



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106428204 B

(45)授权公告日 2018.11.09

(21)申请号 201611023984.0

(22)申请日 2016.11.15

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106428204 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(73)专利权人 南京航空航天大学
地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

(72)发明人 栾众楷 赵万忠 王春燕

(74)专利代理机构 江苏圣典律师事务所 32237
代理人 贺翔

(51)Int.Cl.
B62D 6/00(2006.01)
B62D 101/00(2006.01)
B62D 119/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 206589958 U,2017.10.27,
CN 105416392 A,2016.03.23,
CN 103057585 A,2013.04.24,
JP 2004-114857 A,2004.04.15,
CN 102180193 A,2011.09.14,
CN 102009686 A,2011.04.13,

审查员 丁培丽

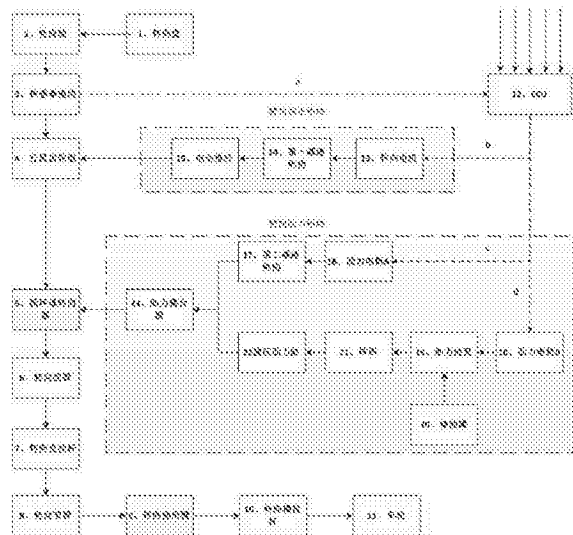
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种主动复合转向系统、转矩控制装置及转矩控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种主动复合转向系统、转矩控制装置及转矩控制方法,其中,主动复合转向系统中的转角修正模块通过行星齿轮机构、转向电机等机构,向机械转向机构提供附加转角,实现转向系统的变传动比控制;转向助力模块通过电动助力执行机构、液压助力执行机构依据车辆工况向机械转向机构输出助力。本发明实现了主动复合转向系统良好的鲁棒性以及助力跟踪性能。



1. 一种主动复合转向系统的转矩控制装置,其特征在于,包括:控制器A、控制器B、信息处理模块、信号比较模块;

所述的控制器A为主动复合转向系统的主控制器,基于鲁棒混合灵敏度控制理论进行设计;

经滤波处理的车辆工况信号b输入控制器A中的目标信号计算模块,计算控制器A的目标函数,鲁棒混合灵敏度控制器与转向系统模型G(S)构成闭环系统,目标信号计算模块运算结果e、控制器A的输出f作为闭环系统的输入,助力电机控制信号c为控制器A的干扰输入,经加权模块 W_w 加权处理后传递到闭环系统,计算控制器A的应输出的控制电流,并输出结果至信号比较模块;

所述的控制器B为余度控制器,基于模糊自适应PID控制器算法,包括PID调节器、模糊推理模块、微分环节及转向系统模型G构成闭环系统,通过微分环节得到输入信号的变化率,模糊推理模块通过输入信号及其变化率对PID调节器的控制参数 K_p 、 K_i 、 K_d 进行自适应整定,控制器B的输出作为主控制器的修正参考;依照信息处理模块的输入经滤波处理的车辆工况信号d和控制逻辑,向主控制器A提供修正参考;

所述的信息处理模块接收传感器模块测得的车速信号、转角信号、转向盘转矩信号,并对信号进行判断,向控制器A、控制器B输出控制信号;控制器A、控制器B依照输入信号进行求解并输出控制电流至信号比较模块,信号比较模块对控制器A、B输出误差进行分析,并向转角修正模块的转向电机、转向助力模块的助力电机A、助力电机B输出控制电流,驱动相应执行机构工作,并将执行机构助力输出至助力耦合器,助力耦合器将经耦合的助力输出至机械转向结构,实现动力转向。

2. 一种主动复合转向系统的转矩控制方法,其特征在于,包括如下步骤:

1) 通过转向盘向主动复合转向系统输入转向力矩,力矩通过转向轴传递至行星齿轮组输入太阳轮;

2) 电子控制单元根据传感器模块测得的车速信号、转角信号、转向盘转矩信号,计算得到主动复合转向系统总助力电流大小;

3) 电子控制单元将总助力电流大小和车辆当前工况参数输入余度控制器模块,对车辆当前所需转向模式进行判断,并输出控制电流至转向电机、助力电机A和助力电机B,控制转角修正模块、转向助力模块输出相应助力,实现主动转向控制和多模式动力转向控制;

具体包括:

11) 控制器A通过限制干扰输入 $w = [\theta_s, Q_s, T_R]^T$ 到控制输出 $u = [T_{em}]$ 的传递函数的 H_2 范数,来限制控制器输出能量的大小;通过限制干扰输入到评价输出 $e = [z_1, z_2, z_3]^T$ 传递函数的 H_∞ 范数小于给定值,基于 H_∞ 混合灵敏度中的S/T问题进行设计,其目标及约束条件为:

$$\begin{cases} \text{Min: } \|W_3(s)K(s)(I-KG)^{-1}\|_2 \\ \text{St: } \begin{cases} \|W_1(s)(I-KG)^{-1}\| < 1 \\ \|W_2(s)KG(I-KG)^{-1}\|_\infty < 1 \end{cases} \end{cases}$$

式中, $K(s)$ 为反馈控制器, $W_1(s)$ 、 $W_2(s)$ 和 $W_3(s)$ 分别表示系统三个评价输出跟踪性能、控制器输出、鲁棒性能的加权函数,通过 $W_1(s)$ 、 $W_2(s)$ 和 $W_3(s)$ 三个性能加权函数分别调整系统相应的评价输出的大小;

控制器A将控制结果 y_1 输出信号至信号比较模块;

12) 控制器B,其输入 e 、 ec 模糊论域为: $[-1.5, 1.5]$,输出变量 K_p 、 K_d 模糊论域为 $[-3.3, 3.3]$, K_i 模糊论域为 $[-0.5, 0.5]$;

其中, K_p 模糊规则表为:

K_p 模糊规则表

| | NB | NM | NS | Z | PS | PM | PB |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| NB | PB | PB | PB | NM | NM | Z | Z |
| NM | PB | PB | NS | NM | NM | Z | PB |
| NS | PM | PM | NS | NS | Z | PB | PB |
| Z | PM | PM | NS | Z | PB | PS | PS |
| PS | PS | PS | Z | NB | NB | PS | PS |
| PM | PS | Z | NB | PM | NB | NB | NB |
| PB | Z | Z | NM | PM | PM | NB | NB |

控制器B将控制结果 y_2 输出信号至信号比较模块,与控制器A的结果进行比较;

13) 定义误差系数 $\epsilon_e=0.15T_d^*$,其中, T_d^* 为理想助力大小,若 $|y_1-T_d^*| < \epsilon_e$,系统默认 y_1 为系统输出;若 $|y_1-T_d^*| > \epsilon_e$,则通过控制器B的输出结果 y_2 对系统输出进行修正,修正公式为:

$$y^* = K_1y_1 + K_2y_2$$

输出公式为:

$$y^* = \begin{cases} K_1y_1 + K_2y_2 & |y_1 - T_d^*| > \epsilon_e \\ y_1 & |y_1 - T_d^*| < \epsilon_e \end{cases}$$

式中, K_1 、 K_2 为修正系数。

一种主动复合转向系统、转矩控制装置及转矩控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及汽车助力转向系统控制技术领域,具体指代一种主动复合转向系统、转矩控制装置及转矩控制方法。

背景技术

[0002] 采用固定传动比的传统转向系统,易出现低速下转向盘沉重、高速下转向过度等危险工况,极大的影响了汽车的操纵稳定性。近年来,主动前轮转向(AFS)系统得到了国内外专家学者的广泛关注,除了传统的转向助力功能外,主动前轮转向系统能够在驾驶员输入的基础上对转向系统施加主动附加转角,从而实现变传动比和转向干预稳定性控制等功能。

[0003] 宝马与ZF公司联合开发了一种机械式的主动前轮转向系统,并已成功装备于宝马3系和5系列车上。该系统在传统电动液压助力转向系统的基础上,在转向盘和齿轮齿条转向器之间的转向柱上安装了一套双行星齿轮系机构,通过伺服电机驱动双行星齿轮组实现转向转角叠加功能,

[0004] 德国ZF公司和Bosch公司合作开发了一种主动转向系统,它可以在转向盘输入的基础上实现对汽车前轮转角的主动控制。其主动转向功能通过一套机电转角执行机构来实现,该机构由谐波齿轮与伺服电机组成,可以被安装在传统电动助力或电动液压助力转向系统的转向管柱上,也可以选择安装在齿轮齿条转向器上。

[0005] 现有采用的液压助力转向系统的汽车在低速工况下可提供较大的助力,减轻驾驶员转向时负担;但在高速工况下转向路感较差,操纵稳定性存在问题;电动助力转向系统由控制器、助力电机、减速机构、转向盘、及传感器模块等组成,控制器接收传感器模块测得的转向盘转矩信号和车速信号并进行处理,控制电机根据事先确定的助力特性输出助力转矩。但受汽车本身蓄电池电压等电气特性影响,其输出的最大助力矩较小,不满足大型客车等车辆的需求。

[0006] 因此,在液压助力转向系统中融合电动助力模块,可实现车辆低速时的转向轻便性和高速时良好的路感;实现可变传动比功能,可进行主动转向干预,实现了汽车的操纵稳定性与驾驶舒适性的有机融合,是一种理想转向系统,具有广阔的应用前景。

发明内容

[0007] 针对于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种主动复合转向系统、转矩控制装置及转矩控制方法,以解决现有技术中转向系统传动比固定、液压助力转向系统在高速工况下转向路感、助力可调性较差等问题。

[0008] 为达到上述目的,本发明的一种主动复合转向系统,该系统包括:转向盘、转向轴、传感器模块、行星齿轮组、循环球式转向器、转向摇臂、转向直拉杆、转向节臂、转向梯形臂、转向横拉杆、车轮、电子控制单元、转角修正模块、转向助力模块;

[0009] 所述的转向盘连接转向轴的力矩输入端,传感器模块置于转向轴的力矩输出端和

行星齿轮组输入端之间,并与电子控制单元相连接,转角修正模块向行星齿轮组提供修正力矩,合力矩经行星齿轮组输出端、循环球式转向器、转向摇臂、转向直拉杆、转向节臂、转向梯形臂、转向横拉杆输出至车轮,转向助力模块向循环球转向器提供转向助力矩;

[0010] 所述的转角修正模块包括:转向电机、第一减速机构、电动推杆;电子控制单元通过电机控制信号b对转向电机进行控制,助力矩经第一减速机构减速增矩后传递给电动推杆,到行星齿轮组下齿圈,实现变传动比控制;

[0011] 所述的转向助力模块包括:助力电机A、第二减速机构、助力电机B、助力油泵、储油罐、转阀、液压助力缸、助力耦合器;其中,助力电机A、第二减速机构组成电动助力模块,电子控制单元通过助力电机控制信号c对助力电机A进行控制,助力矩经第二减速机构减速增矩后传递给助力耦合器;助力电机B、助力油泵、储油罐、转阀、液压助力缸组成液压助力模块,电子控制单元通过助力电机控制信号d对助力电机B进行控制,驱动助力油泵将助力油液从储油罐经转阀泵入液压助力缸,助力油液通过转阀开度不同流入液压助力缸两侧,在液压助力缸两端形成压差,从而产生助力,助力矩传递给助力耦合器,助力耦合器将合力矩传递至循环球式转向器。

[0012] 优选地,所述的行星齿轮组由双行星齿轮系组成,其中转向轴与输入太阳轮相连,力矩经输入太阳轮、行星轮、行星架、齿圈到输出太阳轮,与下方的循环球转向器相连。

[0013] 优选地,所述的助力电机A、助力电机B及转向电机采用无刷直流电机。

[0014] 优选地,所述的第一、第二减速机构采用蜗轮蜗杆机构。

[0015] 优选地,所述的助力油泵采用双作用叶片泵。

[0016] 优选地,上述传感器模块包括扭矩传感器、车速传感器。

[0017] 本发明的一种主动复合转向系统的转矩控制装置,其包括:控制器A、控制器B、信息处理模块、信号比较模块;

[0018] 所述的控制器A为主动复合转向系统的主控制器,基于鲁棒混合灵敏度控制理论进行设计;经滤波处理的车辆工况信号b输入控制器A中的目标信号计算模块,计算控制器A的目标函数,鲁棒混合灵敏度控制器与转向系统模型G(S)构成闭环系统,目标信号计算模块运算结果e、控制器A的输出f作为闭环系统的输入,所述信号c为控制器A的干扰输入,经加权模块 W_w 加权处理后传递到闭环系统,计算控制器A的应输出的控制电流,并输出结果至信号比较模块;

[0019] 所述的控制器B为余度控制器,基于模糊自适应PID控制器算法,包括PID调节器、模糊推理模块、微分环节及转向系统模型G构成闭环系统,通过微分环节得到输入信号的变化率,模糊推理模块通过输入信号及其变化率对PID调节器的控制参数 K_p 、 K_i 、 K_d 进行自适应整定,控制器B的输出作为主控制器的修正参考;依照信息处理模块的输入经滤波处理的车辆工况信号d和控制逻辑,向主控制器A提供修正参考;

[0020] 所述的信息处理模块接收传感器模块测得的车速信号、转角信号、转向盘转矩信号,并对信号进行判断,向控制器A、控制器B输出控制信号;控制器A、控制器B依照输入信号进行求解并输出控制电流至信号比较模块,信号比较模块对控制器A、B输出误差进行分析,并向转角修正模块的转向电机、转向助力模块的助力电机A、助力电机B输出控制电流,驱动相应执行机构工作,并将执行机构助力输出至助力耦合器,助力耦合器将经耦合的助力输出至机械转向结构,实现动力转向。

[0021] 本发明的一种主动复合转向系统的转矩控制方法,包括如下步骤:

[0022] 1)通过转向盘向主动复合转向系统输入转向力矩,力矩通过转向轴传递至行星齿轮组输入太阳轮;

[0023] 2)电子控制单元根据传感器模块测得的车速信号、转角信号、转向盘转矩信号,计算得到主动复合转向系统总助力电流大小;

[0024] 3)电子控制单元将总助力电流大小和车辆当前工况参数输入余度控制器模块,对车辆当前所需转向模式进行判断,并输出控制电流至转向电机、助力电机A和助力电机B,控制转角修正模块、转向助力模块输出相应助力,实现主动转向控制和多模式动力转向控制;

[0025] 具体包括:

[0026] 11)控制器A通过限制干扰输入 $w = [\theta_s \ Q_s \ T_R]^T$ 到控制输出 $u = [T_{em}]$ 的传递函数的 H_2 范数,来限制控制器输出能量的大小;通过限制干扰输入到评价输出 $e = [z_1, z_2, z_3]^T$ 传递函数的 H_∞ 范数小于给定值,基于 H_∞ 混合灵敏度中的S/T问题进行设计,其目标及约束条件为:

$$[0027] \begin{cases} \text{Min: } \|W_3(s)K(s)(I-KG)^{-1}\|_2 \\ \text{St: } \begin{cases} \|W_1(s)(I-KG)^{-1}\|_\infty < 1 \\ \|W_2(s)KG(I-KG)^{-1}\|_\infty < 1 \end{cases} \end{cases}$$

[0028] 式中, $K(s)$ 为反馈控制器, $W_1(s)$, $W_2(s)$ 和 $W_3(s)$ 分别表示系统三个评价输出跟踪性能、控制器输出、鲁棒性能的加权函数,通过 $W_1(s)$, $W_2(s)$ 和 $W_3(s)$ 三个性能加权函数分别调整系统相应的评价输出的大小;

[0029] 控制器A将控制结果 y_1 输出信号至信号比较模块;

[0030] 12)控制器B,其输入 e 、 e_c 模糊论域为: $[-1.5, 1.5]$,输出变量 K_p 、 K_d 模糊论域为 $[-3.3, 3.3]$, K_i 模糊论域为 $[-0.5, 0.5]$;

[0031] 其中, K_p 模糊规则表为:

[0032] K_p 模糊规则表

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | NB | NM | NS | Z | PS | PM | PB |
| NB | PB | PB | PB | NM | NM | Z | Z |
| NM | PB | PB | NS | NM | NM | Z | PB |
| NS | PM | PM | NS | NS | Z | PB | PB |
| Z | PM | PM | NS | Z | PB | PS | PS |
| PS | PS | PS | Z | NB | NB | PS | PS |
| PM | PS | Z | NB | PM | NB | NB | NB |
| PB | Z | Z | NM | PM | PM | NB | NB |

[0034] 控制器B将控制结果 y_2 输出信号至信号比较模块,与控制器A的结果进行比较;

[0035] 13)定义误差系数 $\epsilon_e = 0.15T_d^*$,其中, T_d^* 为理想助力大小,若 $|y_1 - T_d^*| < \epsilon_e$,系统默认 y_1 为系统输出;若 $|y_1 - T_d^*| > \epsilon_e$,则通过控制器B的输出结果 y_2 对系统输出进行修正,修正公式为:

[0036] $y^* = K_1y_1 + K_2y_2$

[0037] 输出公式为:

$$[0038] \quad y^* = \begin{cases} K_1 y_1 + K_2 y_2 & |y_1 - T_d^*| > \varepsilon_e \\ y_1 & |y_1 - T_d^*| < \varepsilon_e \end{cases}$$

[0039] 式中, K_1 、 K_2 为修正系数。

[0040] 本发明的有益效果:

[0041] 通过转向电机、行星齿轮机构对转向系统进行变传动比控制,从而在电-液复合助力转向的基础之上实现主动转向的功能,通过主动转向干预将汽车助力转向的经济性与灵活性相结合;

[0042] 综合考虑车速、转向盘转速等对电-液复合转向系统的影响,在车辆处于不同状态时,利用余度控制器对主控制器输出结果进行自适应判断并修正,兼顾系统的鲁棒性能和系统的动态性能,有效抑制路面随机激励、传感器模块的测量噪声、模型参数不确定所引起的各种干扰和噪声,提高了转向盘转矩控制精度,提高了车辆驾驶的操纵稳定性,实现汽车转向轻便性和转向路感的完美融合,因此具有广阔的市场应用前景。

附图说明

[0043] 图1绘示本发明主动复合转向系统的结构原理框图;

[0044] 图2绘示本发明主动复合转向系统的转矩控制装置原理框图;

[0045] 图3绘示本发明转矩控制方法的原理图。

具体实施方式

[0046] 为了便于本领域技术人员的理解,下面结合实施例与附图对本发明作进一步的说明,实施方式提及的内容并非对本发明的限定。

[0047] 参照图1所示,本发明的本发明的一种主动复合转向系统,该系统包括:转向盘1、转向轴2、传感器模块3、行星齿轮组4、循环球式转向器5、转向摇臂6、转向直拉杆7、转向节臂8、转向梯形臂9、转向横拉杆10、车轮11、电子控制单元(ECU)12、转角修正模块、转向助力模块;

[0048] 所述的转向盘1连接转向轴2的力矩输入端,传感器模块3置于转向盘1与转向轴2之间,并与电子控制单元12相连接,转向轴2的力矩输出端与行星齿轮组4输入端相连,转角修正模块向行星齿轮组4提供修正力矩,合力矩经行星齿轮组输出端、循环球式转向器5、转向摇臂6、转向直拉杆7、转向节臂8、转向梯形臂9、转向横拉杆10输出至车轮11,转向助力模块向循环球转向器5提供转向助力矩;

[0049] 所述的传感器模块3中的扭矩传感器为基于无线供电、无线输出的非接触式轴式扭矩传感器,与向位差式、滑环式相比,克服了不便于低速测量、体积庞大等问题,以及不能长时间连续测量的问题;传感器模块向电子控制单元12输出测量信号a。

[0050] 所述的行星齿轮组4由双行星齿轮系组成,其中转向轴与输入太阳轮相连,力矩经输入太阳轮、行星轮、行星架、齿圈到输出太阳轮,将力矩传递到下方的循环球转向器。

[0051] 所述的转角修正模块包括:转向电机13、第一减速机构14、电动推杆15;电子控制单元12通过电机控制信号b对转向电机13进行控制,助力矩经第一减速机构14减速增矩后传递给电动推杆15,到行星齿轮组下齿圈,实现变传动比控制。

[0052] 所述的转向助力模块包括:助力电机A16、第二减速机构17、助力电机B18、助力油

泵19、储油罐20、转阀21、液压助力缸22、助力耦合器23;其中,助力电机A16、第二减速机构17组成电动助力模块,电子控制单元12通过助力电机控制信号c对助力电机A进行控制,助力矩经第二减速机构减速增矩后传递给助力耦合器23;助力电机B18、助力油泵19、储油罐20、流量控制阀、转阀21、液压助力缸22组成液压助力模块,电子控制单元12通过助力电机控制信号d对助力电机B进行控制,驱动助力油泵将助力油液从储油罐20经转阀21泵入液压助力缸,助力油液通过转阀21开度不同流入液压助力缸两侧,在液压助力缸两端形成压差,从而产生助力,助力矩传递给助力耦合器,助力耦合器将两组助力执行机构输入的合力进行耦合运算,助力耦合器将合力矩传递至循环球式转向器,实现转向助力。

[0053] 其中,所述的助力电机A、助力电机B及转向电机采用无刷直流电机。

[0054] 其中,所述的第一、第二减速机构采用蜗轮蜗杆机构。

[0055] 其中,所述的助力油泵采用双作用叶片泵。

[0056] 所述电子控制单元12由CPU、信号采集与处理电路、驱动电路、监测电路等部分组成,其中CPU为8位或16位单片机。

[0057] 参照图2所示,本发明的一种主动复合转向系统的转矩控制装置,其包括:控制器A、控制器B、信息处理模块、信号比较模块;

[0058] 所述的控制器A为主动复合转向系统的主控制器,基于鲁棒混合灵敏度控制理论进行设计,经滤波处理的车辆工况信号b输入控制器A中的目标信号计算模块,计算控制器A的目标函数,鲁棒混合灵敏度控制器与转向系统模型G(S)构成闭环系统,目标信号计算模块运算结果e、控制器A的输出f作为闭环系统的输入,所述信号c为控制器A的干扰输入,经加权模块 W_w 加权处理后传递到闭环系统,计算控制器A的应输出的控制电流,并输出结果至信号比较模块;

[0059] 所述的控制器B为余度控制器,基于模糊自适应PID控制器算法,包括PID调节器、模糊推理模块、微分环节及转向系统模型G构成闭环系统,通过微分环节得到输入信号的变化率,模糊推理模块通过输入信号及其变化率对PID调节器的控制参数 K_p 、 K_i 、 K_d 进行自适应整定,控制器B的输出作为主控制器的修正参考;依照信息处理模块的输入经滤波处理的车辆工况信号d和控制逻辑,向主控制器A提供修正参考,以避免主控制器的控制结果出现严重误差,实现系统良好的鲁棒性和跟踪性;

[0060] 所述的信息处理模块接收传感器模块测得的车速信号、转角信号、转向盘转矩信号,并对信号进行判断,依照传感器模块输入的测量值a,分别向控制器A、控制器B输出控制车辆工况信号b、干扰信号c、车辆工况信号d;控制器A、控制器B依照输入信号进行求解并输出控制电流至信号比较模块,信号比较模块对控制器A、B输出误差进行分析,并向转角修正模块的转向电机、转向助力模块的助力电机A、助力电机B输出控制电流,驱动相应执行机构工作,并将执行机构助力输出至助力耦合器,助力耦合器将经耦合的助力输出至机械转向结构,实现动力转向。

[0061] 参照图3所示,本发明的一种主动复合转向系统的转矩控制方法,包括如下步骤:

[0062] (1) 通过转向盘向主动复合转向系统输入转向力矩,力矩通过转向轴传递至行星齿轮组输入太阳轮;

[0063] (2) 电子控制单元根据传感器模块测得的车速信号、转角信号、转向盘转矩信号,计算得到主动复合转向系统总助力电流大小;

[0064] (3) 电子控制单元将总助力电流大小和车辆当前工况参数输入余度控制器模块,对车辆当前所需转向模式进行判断,并输出控制电流至转向电机、助力电机A和助力电机B,控制转角修正模块、转向助力模块输出相应助力,实现主动转向控制和多模式动力转向控制;

[0065] 具体包括:

[0066] 11) 控制器A通过限制干扰输入 $w = [\theta_s \quad Q_s \quad T_R]^T$ 到控制输出 $u = [T_{em}]$ 的传递函数的 H_2 范数,来限制控制器输出能量的大小;通过限制干扰输入到评价输出 $e = [z_1, z_2, z_3]^T$ 传递函数的 H_∞ 范数小于给定值,来实现系统良好的鲁棒稳定性,基于 H_∞ 混合灵敏度中的S/T问题进行设计,其目标及约束条件为:

$$[0067] \begin{cases} \text{Min: } \|W_3(s)K(s)(I-KG)^{-1}\|_2 \\ \text{St: } \begin{cases} \|W_1(s)(I-KG)^{-1}\|_\infty \\ \|W_2(s)KG(I-KG)^{-1}\|_\infty \end{cases} < 1 \end{cases}$$

[0068] 式中, $K(s)$ 为反馈控制器, $W_1(s)$, $W_2(s)$ 和 $W_3(s)$ 分别表示系统三个评价输出跟踪性能、控制器输出、鲁棒性能的加权函数,通过 $W_1(s)$, $W_2(s)$ 和 $W_3(s)$ 三个性能加权函数分别调整系统相应的评价输出的大小;

[0069] 控制器A将控制结果 y_1 输出信号至信号比较模块;

[0070] 12) 控制器B,其输入 e 、 e_c 模糊论域为: $[-1.5, 1.5]$,输出变量 K_p 、 K_d 模糊论域为 $[-3.3, 3.3]$, K_i 模糊论域为 $[-0.5, 0.5]$;

[0071] 其中, K_p 模糊规则表为:

[0072] K_p 模糊规则表

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | NB | NM | NS | Z | PS | PM | PB |
| NB | PB | PB | PB | NM | NM | Z | Z |
| NM | PB | PB | NS | NM | NM | Z | PB |
| NS | PM | PM | NS | NS | Z | PB | PB |
| Z | PM | PM | NS | Z | PB | PS | PS |
| PS | PS | PS | Z | NB | NB | PS | PS |
| PM | PS | Z | NB | PM | NB | NB | NB |
| PB | Z | Z | NM | PM | PM | NB | NB |

[0074] 控制器B将控制结果 y_2 输出信号至信号比较模块,与控制器A的结果进行比较;

[0075] 13) 定义误差系数 $\epsilon_e = 0.15T_d^*$,其中, T_d^* 为理想助力大小,若 $|y_1 - T_d^*| < \epsilon_e$,系统默认 y_1 为系统输出;若 $|y_1 - T_d^*| > \epsilon_e$,则通过控制器B的输出结果 y_2 对系统输出进行修正,修正公式为:

$$[0076] y^* = K_1 y_1 + K_2 y_2$$

[0077] 输出公式为:

$$[0078] y^* = \begin{cases} K_1 y_1 + K_2 y_2 & |y_1 - T_d^*| > \epsilon_e \\ y_1 & |y_1 - T_d^*| < \epsilon_e \end{cases}$$

[0079] 式中, K_1 、 K_2 为修正系数。

[0080] 本发明具体应用途径很多,以上所述仅是本发明的优选实施方式,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,这些改进也应视为本发明的保护范围。

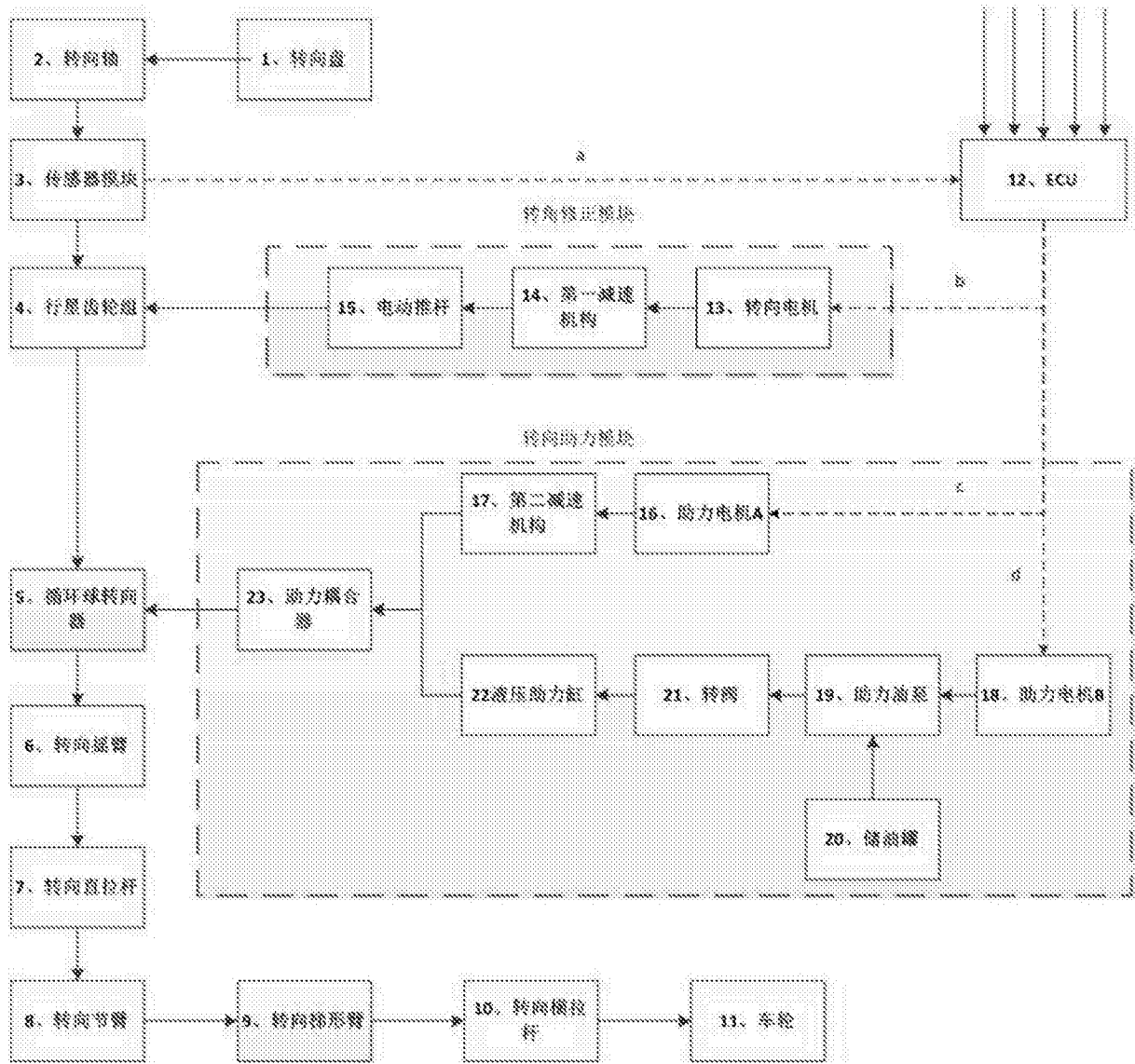


图1

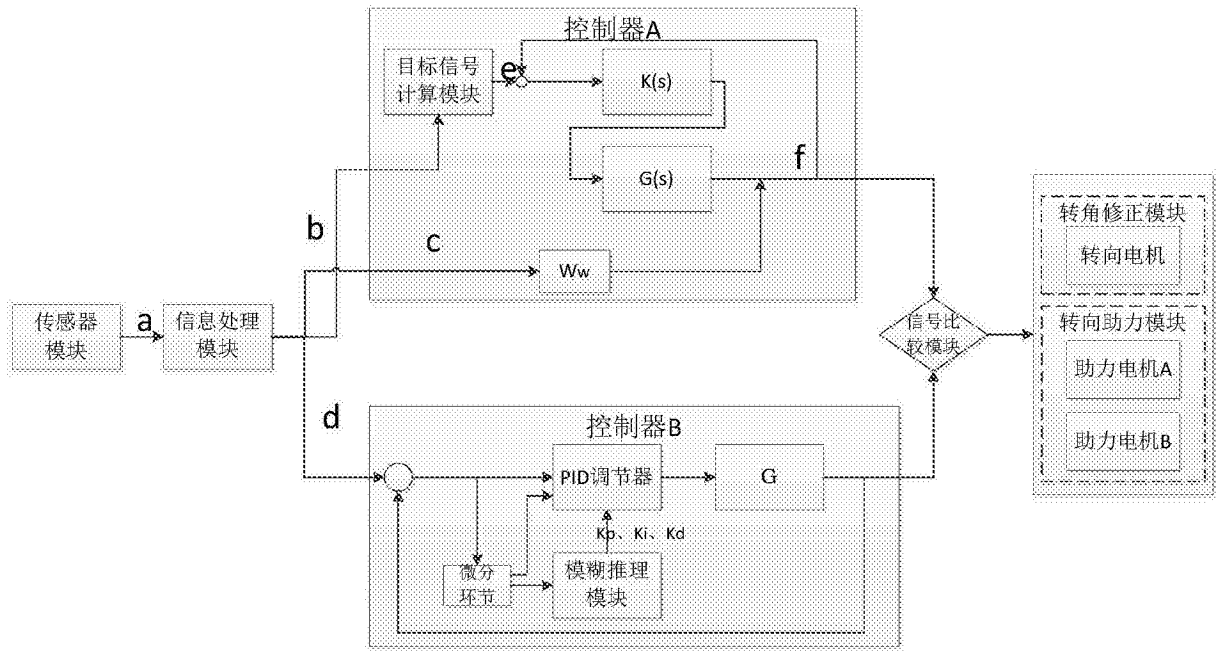


图2

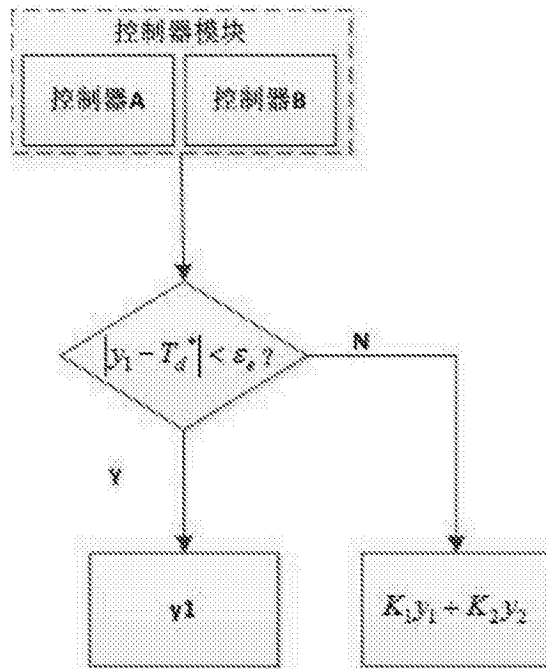


图3