



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103419676 A

(43) 申请公布日 2013. 12. 04

(21) 申请号 201310328508. X

(22) 申请日 2013. 07. 31

(71) 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38 号

(72) 发明人 朱绍鹏 邱斌斌 吴志军 刘孝龙

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公
司 33200

代理人 张法高

(51) Int. Cl.

B60L 15/32(2006. 01)

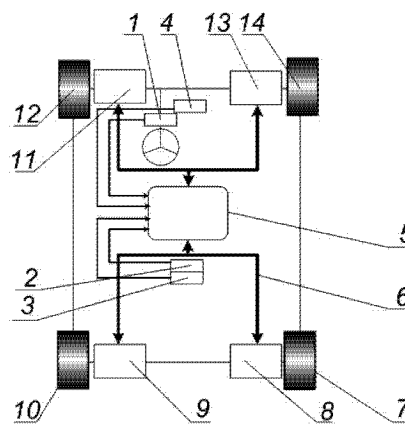
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种用于电动汽车的轮式驱动分层控制系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于电动汽车的轮式驱动分层控制系统及方法。驱动力分层控制器通过 CAN 通讯网络分别与方向盘转角传感器、车用惯性传感器、车速传感器、电子油门踏板、右后轮毂电机控制器、左后轮毂电机控制器、左前轮毂电机控制器、右前轮毂电机控制器相连，右后轮毂电机控制器与右后轮毂电机相连，左后轮毂电机控制器与左后轮毂电机相连，左前轮毂电机控制器与左前轮毂电机相连，右前轮毂电机控制器与右前轮毂电机相连。本发明基于驱动力目标设计层、横摆力矩制定层及驱动力分配层构成的驱动力分层控制器控制各轮毂电机实现驱动力合理分配。本发明能够根据电动汽车的运行工况合理分配各轮驱动力，改善其动力性、操纵稳定性和行驶经济性。



1. 一种用于电动汽车的轮式驱动分层控制系统,其特征包括方向盘转角传感器(1)、车用惯性传感器(2)、车速传感器(3)、电子油门踏板(4)、驱动力分层控制器(5)、CAN 通讯网络(6)、右后轮毂电机(7)、右后轮毂电机控制器(8)、左后轮毂电机控制器(9)、左后轮毂电机(10)、左前轮毂电机控制器(11)、左前轮毂电机(12)、右前轮毂电机控制器(13)、右前轮毂电机(14);驱动力分层控制器(5)通过 CAN 通讯网络(6)分别与方向盘转角传感器(1)、车用惯性传感器(2)、车速传感器(3)、电子油门踏板(4)、右后轮毂电机控制器(8)、左后轮毂电机控制器(9)、左前轮毂电机控制器(11)、右前轮毂电机控制器(13)相连,右后轮毂电机控制器(8)与右后轮毂电机(7)相连,左后轮毂电机控制器(9)与左后轮毂电机(10)相连,左前轮毂电机控制器(11)与左前轮毂电机(12)相连,右前轮毂电机控制器(13)与右前轮毂电机(14)相连。

2. 如权利要求 1 所述的一种用于电动汽车的轮式驱动分层控制系统,其特征包括所述的驱动力分层控制器(5)采用单片机,使用 C 语言编写驱动力分层控制方法并经编译后下载到驱动力分层控制器的主控芯片中。

3. 一种使用如权利要求 1 所述系统的用于电动汽车的驱动力分层控制方法,其特征包括如下步骤:

1) 位于驱动力分层控制器(5)主控芯片中的驱动力分层控制方法包括 I 驱动力目标设计层、II 横摆力矩制定层及 III 驱动力分配层;

2) I 驱动力目标设计层位于整个驱动力分层控制方法的上层,用来获得横摆角速度误差 $e(\gamma)$ 和质心侧偏角误差 $e(\beta)$;首先,在该层中建立 7 自由度车辆动力学模型,该车辆模型根据方向盘转角传感器(1)检测出的方向盘转角信号 δ_{sw} 和车速传感器(3)检测到的车速信号 v 确定出前轮转向角 δ 和纵向速度 v_x ,确定稳定性控制目标;使用下式计算出目标横摆角速度 γ_d ,

$$\gamma_d = \frac{v_x}{L(1 + Kv_x^2)} \delta$$

式中, L 为轴距, K 为稳定性因子;目标质心侧偏角 β_d 设置为 0,即 $\beta_d = 0$;

同时,设计质心侧偏角观测器,根据 II 横摆力矩制定层反馈的车辆实际所需横摆力矩 M_z 确定出实际质心侧偏角 β ;车用惯性传感器(2)实时反馈实际横摆角速度 γ ;最后,算出横摆角速度误差 $e(\gamma) = \gamma - \gamma_d$ 和质心侧偏角误差 $e(\beta) = \beta - \beta_d$,作为 II 横摆力矩制定层的输入;

3) II 横摆力矩制定层位于驱动力分层控制方法的中层,通过模糊控制器和最大横摆力矩限值制定出车辆实际所需的横摆力矩 M_z ;设计了横摆角速度误差 $e(\gamma)$ 和质心侧偏角误差 $e(\beta)$ 双输入、横摆力矩 M_{zf} 单输出的模糊控制器;通过下式计算出最大横摆力矩

$$M_{z_{\max}} = \frac{W}{2} (\mu_{fr} F_{zfr} + \mu_{rr} F_{zrr} - \mu_{fl} F_{zfl} - \mu_{rl} F_{zrl})$$

式中, W 为车辆轮距, μ_{fl} 、 μ_{fr} 、 μ_{rl} 、 μ_{rr} 为路面附着系数, F_{zfl} 、 F_{zfr} 、 F_{zrl} 、 F_{zrr} 为各车轮垂向力。通过横摆力矩限制比较,最终输出车辆实际所需的横摆力矩 $M_z = \min(M_{zf}, M_{z_{\max}})$;

4) III 驱动力分配层位于整个分层控制方法的底层,根据驱动电机的实际运行状态采用容错技术进行容错控制,得到驱动电机的失效因子 ξ_{fl} 、 ξ_{fr} 、 ξ_{rl} 和 ξ_{rr} ,有效为 1,失效为

0, 作为电机分配力矩的约束条件; 依据电子油门踏板(4)的加速信号确定的总目标驱动力 T_d 和 II 横摆力矩制定层输出的实际所需横摆力矩 M_z , 进行带约束的多目标优化分配计算, 等式约束条件如下:

$$2T_d = T_{fl} + T_{fr}$$

$$M_z = a \left(F_{yfl} + F_{yfr} + \frac{\sin \delta \cdot T_{fl}}{R_w} + \frac{\sin \delta \cdot T_{fr}}{R_w} \right) - b (F_{yrl} + F_{yrr}) \\ + \frac{W}{2} \left(\frac{\cos \delta \cdot T_{fr}}{R_w} - \frac{\cos \delta \cdot T_{fl}}{R_w} + F_{xrr} - F_{xrl} \right)$$

式中, a 为质心到前轴的距离, b 为质心到后轴的距离, R_w 为车轮半径, T_{fl} 、 T_{fr} 为前轮电机转矩, F_{xfl} 、 F_{xfr} 、 F_{xrl} 、 F_{xrr} 为各车轮的纵向力, F_{yfl} 、 F_{yfr} 、 F_{yrl} 、 F_{yrr} 为各车轮的侧向力。不等式边界约束包括轮胎摩擦圆约束和轮毂电机输出最大转矩约束, 不等式约束条件如下式:

$$\sqrt{F_{x*}^2 + F_{y*}^2} \leq \mu_* F_{z*}, \quad |F_{x*}| \leq |\xi_* T_{\max} / R_w$$

式中, $*$ = fl, fr, rl, or rr, T_{\max} 为轮毂电机输出最大转矩; 最后, 经驱动防滑处理, 输出各轮毂电机的目标驱动转矩 T_{fl} 、 T_{fr} 、 T_{rl} 、 T_{rr} , 通过 CAN 通讯网络(6)传递给各轮毂电机控制器, 实现合理分配各电机转矩。

一种用于电动汽车的轮式驱动分层控制系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于电动汽车驱动控制系统,特别是涉及一种用于电动汽车的轮式驱动分层控制系统及方法。

背景技术

[0002] 近年来为解决能源和环境危机,电动汽车成为广泛关注和研发的热点,其动力系统结构形式主要分为单动力源驱动和包含轮毂电机或轮边电机等在内的多动力源驱动形式。多动力源驱动与单动力源驱动相比,不仅能实现各轮驱动力精确控制、快速响应,还能简化传动机构提高传动效率实现底盘的重新布局。然而,如何实现精确控制每个驱动轮,通过协调控制各轮驱动力实现电子差速、直接横摆力矩控制、驱动防滑等功能,设计出高性能、低成本的电动汽车驱动力控制系统是非常重要的。

发明内容

[0003] 针对现有电动汽车驱动力控制系统的不足,提供一种电动汽车轮式驱动分层控制系统及方法,改善了电动汽车动力性、操纵稳定性及行驶经济性。

[0004] 用于电动汽车的轮式驱动分层控制系统包括方向盘转角传感器、车用惯性传感器、车速传感器、电子油门踏板、驱动力分层控制器、CAN 通讯网络、右后轮毂电机、右后轮毂电机控制器、左后轮毂电机控制器、左后轮毂电机、左前轮毂电机控制器、左前轮毂电机、右前轮毂电机控制器、右前轮毂电机;驱动力分层控制器通过 CAN 通讯网络分别与方向盘转角传感器、车用惯性传感器、车速传感器、电子油门踏板、右后轮毂电机控制器、左后轮毂电机控制器、左前轮毂电机控制器、右前轮毂电机控制器相连,右后轮毂电机控制器与右后轮毂电机相连,左后轮毂电机控制器与左后轮毂电机相连,左前轮毂电机控制器与左前轮毂电机相连,右前轮毂电机控制器与右前轮毂电机相连。

[0005] 所述的驱动力分层控制器采用单片机,使用 C 语言编写驱动力分层控制方法并经编译后下载到驱动力分层控制器的主控芯片中。

[0006] 用于电动汽车的驱动力分层控制方法包括如下步骤:

[0007] 1) 位于驱动力分层控制器主控芯片中的驱动力分层控制方法包括 I 驱动力目标设计层、II 横摆力矩制定层及 III 驱动力分配层;

[0008] 2) I 驱动力目标设计层位于整个驱动力分层控制方法的上层,用来获得横摆角速度误差 $e(\dot{\gamma})$ 和质心侧偏角误差 $e(\beta)$;首先,在该层中建立 7 自由度车辆动力学模型,该车辆模型根据方向盘转角传感器检测出的方向盘转角信号 δ_{sw} 和车速传感器检测到的车速信号 v 确定出前轮转向角 δ 和纵向速度 v_x ,确定稳定性控制目标;使用下式计算出目标横摆角速度 $\dot{\gamma}_d$,

$$[0009] \quad \dot{\gamma}_d = \frac{v_x}{L(1 + Kv_x^2)} \delta$$

[0010] 式中, L 为轴距, K 为稳定性因子; 目标质心侧偏角 β_d 设置为 0, 即 $\beta_d = 0$; 同时, 设计质心侧偏角观测器, 根据 II 横摆力矩制定层反馈的车辆实际所需横摆力矩 M_z 确定出实际质心侧偏角 β ; 车用惯性传感器实时反馈实际横摆角速度 γ ; 最后, 算出横摆角速度误差 $e(\gamma) = \gamma - \gamma_d$ 和质心侧偏角误差 $e(\beta) = \beta - \beta_d$, 作为 II 横摆力矩制定层的输入;

[0011] 3) II 横摆力矩制定层位于驱动力分层控制方法的中层, 通过模糊控制器和横摆力矩限值制定出车辆实际所需的横摆力矩 M_z ; 设计了横摆角速度误差 $e(\gamma)$ 和质心侧偏角误差 $e(\beta)$ 双输入、横摆力矩 M_{zf} 单输出的模糊控制器; 通过下式计算出最大横摆力矩

$$[0012] \quad M_{z\max} = \frac{W}{2} (\mu_{fr} F_{zfr} + \mu_{rr} F_{zrr} - \mu_{fl} F_{zfl} - \mu_{rl} F_{zrl})$$

[0013] 式中, W 为车辆轮距, μ_{fl} 、 μ_{fr} 、 μ_{rl} 、 μ_{rr} 为路面附着系数, F_{zfl} 、 F_{zfr} 、 F_{zrl} 、 F_{zrr} 为各车轮垂向力。通过横摆力矩限制比较, 最终输出车辆实际所需的横摆力矩 $M_z = \min(M_{zf}, M_{z\max})$;

[0014] 4) III 驱动力分配层位于整个分层控制方法的底层, 根据驱动电机的实际运行状态采用容错技术进行容错控制, 得到驱动电机的失效因子 ξ_{fl} 、 ξ_{fr} 、 ξ_{rl} 和 ξ_{rr} , 有效为 1, 无效为 0, 作为电机分配力矩的约束条件; 依据电子油门踏板的加速信号确定的总目标驱动力 T_d 和 II 横摆力矩制定层输出的实际所需横摆力矩 M_z , 进行带约束的多目标优化分配计算, 等式约束条件如下:

$$[0015] \quad 2T_d = T_{fl} + T_{fr}$$

$$[0016] \quad M_z = a \left(F_{yfl} + F_{yfr} + \frac{\sin \delta \cdot T_{fl}}{R_w} + \frac{\sin \delta \cdot T_{fr}}{R_w} \right) - b (F_{yrl} + F_{yrr})$$

$$[0017] \quad + \frac{W}{2} \left(\frac{\cos \delta \cdot T_{fr}}{R_w} - \frac{\cos \delta \cdot T_{fl}}{R_w} + F_{xrr} - F_{xrl} \right)$$

[0018] 式中, a 为质心到前轴的距离, b 为质心到后轴的距离, R_w 为车轮半径, T_{fl} 、 T_{fr} 为前轮电机转矩, F_{xfl} 、 F_{xfr} 、 F_{xrl} 、 F_{xrr} 为各车轮的纵向力, F_{yfl} 、 F_{yfr} 、 F_{yrl} 、 F_{yrr} 为各车轮的侧向力。不等式边界约束包括轮胎摩擦圆约束和轮毂电机输出最大转矩约束, 不等式约束条件如下式:

$$[0019] \quad \sqrt{F_{x*}^2 + F_{y*}^2} \leq \mu_* F_{z*}, \quad |F_{x*}| \leq |\xi_* T_{\max}| / R_w$$

[0020] 式中, $*$ = fl, fr, rl, or rr, T_{\max} 为轮毂电机输出最大转矩; 最后, 经驱动防滑处理, 输出各轮毂电机的目标驱动转矩 T_{fl} 、 T_{fr} 、 T_{rl} 、 T_{rr} , 通过 CAN 通讯网络传递给各轮毂电机控制器, 实现合理分配各电机转矩。

[0021] 本发明相对于传统驱动力分配控制系统, 在结构上增加了车用惯性传感器以获取横摆角速度及侧向加速度, 通过设计新颖的驱动力分层控制方法包括驱动力目标设计层、横摆力矩制定层及驱动力分配层, 以各电机转矩为控制量, 从而实现驱动力合理分配、自适应差速、电机失效控制及驱动防滑功能。本发明能够根据电动汽车的运行工况合理分配各轮驱动力, 改善其动力性、操纵稳定性和行驶经济性。

附图说明

[0022] 附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0023] 图 1 是用于电动汽车的轮式驱动分层控制系统结构示意图;

[0024] 图 2 是用于电动汽车的轮式驱动分层控制方法原理图。

[0025] 图中,方向盘转角传感器 1、车用惯性传感器 2、车速传感器 3、电子油门踏板 4、驱动力分层控制器 5、CAN 通讯网络 6、右后轮毂电机 7、右后轮毂电机控制器 8、左后轮毂电机控制器 9、左后轮毂电机 10、左前轮毂电机控制器 11、左前轮毂电机 12、右前轮毂电机控制器 13、右前轮毂电机 14。

具体实施方式

[0026] 以下结合附图对本发明的实施例进行详细说明,但是本发明可以由权利要求限定和覆盖的多种不同方式实施。

[0027] 如图 1 所示,用于电动汽车的轮式驱动分层控制系统包括方向盘转角传感器 1、车用惯性传感器 2、车速传感器 3、电子油门踏板 4、驱动力分层控制器 5、CAN 通讯网络 6、右后轮毂电机 7、右后轮毂电机控制器 8、左后轮毂电机控制器 9、左后轮毂电机 10、左前轮毂电机控制器 11、左前轮毂电机 12、右前轮毂电机控制器 13、右前轮毂电机 14;驱动力分层控制器 5 通过 CAN 通讯网络 6 分别与方向盘转角传感器 1、车用惯性传感器 2、车速传感器 3、电子油门踏板 4、右后轮毂电机控制器 8、左后轮毂电机控制器 9、左前轮毂电机控制器 11、右前轮毂电机控制器 13 相连,右后轮毂电机控制器 8 与右后轮毂电机 7 相连,左后轮毂电机控制器 9 与左后轮毂电机 10 相连,左前轮毂电机控制器 11 与左前轮毂电机 12 相连,右前轮毂电机控制器 13 与右前轮毂电机 14 相连。

[0028] 所述的驱动力分层控制器 5 采用单片机 MC9S12XEP100,使用 C 语言编写驱动力分层控制方法并经编译后下载到 MC9S12XEP100 主控芯片中。4 个轮毂电机均采用额定电压 72V、额定功率 5kW 的永磁无刷直流电机,配置 4 个 CSEV S2 正弦波电机控制器。驱动力分层控制器 5 基于所接收的方向盘转角传感器 1 检测到的方向盘转角信号 δ_{sw} 、电子油门踏板 4 的加速信号、车速传感器 3 检测到的车速信号 v 、车用惯性传感器 2 检测到的横摆角速度信号 γ 和侧向加速度信号 β 、轮毂电机控制器反馈的轮速信号和转矩信号,根据驱动力分层控制方法来制定各电机目标转矩 T_{fl} 、 T_{fr} 、 T_{rl} 、 T_{rr} ,通过 CAN 通讯控制各轮毂电机控制器实现驱动力的合理分配、自适应差速。

[0029] 如图 2 所示,用于电动汽车的驱动力分层控制方法包括如下步骤:

[0030] 1) 位于驱动力分层控制器 5 主控芯片中的驱动力分层控制方法包括 I 驱动力目标设计层、II 横摆力矩制定层及 III 驱动力分配层;

[0031] 2) I 驱动力目标设计层位于整个驱动力分层控制方法的上层,用来获得横摆角速度误差 $e(\gamma)$ 和质心侧偏角误差 $e(\beta)$;首先,在该层中建立 7 自由度车辆动力学模型,该车辆模型根据方向盘转角传感器 1 检测出的方向盘转角信号 δ_{sw} 和车速传感器 3 检测到的车速信号 v 确定出前轮转向角 δ 和纵向速度 v_x ,确定稳定性控制目标;使用下式计算出目标横摆角速度 γ_d ,

[0032]
$$\gamma_d = \frac{v_x}{L(1 + Kv_x^2)} \delta$$

[0033] 式中, L 为轴距、K 为稳定性因子;目标质心侧偏角 β_d 设置为 0, 即 $\beta_d = 0$;

[0034] 同时, 设计质心侧偏角观测器,

[0035]
$$\begin{cases} \dot{X} = AX + Bu \\ Y = CX + Du \end{cases}, \quad X = \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix}, \quad u = \begin{bmatrix} \delta \\ M_z \end{bmatrix}$$

[0036] 根据 II 横摆力矩制定层反馈的实际所需横摆力矩 M_z 确定出实际质心侧偏角 β ; 车用惯性传感器 2 实时反馈实际横摆角速度 γ ; 最后, 算出横摆角速度误差 $e(\gamma) = \gamma - \gamma_d$ 和质心侧偏角误差 $e(\beta) = \beta - \beta_d$, 作为 II 横摆力矩制定层的输入;

[0037] 3) II 横摆力矩制定层位于驱动力分层控制方法的中层, 通过模糊控制器和横摆力矩限值制定出车辆实际所需的横摆力矩 M_z ; 设计了横摆角速度误差 $e(\gamma)$ 和质心侧偏角误差 $e(\beta)$ 双输入、横摆力矩 M_{zf} 单输出的模糊控制器, 各输入输出变量模糊集如下表:

[0038]

横摆角速度误差模糊集	质心侧偏角误差模糊集	横摆力矩模糊集
NB 负大	NB 负大	NB 负大
NS 负小	NS 负小	NM 负中
ZE 零	ZE 零	NS 负小
PS 正小	PS 正小	ZE 零
PB 正大	PB 正大	PS 正小
		PM 正中
		PB 正大

[0039] 采用了三角形隶属度函数和梯形隶属度函数制定横摆角速度误差隶属度函数、质心侧偏角误差隶属度函数以及横摆力矩隶属度函数; 通过下式计算出最大横摆力矩

[0040]
$$M_{zmax} = \frac{W}{2} (\mu_{fr} F_{zfr} + \mu_{rr} F_{zrr} - \mu_{fl} F_{zfl} - \mu_{rl} F_{zrl})$$

[0041] 式中, W 为车辆轮距, μ_{fl} 、 μ_{fr} 、 μ_{rl} 、 μ_{rr} 为路面附着系数、 F_{zfl} 、 F_{zfr} 、 F_{zrl} 、 F_{zrr} 为各车轮垂向力。通过横摆力矩限制比较, 最终输出车辆实际所需的横摆力矩 $M_z = \min(M_{zf}, M_{zmax})$;

[0042] 4) III 驱动力分配层位于整个分层控制方法的底层, 根据驱动电机的实际运行状态采用容错技术进行容错控制, 得到驱动电机的失效因子 ξ_{fl} 、 ξ_{fr} 、 ξ_{rl} 和 ξ_{rr} , 有效为 1, 失效为 0, 作为电机分配力矩的约束条件; 依据电子油门踏板 4 的加速信号确定的总目标驱动力 T_d 和 II 横摆力矩制定层输出的实际所需横摆力矩 M_z , 进行带约束的多目标优化分配计算, 等式约束条件如下:

$$[0043] \quad 2T_d = T_{fl} + T_{fr}$$

$$[0044] \quad M_z = a \left(F_{yfl} + F_{yfr} + \frac{\sin \delta \cdot T_{fl}}{R_w} + \frac{\sin \delta \cdot T_{fr}}{R_w} \right) - b (F_{yrl} + F_{yrr})$$

$$[0045] \quad + \frac{W}{2} \left(\frac{\cos \delta \cdot T_{fr}}{R_w} - \frac{\cos \delta \cdot T_{fl}}{R_w} + F_{xrr} - F_{xrl} \right)$$

[0046] 式中, a 为质心到前轴的距离, b 为质心到后轴的距离, R_w 为车轮半径, T_{fl} 、 T_{fr} 为前轮电机转矩, F_{xfl} 、 F_{xfr} 、 F_{xrl} 、 F_{xrr} 为各车轮的纵向力, F_{yfl} 、 F_{yfr} 、 F_{yrl} 、 F_{yrr} 为各车轮的侧向力。不等式边界约束包括轮胎摩擦圆约束和轮毂电机输出最大转矩约束, 不等式约束条件如下式:

$$[0047] \quad \sqrt{F_{x*}^2 + F_{y*}^2} \leq \mu_* F_{z*}, \quad |F_{x*}| \leq \xi_* T_{\max} / R_w$$

[0048] 式中, $*$ = fl, fr, rl, or rr, T_{\max} 为轮毂电机输出最大转矩; 最后, 经驱动防滑处理, 输出各轮毂电机的目标驱动转矩 T_{fl} 、 T_{fr} 、 T_{rl} 、 T_{rr} , 通过 CAN 通讯网络 6 传递给各轮毂电机控制器, 实现合理分配各电机转矩。

[0049] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已, 并不用于限制本发明, 对于本领域的技术人员来说, 本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

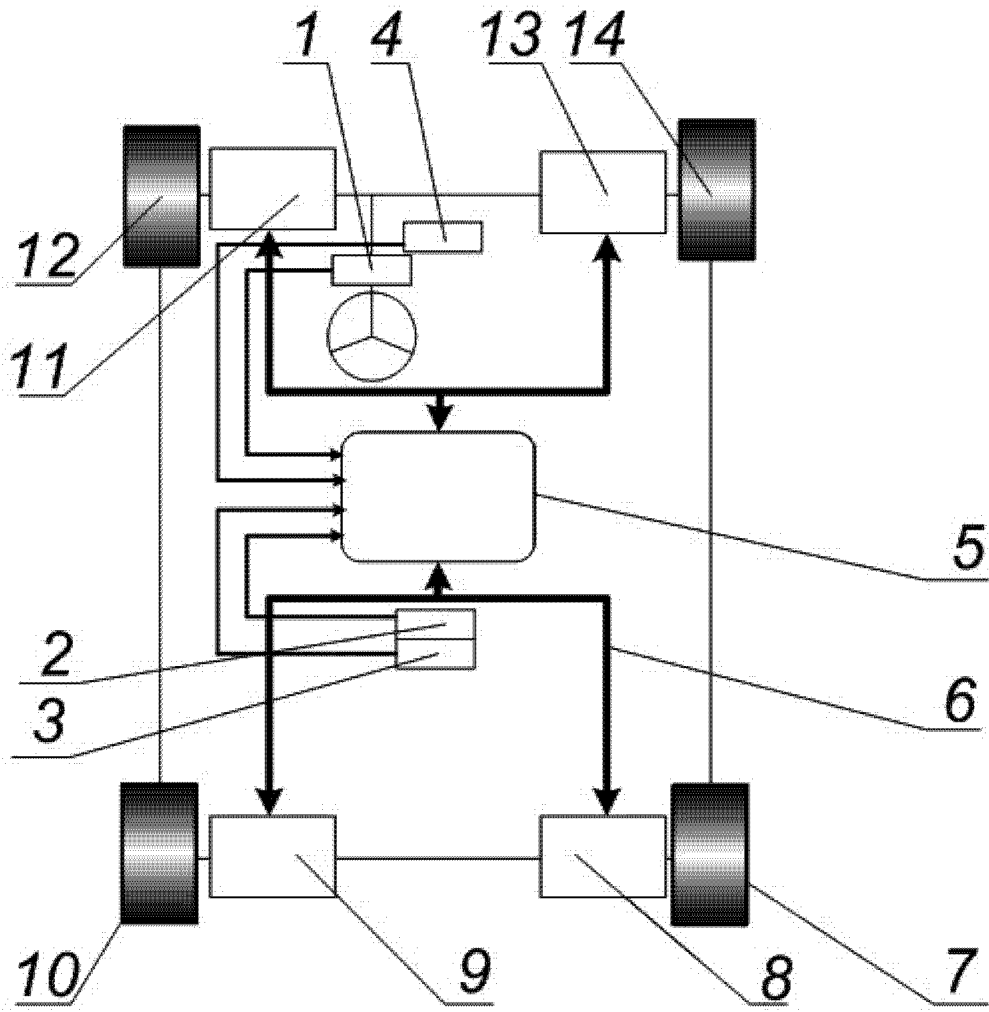


图 1

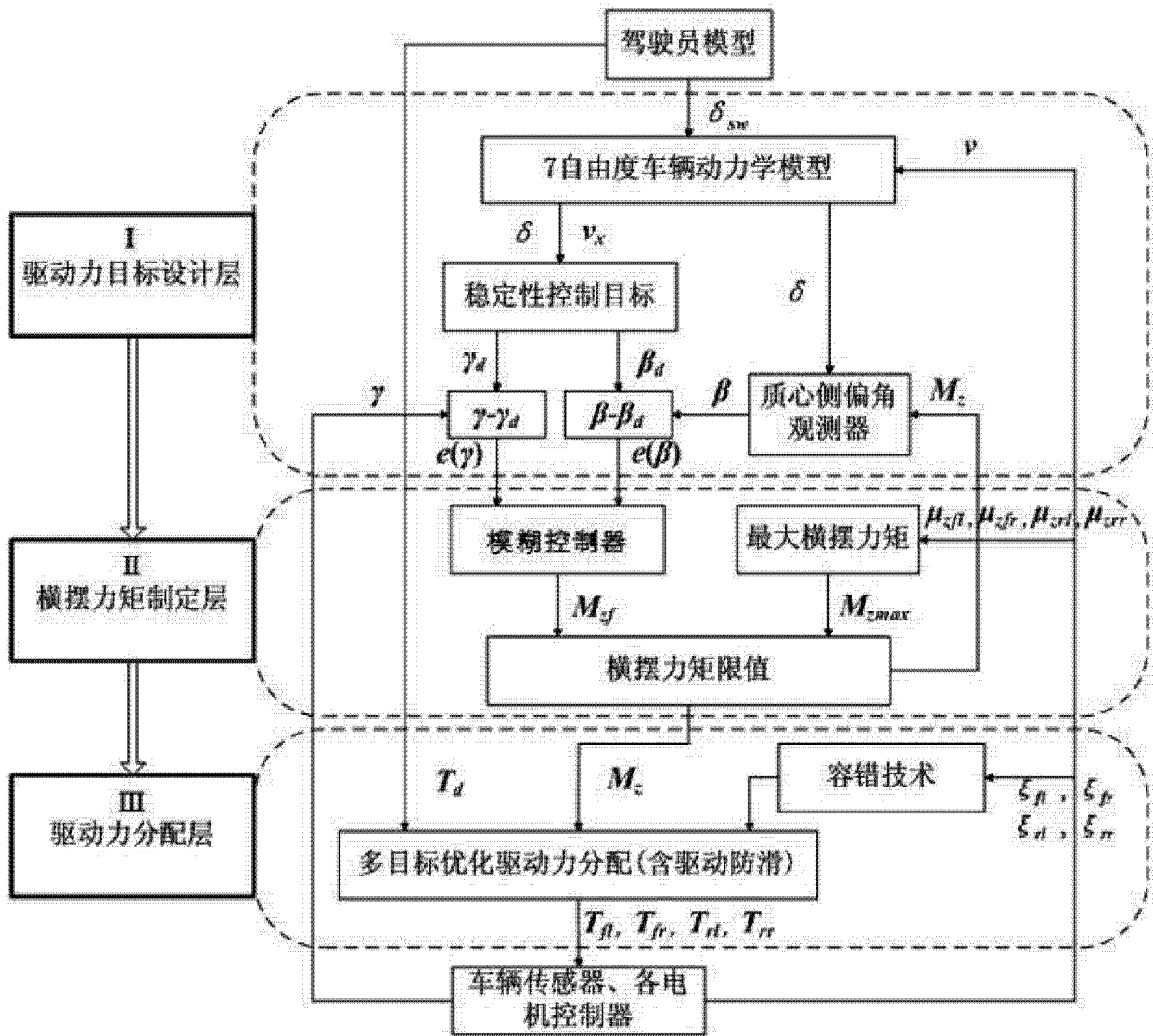


图 2