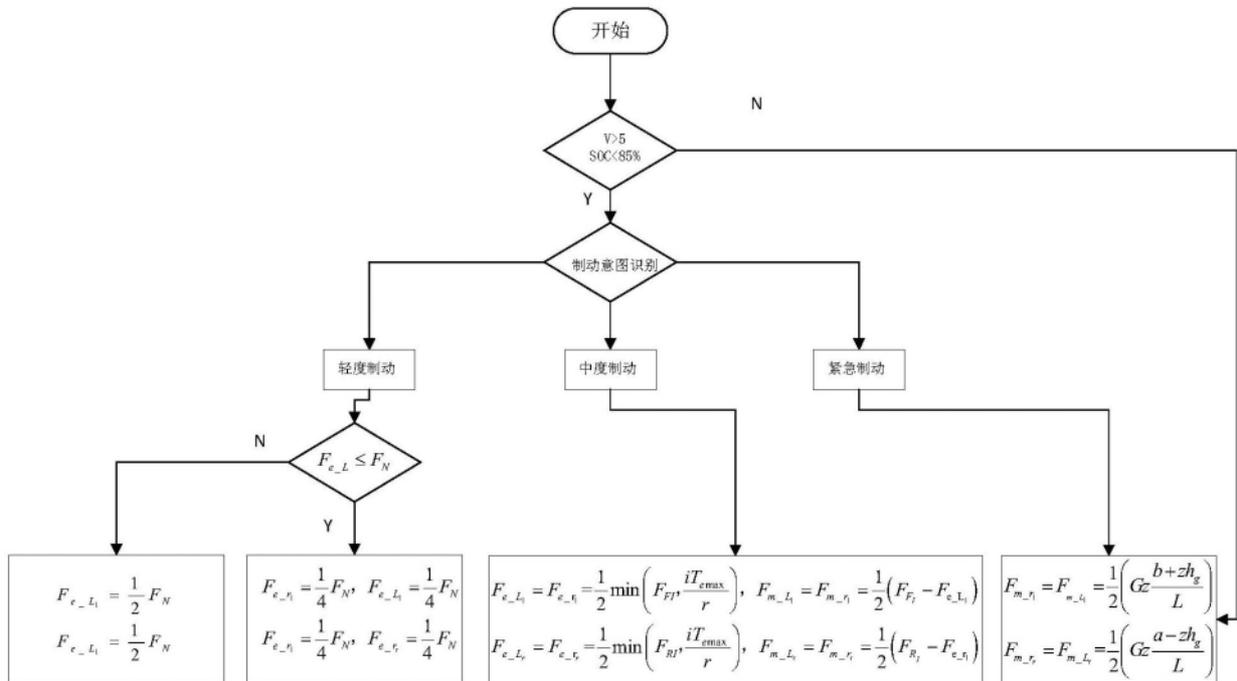


图8