



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105109477 B

(45)授权公告日 2017.06.06

(21)申请号 201510571790.3

B60W 10/18(2012.01)

(22)申请日 2015.09.09

B60W 30/18(2012.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105109477 A

(56)对比文件

CN 104029677 A, 2014.09.10, 全文.

CN 103917402 A, 2014.07.09, 全文.

US 6087734 A, 2000.07.11, 全文.

(43)申请公布日 2015.12.02

(73)专利权人 北京理工大学

地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

熊璐,余卓平,姜炜,蒋造云.基于全轮纵向力优化分配的4WD车辆直接横摆力矩控制.《同济大学学报》.2010,第38卷(第3期),第417-421页.

(72)发明人 张承宁 刘明春 孙逢春 王志福 李军求

余卓平,冯源,熊璐.分布式驱动电动汽车动力学控制发展现状综述.《机械工程学报》.2013,第19卷(第8期),第105-111页.

(74)专利代理机构 北京市诚辉律师事务所 11430

审查员 张永明

代理人 郎坚

(51)Int.Cl.

B60W 10/08(2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种轮毂电机驱动车辆的转矩分配方法

(57)摘要

本申请涉及一种轮毂电机驱动车辆的转矩分配的方法,通过对轮毂电机和机械制动器的输出转矩进行分配,实现车辆操纵稳定性所需的整车目标控制力和力矩。所述转矩分配方法包含以下步骤:一、采用最优控制分配方法,根据整车需求纵向合力,整车需求侧向合力以及整车需求横摆力矩,对电动轮纵向力建立最优控制分配方程;二、根据建立的电动轮纵向力最优控制分配方程,求解得到各电动轮纵向力最优解,结合电动轮输出转矩与电动轮纵向力的关系,得到电动轮输出转矩;三、根据轮毂电机转矩与机械制动器转矩的关系,得到轮毂电机输出转矩和制动器输出转矩。



1. 一种轮毂电机驱动车辆的转矩分配方法,其特征在于,包含以下步骤:

一、采用最优控制分配方法,根据整车需求纵向合力,整车需求侧向合力以及整车需求横摆力矩,对电动轮纵向力建立最优控制分配方程,所述的电动轮纵向力在一定的约束条件内被求解,所述约束条件为电动轮的附着力极限和轮毂电机及制动器的输出转矩极限;

二、根据建立的电动轮纵向力最优控制分配方程,求解得到各电动轮纵向力最优解,结合电动轮输出转矩与电动轮纵向力的关系,得到电动轮输出转矩;

三、根据轮毂电机转矩与机械制动器转矩的关系,以及电动轮输出转矩,得到轮毂电机输出转矩和制动器输出转矩。

2. 如权利要求1所述的轮毂电机驱动车辆的转矩分配方法,其特征在于,所述建立的电动轮纵向力最优控制分配方程为带加权系数的二阶范数形式,最优控制分配方程表示如下:

$$u = \arg \min_{\underline{u} \leq u \leq \bar{u}} \left( \|W_u u\|^2 + \gamma \|W_v (Bu - v)\|^2 \right)$$

其中 $u$ 是由所有电动轮纵向力 $F_{xw_{ij}}$ 组成的列向量,下标 $i=1,2,\dots,n$ ;分别表示第一轴、第二轴、……、第 $n$ 轴,下标 $j$ 代表 $l$ 或 $r$ , $l$ 和 $r$ 分别表示左侧轮和右侧轮, $u = [F_{xw_{1l}}, F_{xw_{1r}}, F_{xw_{2l}}, F_{xw_{2r}}, \dots, F_{xw_{nl}}, F_{xw_{nr}}]^T$ , $\bar{u}$ 是电动轮纵向力 $F_{xw_{ij}}$ 的上约束边界, $\underline{u}$ 是电动轮纵向力 $F_{xw_{ij}}$ 的下约束边界, $W_u$ 是维数为电动轮个数的对角加权矩阵, $W_v = \text{diag}(W_{vF_{xc}}, W_{vF_{yc}}, W_{vM_{zc}})$ 是维数为目标控制力和力矩个数的对角加权矩阵, $W_{vF_{xc}}, W_{vF_{yc}}, W_{vM_{zc}}$ 分别为针对整车纵向合力、侧向合力和横摆力矩的权重系数, $B$ 为满足动力学方程的系数矩阵, $v = [F_{xc} \ F_{yc} \ M_{zc}]^T$ 是整车目标控制力和力矩组成的列向量, $F_{xc}$ 是整车需求纵向合力, $F_{yc}$ 是整车需求侧向合力, $M_{zc}$ 是整车需求横摆力矩, $\gamma$ 是值大于1000的加权系数。

3. 如权利要求2所述的轮毂电机驱动车辆的转矩分配方法,其特征在于,轮毂电机驱动车辆为 $8 \times 8$ 车辆,其中:

$$B = \begin{bmatrix} \cos \delta_{1l} & \cos \delta_{1r} & \cos \delta_{2l} & \cos \delta_{2r} & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \sin \delta_{1l} & \sin \delta_{1r} & \sin \delta_{2l} & \sin \delta_{2r} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \left( -\frac{D_b}{2} \cos \delta_{1l} \right) \left( \frac{D_b}{2} \cos \delta_{1r} \right) \left( -\frac{D_b}{2} \cos \delta_{2l} \right) \left( \frac{D_b}{2} \cos \delta_{2r} \right) & -\frac{D_b}{2} & \frac{D_b}{2} & -\frac{D_b}{2} & \frac{D_b}{2} & & & \\ \left( +L_1 \sin \delta_{1l} \right) \left( +L_1 \sin \delta_{1r} \right) \left( +L_2 \sin \delta_{2l} \right) \left( +L_2 \sin \delta_{2r} \right) & & & & & & & \end{bmatrix}$$

式中, $\delta_{ir}$ 和 $\delta_{il}$ 分别表示第 $i$ 轴的右侧轮和左侧轮的转向角, $D_b$ 为车辆左右侧轮距, $L_i$ 为第 $i$ 轴至质心的距离。

4. 如权利要求1-3任一项所述的轮毂电机驱动车辆的转矩分配方法,其特征在于,各个电动轮纵向力满足一定的约束条件,所述约束条件为:

$$\begin{aligned} & \max \left( -\sqrt{(\mu_{ij} F_{z_{wij}})^2 - F_{y_{wij}}^2}, \frac{-T_{m \max} i_g - T_{b \max}}{R_w} \right) \\ & \leq F_{x_{wij}} \leq \\ & \min \left( \sqrt{(\mu_{ij} F_{z_{wij}})^2 - F_{y_{wij}}^2}, \frac{T_{m \max} i_g}{R_w} \right) \end{aligned}$$

下标  $i = 1, 2, \dots, n$ ; 分别表示第一轴、第二轴、……、第  $n$  轴, 下标  $j$  代表  $l$  或  $r$ ,  $l$  和  $r$  分别表示左侧轮和右侧轮,  $\max$  是取最大值的函数,  $\min$  是取最小值的函数,  $T_{m \max}$  是电机最大输出驱动转矩,  $T_{b \max}$  是制动器最大输出制动转矩,  $i_g$  是轮边减速器的减速比,  $F_{z_{wij}}$  是电动轮的垂向载荷,  $F_{x_{wij}}$  是电动轮纵向力,  $F_{y_{wij}}$  是电动轮侧向力,  $R_w$  是电动轮滚动半径,  $\mu_{ij}$  是电动轮所处的路面附着系数。

5. 如权利要求 4 所述的轮毂电机驱动车辆的转矩分配方法, 其特征在于, 所述的电动轮纵向力最优控制分配方程中的一个目标函数为逼近误差目标函数, 意义在于所分配的电动轮纵向力在动力学关系上需要尽量逼近目标控制力和力矩, 即  $Bu$  与  $v$  之差尽量小, 表示如下:

$$J_1 = \arg \min_{u \leq u \leq \bar{u}} \|W_v (Bu - v)\|^2$$

最优控制分配方程中的另一个目标函数为性能目标函数, 意义在于所分配的电动轮纵向力的负荷率尽量地小, 表示为如下:

$$J_2 = \arg \min_{u \leq u \leq \bar{u}} \|W_u u\|^2$$

所述电动轮纵向力的负荷率是指电动轮纵向力与电动轮最大附着力之比, 表示为:

$$\rho_{ij} = \frac{F_{x_{wij}}}{\mu_{ij} F_{z_{wij}}}$$

式中,  $\mu_{ij}$  是电动轮所处的路面附着系数。

6. 如权利要求 5 所述的轮毂电机驱动车辆的转矩分配方法, 其特征在于, 所述步骤二中的求解得到各电动轮纵向力最优解, 结合电动轮输出转矩与电动轮纵向力的关系, 得到电动轮输出转矩, 是采用积极集算法, 之后由电动轮输出转矩与电动轮纵向力之间的关系求解各电动轮输出转矩, 所述关系如下:

$$T_{wheel_{ij}} = F_{x_{wij}} R_w$$

其中,  $T_{wheel_{ij}}$  是各电动轮输出转矩,  $R_w$  是电动轮滚动半径。

7. 如权利要求 1 所述的轮毂电机驱动车辆的转矩分配方法, 其特征在于, 步骤三中所述的根据轮毂电机转矩与机械制动器转矩的关系, 得到轮毂电机输出转矩和制动器输出转矩, 是在驱动时电动轮转矩完全由轮毂电机转矩提供; 制动时, 若轮毂电机能够提供足够的电制动力矩, 则只由轮毂电机输出制动转矩; 若轮毂电机无法提供足够的电制动力矩, 则制动器输出制动转矩进行补充。

## 一种轮毂电机驱动车辆的转矩分配方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于电动汽车和车辆动力学控制领域,涉及一种轮毂电机和制动器转矩分配方法,尤其是轮毂电机与制动器之间驱动转矩和制动转矩的分配方法。

### 背景技术

[0002] 轮毂电机驱动车辆是目前电动汽车领域中的研究热点之一。轮毂电机驱动系统独特的结构特点和布置方式,给车辆的底盘结构带来了技术革新,有利于优化车辆结构设计、发挥电动技术优势、挖掘车辆动力学控制潜能。

[0003] 轮毂电机驱动系统中,多个轮毂电机与制动器构成了一个执行器冗余系统,需要合理地分配所有轮毂电机和制动器之间的转矩,才能真正地发挥轮毂电机驱动车辆的性能优势。

[0004] 在目前的轮毂电机驱动车辆中,转矩分配的方法主要包括基于规则的分配方法,以及基于优化函数的控制分配方法。基于规则的方法重点在于转矩分配规则的制定,计算量小,求解速度快,但是,不能很好地处理轮毂电机和制动器的约束条件,其中的某些电动轮容易提前达到约束边界,而其他电动轮未充分发挥作用,以至于降低了总体控制效果。基于优化函数的控制分配方法的主要内容是目标函数的确定,以及约束条件下对目标函数的求解,目前常用的对目标函数的求解算法主要是基于数学关系的解析算法,求解速度快,转矩分配精度高,但是在一些复杂工况下难以满足实际的约束条件。通行的方法中,大多只是针对轮毂电机的输出转矩进行分配,而不考虑机械制动器的转矩分配,当需求的制动力矩较大时,轮毂电机的制动转矩达到饱和极限,而机械制动器却未发挥作用,因此存在一定的缺陷。

[0005] 因此,需要一种转矩分配方法,在对轮毂电机驱动车辆的轮毂电机和制动器进行转矩分配时,一方面需要充分考虑轮毂电机和制动器的约束条件,另一方面需要具有较高的分配精度。

### 发明内容

[0006] 本发明目的在于提供一种对轮毂电机驱动车辆的轮毂电机与制动器同时加以考虑来实现输出转矩分配的方法,通过求解最优控制分配方程,得到轮毂电机与制动器的最优输出转矩,实现转矩最优分配,尤其是针对四轴八轮车辆在计算中引入了整车需求侧向合力参数。

[0007] 本发明的目的通过以下操作步骤实现:

[0008] 一种轮毂电机驱动车辆的制动输出转矩分配方法,该分配方法的主要思路为:由整车控制方法得到所需的整车目标控制力和力矩后,首先通过控制电动轮纵向力实现所述的整车目标控制力和力矩,然后进一步通过控制轮毂电机和制动器的输出转矩实现电动轮纵向力。所述整车控制方法包含但不限于滑模变结构控制方法、PID控制方法、模糊控制方法。

[0009] 该方法包含以下步骤：

[0010] 一、采用最优控制分配方法，根据整车需求纵向合力，整车需求侧向合力以及整车需求横摆力矩，对电动轮纵向力的建立最优控制分配方程，；

[0011] 二、根据建立的电动轮纵向力最优控制分配方程，求解得到各电动轮纵向力最优解，结合电动轮输出转矩与电动轮纵向力的关系，得到各电动轮输出转矩；

[0012] 三、根据轮毂电机转矩与机械制动器转矩的关系，得到各轮毂电机输出转矩和制动器输出转矩。

[0013] 在本申请的一个优选实施方式中，步骤一中所述的根据建立的电动轮纵向力最优控制分配方程，求解得到各电动轮纵向力最优解，建立的电动轮纵向力的最优控制分配方程为带加权系数的二阶范数形式，所述的电动轮纵向力在一定的约束条件内被求解，所述约束条件为电动轮的附着力极限和轮毂电机及制动器的输出转矩极限。

[0014] 最优控制分配方程表示如下：

$$[0015] \quad u = \arg \min_{\underline{u} \leq u \leq \bar{u}} \left( \|W_u u\|^2 + \gamma \|W_v (Bu - v)\|^2 \right)$$

[0016] 式中，其中 $u$ 是由所有电动轮纵向力 $F_{xwi}$ 组成的列向量，下标 $i = 1, 2, \dots, n$ ；分别表示第一轴、第二轴、 $\dots$ 、第 $n$ 轴，下标 $j$ 代表 $l$ 或 $r$ ， $l$ 和 $r$ 分别表示左侧轮和右侧轮， $u = [F_{xw1l}, F_{xw1r}, F_{xw2l}, F_{xw2r}, \dots, F_{xwnl}, F_{xwnr}]$ ， $\bar{u}$ 是电动轮纵向力 $F_{xwi}$ 的上约束边界， $\underline{u}$ 是电动轮纵向力 $F_{xwi}$ 的下约束边界， $W_u$ 是维数为电动轮个数的对角加权矩阵， $W_v$ 是维数为目标控制力和力矩个数的对角加权矩阵， $B$ 是系数矩阵， $v$ 是整车目标控制力和力矩组成的列向量， $\gamma$ 是值大于1000的加权系数。

[0017] 在本申请的一个优选实施方式中，所述的电动轮纵向力最优控制分配方程中的一个目标函数为逼近误差目标函数，意义在于所分配的电动轮纵向力在动力学关系上需要尽量逼近目标控制力和力矩，即 $Bu$ 与 $v$ 之差尽量小，表示为如下：

$$[0018] \quad J_1 = \arg \min_{\underline{u} \leq u \leq \bar{u}} \|W_v (Bu - v)\|^2$$

[0019] 最优控制分配方程中的另一个目标函数为性能目标函数，意义在于所分配的电动轮纵向力的负荷率尽量地小，表示为如下：

$$[0020] \quad J_2 = \arg \min_{\underline{u} \leq u \leq \bar{u}} \|W_u u\|^2$$

[0021] 所述电动轮纵向力的负荷率是指电动轮纵向力与电动轮最大附着力之比，表示为：

$$[0022] \quad \rho_{ij} = \frac{F_{xwij}}{\mu_{ij} F_{zwij}}$$

[0023] 式中， $\mu_{ij}$ 是电动轮所处的路面附着系数。

[0024] 根据电动轮负荷率 $\rho_{ij}$ 的定义， $W_u$ 取为下式，则目标函数 $J_2$ 表示所有电动轮纵向力负荷率之和。

$$[0025] \quad W_u = \text{diag} \left( \frac{1}{\mu_{1l} F_{zwl1}}, \frac{1}{\mu_{1r} F_{zwlr}}, \dots, \frac{1}{\mu_{nl} F_{zwnl}}, \frac{1}{\mu_{nr} F_{zwnr}} \right) \quad (i=1, 2, \dots) \quad (5)$$

[0026] 采用积极集算法求解最优控制分配方程，得到电动轮纵向力最优解。

[0027] 求得电动轮纵向力最优解后,由电动轮输出转矩与电动轮纵向力之间的关系求解电动轮输出转矩,所述关系如下:

$$[0028] \quad T_{\text{wheel}ij} = F_{xwij} R_w$$

[0029] 式中,  $T_{\text{wheel}ij}$  是各电动轮输出转矩,  $R_w$  是电动轮滚动半径。

[0030] 在本申请的一个优选实施方式中,步骤三中所述的根据轮毂电机转矩与机械制动器转矩的关系,得到轮毂电机输出转矩和制动器输出转矩,是在驱动时,电动轮转矩完全由轮毂电机转矩提供;制动时,若轮毂电机能够提供足够的电制动力矩,则只由轮毂电机输出制动转矩;若轮毂电机无法提供足够的电制动力矩,则制动器输出制动转矩进行补充。所述的轮毂电机可以输出驱动转矩也可以输出制动转矩,所述的制动器只能输出制动转矩。

## 附图说明

[0031] 图1是本发明中控制分配方法的原理图;

[0032] 图2是实施例中车辆动力学关系图;

[0033] 图3是实施例中电动轮内的轮毂电机与制动器之间的转矩关系图。

## 具体实施方式

[0034] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以8×8轮毂电机驱动车辆的轮毂电机和制动器的输出转矩为分配对象,以本发明技术方案为前提进行实施,给出了详细的实施方式,本发明的保护范围包含而限于8轮车辆和4轮车辆。

[0035] 如附图1所示,所采用的整车控制方法包含但不限于滑模变结构控制方法、PID控制方法、模糊控制方法,得到车辆所需的目标控制力和力矩 $v$ 。由整车控制方法得到所需的整车目标控制力和力矩后,首先通过控制电动轮纵向力实现所述的整车目标控制力和力矩,然后进一步通过控制轮毂电机和制动器的输出转矩 $u$ 实现电动轮纵向力。

[0036] 考虑电动轮纵向力的约束条件,所述约束条件为电动轮的附着力极限和轮毂电机及制动器的输出转矩极限,表示为如下:

$$\max \left( -\sqrt{(\mu_{ij} F_{zwij})^2 - F_{ywij}^2}, \frac{-T_{m\max} i_g - T_{b\max}}{R_w} \right)$$

$$[0037] \quad \leq F_{xwij} \leq$$

$$\min \left( \sqrt{(\mu_{ij} F_{zwij})^2 - F_{ywij}^2}, \frac{T_{m\max} i_g}{R_w} \right)$$

[0038] 下标 $i=1,2,\dots,n$ ;分别表示第一轴、第二轴、……、第 $n$ 轴,下标 $j$ 代表 $l$ 或 $r$ , $l$ 和 $r$ 分别表示左侧轮和右侧轮, $\max$ 是取最大值的函数, $\min$ 是取最小值的函数, $T_{m\max}$ 是电机最大输出驱动转矩, $T_{b\max}$ 是制动器最大输出制动转矩, $i_g$ 是轮边减速器的减速比, $F_{zwij}$ 是电动轮的垂向载荷, $F_{xwij}$ 是电动轮纵向力, $F_{ywij}$ 是电动轮侧向力, $R_w$ 是电动轮滚动半径, $\mu_{ij}$ 是电动轮所处的路面附着系数。

[0039] 最优控制分配方程表示如下:

$$[0040] \quad u = \arg \min_{u \leq u_{\max}} \left( \|W_u u\|^2 + \gamma \|W_v (Bu - v)\|^2 \right) \quad (1)$$

[0041] 式中, $u$ 是由所有电动轮纵向力 $F_{xwij}$ 组成的列向量,下标 $i=1,2,\dots,n$ ;分别表示

第一轴、第二轴、……、第n轴,下标j代表l或r,l和r分别表示左侧轮和右侧轮, $u = [F_{xw1l}, F_{xw1r}, F_{xw2l}, F_{xw2r}, \dots, F_{xwnl}, F_{xwnr}]^T$ , $\bar{u}$ 是电动轮纵向力 $F_{xwi_j}$ 的上约束边界, $\underline{u}$ 是电动轮纵向力 $F_{xwi_j}$ 的下约束边界, $W_u$ 是维数为电动轮个数的对角加权矩阵, $W_v$ 是维数为目标控制力和力矩个数的对角加权矩阵, $B$ 是系数矩阵, $v$ 是目标控制力和力矩组成的列向量, $\gamma$ 是值大于1000的加权系数。

[0042] 所述的电动轮纵向力最优控制分配方程中的一个目标函数为逼近误差目标函数,意义在于所分配的电动轮纵向力在动力学关系上需要尽量逼近目标控制力和力矩,即 $Bu$ 与 $v$ 之差尽量小,表示为如下:

$$[0043] \quad J_1 = \arg \min_{\underline{u} \leq u \leq \bar{u}} \|W_v (Bu - v)\|^2 \quad (2)$$

[0044] 式(1)中,控制分配方程中的另一个目标函数为性能目标函数,意义在于所分配的电动轮纵向力的负荷率尽量地小,表示为如下:

$$[0045] \quad J_2 = \arg \min_{\underline{u} \leq u \leq \bar{u}} \|W_u u\|^2 \quad (3)$$

[0046] 所述电动轮纵向力的负荷率是指电动轮纵向力与电动轮最大附着力之比,表示为:

$$[0047] \quad \rho_{ij} = \frac{F_{xwij}}{\mu_{ij} F_{zwij}} \quad (4)$$

[0048] 式中, $\mu_{ij}$ 是电动轮所处的路面附着系数。

[0049] 根据电动轮负荷率 $\rho_{ij}$ 的定义, $W_u$ 取为式(5),则目标函数 $J_2$ 表示所有电动轮纵向力负荷率之和。

$$[0050] \quad W_u = \text{diag}\left(\frac{1}{\mu_{1l} F_{zw1l}}, \frac{1}{\mu_{1r} F_{zw1r}}, \frac{1}{\mu_{2l} F_{zw2l}}, \frac{1}{\mu_{2r} F_{zw2r}}, \frac{1}{\mu_{3l} F_{zw3l}}, \frac{1}{\mu_{3r} F_{zw3r}}, \frac{1}{\mu_{4l} F_{zw4l}}, \frac{1}{\mu_{4r} F_{zw4r}}\right) \quad (5)$$

[0051] 由附图2的车辆动力学关系图,式(1)中的有关变量如下:

[0052]  $v$ 为由整车目标控制力和力矩组成的列向量

$$[0053] \quad v = [F_{xc} \ F_{yc} \ M_{zc}]^T \quad (6)$$

[0054] 式中, $F_{xc}$ 是整车需求纵向合力, $F_{yc}$ 是整车需求侧向合力, $M_{zc}$ 是整车需求横摆力矩。

[0055]  $u$ 为由电动轮纵向力组成的列向量

$$[0056] \quad u = [F_{xw1l} \ F_{xw1r} \ F_{xw2l} \ F_{xw2r} \ F_{xw3l} \ F_{xw3r} \ F_{xw4l} \ F_{xw4r}]^T \quad (7)$$

[0057]  $B$ 为满足动力学方程的系数矩阵

$$[0058] \quad B = \begin{bmatrix} \cos \delta_{1l} & \cos \delta_{1r} & \cos \delta_{2l} & \cos \delta_{2r} & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \sin \delta_{1l} & \sin \delta_{1r} & \sin \delta_{2l} & \sin \delta_{2r} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \left(-\frac{D_b}{2} \cos \delta_{1l}\right) & \left(\frac{D_b}{2} \cos \delta_{1r}\right) & \left(-\frac{D_b}{2} \cos \delta_{2l}\right) & \left(\frac{D_b}{2} \cos \delta_{2r}\right) & -\frac{D_b}{2} & \frac{D_b}{2} & -\frac{D_b}{2} & \frac{D_b}{2} \\ \left(+L_1 \sin \delta_{1l}\right) & \left(+L_1 \sin \delta_{1r}\right) & \left(+L_2 \sin \delta_{2l}\right) & \left(+L_2 \sin \delta_{2r}\right) & & & & \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0059] 式中, $\delta_{ir}$ 和 $\delta_{il}$ 分别表示第*i*轴的右侧轮和左侧轮的转向角, $D_b$ 为车辆左右侧轮距,

$L_i$ 为第*i*轴至质心的距离。

[0060]  $W_v$ 和 $W_u$ 都为对角加权矩阵

[0061]  $W_v = \text{diag}(W_{vFxc}, W_{vFyc}, W_{vMzc})$  (9)

[0062] 式中,  $W_{vFxc}$ ,  $W_{vFyc}$ ,  $W_{vMzc}$ 分别为针对整车纵向合力、侧向合力和横摆力矩的权重系数。这三个系数可以实现对车辆运动状态的调整,例如:当需要对车辆的纵向车速、质心侧偏角和横摆角速度联合控制时,则 $W_{vFxc} = W_{vFyc} = W_{vMzc} = 1$ ;当不需要对某个状态进行控制时,则使响应的权重系数为0,如,不需要对质心侧偏角进行控制时,则令 $W_{vFyc} = 0$ 。

[0063] 采用积极集算法求解带约束条件的最优控制分配方程式(1),得到电动轮纵向力的最优分配。

[0064] 求得电动轮纵向力最优解后,由电动轮输出转矩与电动轮纵向力之间的关系求解电动轮输出转矩,所述关系如下:

[0065]  $T_{\text{wheel}ij} = F_{xw}ij R_w$  (10)

[0066] 式中,  $T_{\text{wheel}ij}$ 是各电动轮输出转矩,  $R_w$ 是电动轮滚动半径。

[0067] 最后,根据电动轮内部的轮毂电机输出转矩与制动器输出转矩之间的关系,得到轮毂电机和制动器的输出转矩,所述关系如附图3所示,表示:驱动时,电动轮转矩完全由轮毂电机转矩提供;制动时,若轮毂电机能够提供足够的电制动力矩,则只由轮毂电机输出制动转矩;若轮毂电机无法提供足够的电制动力矩,则制动器输出制动转矩进行补充。所述的轮毂电机可以输出驱动转矩也可以输出制动转矩,所述的制动器只能输出制动转矩。

[0068] 根据上述以轮毂电机输出转矩为主,以制动器输出转矩为辅的原则,当电动轮转矩可以完全由轮毂电机提供时,则制动器不输出转矩;当电动轮转矩超出轮毂电机的输出能力时(只有在制动时才会出现),轮毂电机输出最大的电制动力,然后由制动器进行补偿表示为如下:

[0069] 1) 当 $-T_{\text{max}ig} \leq T_{\text{wheel}ij} \leq T_{\text{max}ig}$ 时,有

[0070]  $T_{mij} = \frac{T_{\text{wheel}ij}}{i_g}, T_{bij} = 0$  (11)

[0071] 2)  $-T_{\text{max}ig} - T_{\text{bmax}} \leq T_{\text{wheel}ij} \leq -T_{\text{max}ig}$ 时,有

[0072]  $T_{mij} = -T_{\text{max}}, T_{bij} = -(T_{\text{wheel}ij} + T_{\text{max}ig})$  (12)

[0073] 式中,  $T_{mij}$ 表示各轮毂电机的输出转矩,  $T_{bij}$ 表示各制动器的输出转矩,  $T_{\text{max}}$ 表示电机最大输出转矩,  $T_{\text{wheel}ij}$ 表示各电动轮端输出转矩,  $i_g$ 表示轮边减速器变比,下标*i*=1、2、3、4,分别表示第一轴、第二轴、第三轴和第四轴,下标*j*为r或l, r和l分别表示右侧轮和左侧轮。

[0074] 这里本发明的描述和应用是说明性的,并不是排他性地将本发明的应用范围限制于所述实施例。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员而言,在不脱离本发明原理的前提下,所述实施例的变形和改变是可能的。



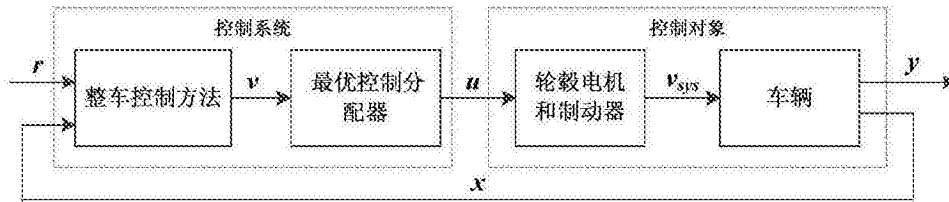


图1

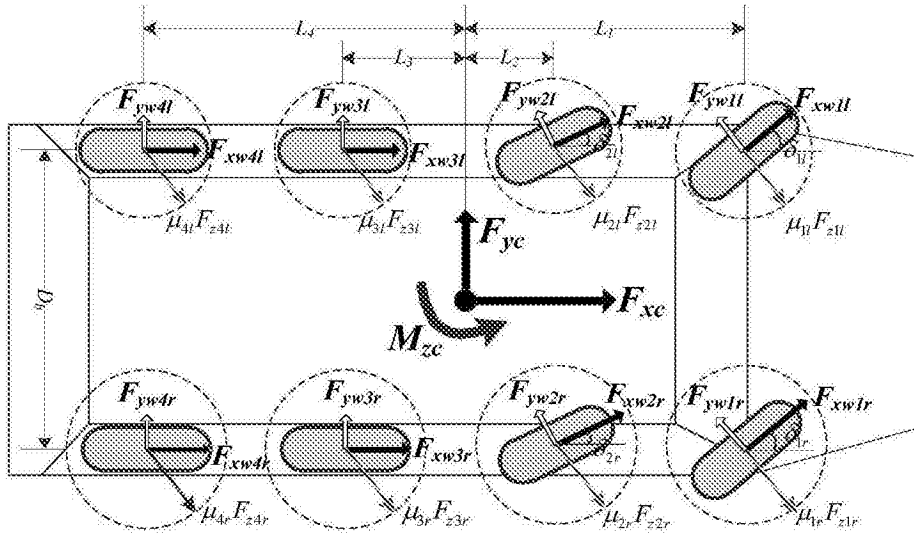


图2

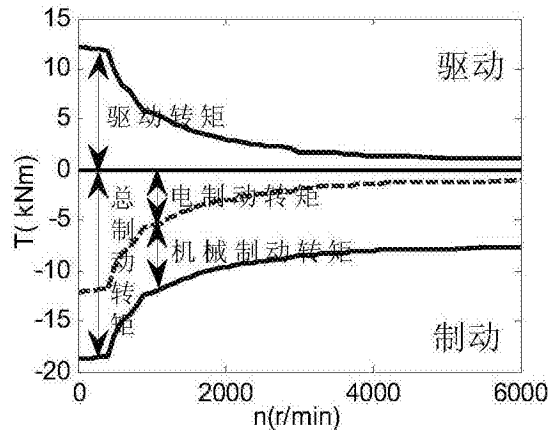


图3