



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111619574 A

(43)申请公布日 2020.09.04

(21)申请号 202010419404.X

B60L 15/20(2006.01)

(22)申请日 2020.05.18

(71)申请人 奇瑞汽车股份有限公司

地址 241006 安徽省芜湖市经济技术开发区  
区长春路8号

(72)发明人 程灿 陈瑞楠 祁克光 全耀国

邓永娣 魏慧峰

(74)专利代理机构 北京三高永信知识产权代理

有限责任公司 11138

代理人 唐述灿

(51)Int.Cl.

B60W 30/18(2012.01)

B60W 40/10(2012.01)

B60W 40/105(2012.01)

B60W 40/00(2006.01)

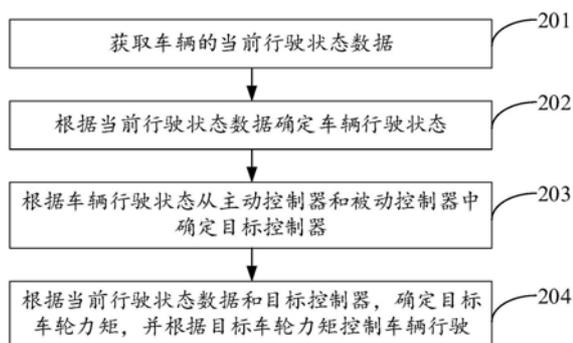
权利要求书3页 说明书17页 附图6页

(54)发明名称

车辆控制方法、装置、控制器和存储介质

(57)摘要

本申请实施例公开了一种车辆控制方法、装置、控制器和存储介质,属于车辆控制技术领域。该方法包括:获取车辆的当前行驶状态数据;根据当前行驶状态数据确定车辆行驶状态;根据车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器,主动控制器采用模型预测控制方式确定车轮力矩,被动控制器采用模糊滑模控制方式确定车轮力矩,主动控制器输出的车轮力矩的精度高于被动控制器输出的车轮力矩的精度,被动控制器的鲁棒性高于主动控制器的鲁棒性;根据当前行驶状态数据和目标控制器,确定目标车轮力矩,并根据目标车轮力矩控制车辆行驶。可以实现根据不同的车辆行驶状态确定不同的目标控制器。



1. 一种车辆控制方法,其特征在于,所述方法包括:

获取车辆的当前行驶状态数据,所述当前行驶状态数据包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度;

根据所述当前行驶状态数据确定车辆行驶状态;

根据所述车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器,所述主动控制器采用模型预测控制方式确定车轮力矩,所述被动控制器采用模糊滑模控制方式确定车轮力矩,所述主动控制器输出的车轮力矩的精度高于所述被动控制器输出的车轮力矩的精度,所述被动控制器的鲁棒性高于所述主动控制器的鲁棒性;

根据所述当前行驶状态数据和所述目标控制器,确定目标车轮力矩,并根据所述目标车轮力矩控制所述车辆行驶。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述当前行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器,包括:

响应于所述车辆行驶状态为正常行驶状态,且所述主动控制器的工作状态为正常状态,将所述主动控制器确定为所述目标控制器;

响应于所述车辆行驶状态为所述正常行驶状态,且所述主动控制器的工作状态为故障状态,将所述被动控制器确定为所述目标控制器;

响应于所述车辆行驶状态为故障行驶状态,将所述主动控制器和所述被动控制器确定为所述目标控制器。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据所述当前行驶状态数据和所述目标控制器,确定目标车轮力矩,包括:

响应于所述目标控制器为所述主动控制器和所述被动控制器,根据所述当前行驶状态数据和所述主动控制器,确定第一车轮力矩;

根据所述当前行驶状态数据和所述被动控制器,确定第二车轮力矩;

将所述第一车轮力矩和所述第二车轮力矩中的最大值确定为所述目标车轮力矩。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述主动控制器至少包括模型预测控制层和第一力矩分配层;

所述根据所述当前行驶状态数据和所述主动控制器,确定第一车轮力矩,包括:

根据所述当前质心侧偏角和理想质心侧偏角,计算得到质心侧偏角误差值,所述理想质心侧偏角由理想二自由度模型计算得到;

根据所述当前横摆角速度和理想横摆角速度,计算得到横摆角速度误差值,所述理想横摆角速度由理想二自由度模型计算得到;

将所述质心侧偏角误差值和所述横摆角速度误差值输入所述模型预测控制层,得到所述模型预测控制层输出的第一附加横摆力矩;

将所述第一附加横摆力矩和当前纵向力需求值输入所述第一力矩分配层,得到所述第一力矩分配层输出的所述第一车轮力矩,所述当前纵向力需求值由所述车辆的当前行驶速度决定,所述第一力矩分配层用于根据所述第一附加横摆力矩分配各个正常车轮所需力矩。

5. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述被动控制器至少包括模糊滑模控制层和第二力矩分配层;

所述根据所述当前行驶状态数据和所述被动控制器,确定第二车轮力矩,包括:

根据所述当前质心侧偏角和理想质心侧偏角,计算得到质心侧偏角误差值,所述理想质心侧偏角由理想二自由度模型计算得到;

根据所述当前横摆角速度和理想横摆角速度,计算得到横摆角速度误差值,所述理想横摆角速度由理想二自由度模型计算得到;

将所述质心侧偏角误差值和所述横摆角速度误差值输入所述模糊滑模控制层,得到所述模糊滑模控制层输出的第二附加横摆力矩;

将所述第二附加横摆力矩和当前纵向力需求值输入所述第二力矩分配层,得到所述第二力矩分配层输出的所述第二车轮力矩,所述当前纵向力需求值由所述车辆的当前行驶速度决定,所述第二力矩分配层用于根据所述第二附加横摆力矩分配各个正常车轮所需力矩。

6. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据所述当前行驶状态数据确定车辆行驶状态,包括:

根据车轮的所述当前车轮转速确定车轮失效因子,所述车轮失效因子的取值范围为大于等于0小于等于1,所述车轮失效因子为0指示车轮故障,所述车轮失效因子为1指示车轮正常,且车轮转速与所述车轮失效因子呈正相关关系;

响应于车轮失效因子之和为4,确定所述车辆行驶状态为所述正常行驶状态;

响应于所述车轮失效因子之和小于4且大于等于2,且同侧车轮的所述车轮失效因子之和不为0,则确定所述车辆行驶状态为所述故障行驶状态。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述根据所述当前行驶状态数据确定车辆行驶状态,还包括:

响应于所述车轮失效因子之和小于等于2,且存在同侧车轮的所述车轮失效因子之和为0,则确定所述车辆行驶状态为不可控状态;

所述根据所述当前行驶状态数据确定车辆行驶状态之后,所述方法还包括:

响应于所述车辆行驶状态为所述不可控状态,则控制所述车辆进入制动模式,所述制动模式指示控制车轮停止转动。

8. 一种车辆控制装置,其特征在于,所述装置包括:

获取模块,用于获取车辆的当前行驶状态数据,所述当前行驶状态数据包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度;

第一确定模块,用于根据所述当前行驶状态数据确定车辆行驶状态;

第二确定模块,用于根据所述车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器,所述主动控制器采用模型预测控制方式确定车轮力矩,所述被动控制器采用模糊滑模控制方式确定车轮力矩,所述主动控制器输出的车轮力矩的精度高于所述被动控制器输出的车轮力矩的精度,所述被动控制器的鲁棒性高于所述主动控制器的鲁棒性;

第一控制模块,用于根据所述当前行驶状态数据和所述目标控制器,确定目标车轮力矩,并根据所述目标车轮力矩控制所述车辆行驶。

9. 一种控制器,其特征在于,包括存储器和处理器,所述存储器中存储有至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集,所述至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集由所述处理器加载并执行,以实现如权利要求1至7任一所述的车辆控制方法。

10. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述存储介质上存储有至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集,所述至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集由所述处理器加载并执行,以实现如权利要求1至7任一所述的车辆控制方法。

## 车辆控制方法、装置、控制器和存储介质

### 技术领域

[0001] 本申请实施例涉及车辆控制技术领域，特别涉及一种车辆控制方法、装置、控制器和存储介质。

### 背景技术

[0002] 随着车辆稳定性的关注程度越来越高，车辆对控制器的需求越来越高，在车辆运行过程中，由控制器输出控制信号控制轮边电机，并由轮边电机驱动车辆正常行驶。然而，相关技术中车辆一般配置有单一控制器来控制车辆行驶，若车辆发生故障时，车辆的行驶状态数据会相应发生变化，此时，仍使用单一控制器，可能无法满足车辆的正常行驶需求。

### 发明内容

[0003] 本申请实施例提供了一种车辆控制方法、装置、控制器和存储介质。详述如下：

[0004] 第一方面，提供了一种车辆控制方法，所述方法包括：

[0005] 获取车辆的当前行驶状态数据，所述当前行驶状态数据包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度；

[0006] 根据所述当前行驶状态数据确定车辆行驶状态；

[0007] 根据所述车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器，所述主动控制器采用模型预测控制方式确定车轮力矩，所述被动控制器采用模糊滑模控制方式确定车轮力矩，所述主动控制器输出的车轮力矩的精度高于所述被动控制器输出的车轮力矩的精度，所述被动控制器的鲁棒性高于所述主动控制器的鲁棒性；

[0008] 根据所述当前行驶状态数据和所述目标控制器，确定目标车轮力矩，并根据所述目标车轮力矩控制所述车辆行驶。

[0009] 第二方面，提供了一种车辆控制装置，所述装置包括：

[0010] 获取模块，用于获取车辆的当前行驶状态数据，所述当前行驶状态数据包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度；

[0011] 第一确定模块，用于根据所述当前行驶状态数据确定车辆行驶状态；

[0012] 第二确定模块，用于根据所述车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器，所述主动控制器采用模型预测控制方式确定车轮力矩，所述被动控制器采用模糊滑模控制方式确定车轮力矩，所述主动控制器输出的车轮力矩的精度高于所述被动控制器输出的车轮力矩的精度，所述被动控制器的鲁棒性高于所述主动控制器的鲁棒性；

[0013] 第一控制模块，用于根据所述当前行驶状态数据和所述目标控制器，确定目标车轮力矩，并根据所述目标车轮力矩控制所述车辆行驶。

[0014] 第三方面，提供了一种控制器，包括存储器和处理器，所述存储器中存储有至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集，所述至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集由所述处理器加载并执行，以实现如第一方面所述的车辆控制方法。

[0015] 第四方面，提供了一种计算机可读存储介质，所述存储介质上存储有至少一条指

令、至少一段程序、代码集或指令集,所述至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集由所述处理器加载并执行,以实现如第一方面所述的车辆控制方法。

[0016] 本申请实施例提供的技术方案带来的有益效果是:

[0017] 在车辆行驶过程中,通过实时获取车辆的当前行驶状态数据(主要包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度),并根据该当前行驶状态数据来确定车辆行驶状态,以便根据该车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器,从而根据当前行驶状态数据和目标控制器,确定目标车轮力矩,并根据该目标车轮力矩控制车辆行驶。由于设置有主动控制器和被动控制器,且不同控制器具有不同的优势,比如,主动控制器输出的车轮力矩精确度更高,被动控制器的鲁棒性更高,因此,可以适用于不同的车辆行驶状态,以便为车辆行驶提供更合适的目标力矩,从而提高车辆的行驶稳定性和安全性。

### 附图说明

[0018] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,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它的附图。

[0019] 图1是本申请一个实施例提供的一种车辆控制系统的结构示意图;

[0020] 图2是本申请一个实施例提供的一种车辆控制方法的流程图;

[0021] 图3是本申请一个实施例提供的确定车辆行驶状态的方法的流程图;

[0022] 图4是本申请一个实施例提供的主动控制器确定目标力矩的方法的流程图;

[0023] 图5是本申请一个实施例提供的主动控制器的控制流程图;

[0024] 图6是本申请一个实施例提供的被动控制器确定目标力矩的方法的流程图;

[0025] 图7是本申请一个实施例提供的被动控制器的控制流程图;

[0026] 图8是本申请另一个实施例提供的一种车辆控制方法的流程图;

[0027] 图9是本申请一个实施例提供的一种车辆控制方法的控制流程图;

[0028] 图10是本申请一个实施例示出的一种车辆控制装置的方框图。

### 具体实施方式

[0029] 为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本申请实施方式作进一步地详细描述。

[0030] 首先,为了令本申请实施例所示的方案清楚明确,对涉及到的名词作如下解释。

[0031] 驱动电机:指依据电磁感应定律将电能转换为机械能的电磁装置,用于向电驱动车辆提供向前或者向后行驶的驱动力。依据驱动原理,本申请实施例中使用的驱动电机可以包括:永磁同步驱动电机、无刷直流驱动电机、开关磁阻驱动电机、交流异步驱动电机或直流驱动电机等。

[0032] 请参考图1,其是本申请一个实施例提供的一种车辆控制系统100的结构示意图。该车辆控制系统100包括:数据采集组件101、故障观测器102、整车控制器103、被动控制器104、主动控制器105和驱动电机106。

[0033] 数据采集组件101是具有采集车辆行驶过程中的各种行驶状态数据的传感器组件

的集合。比如,采集车辆横摆角速度的横摆角速度传感器、采集车辆质心侧偏角的质心侧偏角估计器、采集方向盘转角的方向盘转角传感器以及采集车轮转速的轮速传感器。本申请实施例中,数据采集组件101实时采集车辆行驶状态数据,并发送给故障观测器102,以便故障观测器102可以实时确定车辆行驶状态。

[0034] 故障观测器102是可以处理数据采集组件101发送的车辆行驶状态数据、以及进行车轮故障判别的组件。本申请实施例中,故障观测器102可以将车辆行驶状态数据和故障观测结果发送给整车控制器103,可选的,该故障观测器102可以独立于整车控制器103之外,也可以作为整车控制器103的一部分。

[0035] 故障观测器102可以与整车控制器103通过通信线缆相连。

[0036] 整车控制器103根据使用电驱车辆的不同而有不同的名称。当电驱车辆是纯电动车辆时,该整车控制器103可以是车辆控制单元(Vehicle Control Unit,VCU)。另外,该整车控制器103也可以是搭载整车监控系统(Vehicle Monitoring&Management System,VMS)的芯片、设备或车载电脑。本实施例中,整车控制器103能够获取故障观测器102发送的驾驶状态数据以及故障观测结果。本申请实施例中,整车控制器103中还包括控制决策执行模块(图中未示出),用来确定目标控制器或确定使用任一控制器输出的目标力矩。

[0037] 主动控制器104是采用模型预测控制方式的控制器,其可以根据获得的当前行驶状态数据,输出用于控制车辆行驶的车轮力矩。

[0038] 被动控制器105是采用模糊滑模控制方式的控制器,其可以根据获取到的当前行驶状态数据,输出用于控制车辆行驶的车轮力矩。

[0039] 需要说明的是,本实施例中,主动控制器104和被动控制器105也可以以控制策略的形式体现,无需单独设置于整车控制器103之外。

[0040] 整车控制器103可以与驱动电机106通过通信线缆相连。

[0041] 驱动电机106是用于接收整车控制器发送的控制信号、根据该控制信号为车轮提供动力的组件,根据其设置的位置可以分为前驱电机和后驱电机。

[0042] 需要说明的是,在本申请实施例中,通信线缆可以是汽车总线(automotivebus)。汽车总线可以是控制器局域网络(Controller Area Network,CAN)总线、局域互连网络(Local Interconnect Network,LIN)总线或车辆局域网(Vehicle Area Network,VAN)总线中至少一种总线。

[0043] 请参考图2,其是本申请一个实施例提供的一种车辆控制方法的流程图。本实施例以该方法应用于上述图1所示的车辆控制系统中的整车控制器为例进行说明。该方法包括:

[0044] 步骤201,获取车辆的当前行驶状态数据。

[0045] 其中,当前行驶状态数据至少包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度。在一种可能的实施方式中,车辆中设置有采集上述行驶状态数据的传感器,比如,采集当前横摆角速度的横摆角速度传感器、采集当前质心侧偏角的质心侧偏角估计器以及采集当前车轮转速的轮速传感器。

[0046] 针对获取当前行驶状态数据的方式,在一种可能的实施方式中,由各个传感器组件实时采集车辆行驶状态数据,并发送给故障观测器,由故障观测器将接收到的模拟信号转化成数字信号,发送给整车控制器。

[0047] 步骤202,根据当前行驶状态数据确定车辆行驶状态。

[0048] 针对确定车辆行驶状态的方式,在一种可能的实施方式中,主要根据当前行驶状态数据中的当前车轮转速确定,通常情况下,车辆行驶过程中,若车轮转速低于正常转速阈值,比如,车轮转速为0,则表示车轮发生故障,或控制车轮转动的轮边电机发生故障,因此,可以根据获取到的当前车轮转速来确定车辆行驶状态。

[0049] 可选的,车辆行驶状态可以按照是否正常划分为正常行驶状态、故障行驶状态以及不可控状态。当然,也可以按照故障的类别对故障行驶状态和不可控状态进行更加细致的划分,比如,以车辆为4轮驱动为例,故障行驶状态可以被划分为单轮故障、双轮故障(且不存在同侧车轮均发生故障)。不可控状态可以被划分为双轮故障(同侧车轮均发生故障)、三轮故障以及四轮故障。本实施例对车辆行驶状态的划分不构成限定。

[0050] 步骤203,根据车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器。

[0051] 为了使得在不同的车辆行驶状态下,可以选取更合适当前行驶状态的车轮力矩,因此,根据不同行驶状态的特点,主要设置有两种控制器(或两种控制模式),即主动控制和被动控制来进行车轮力矩的确定。

[0052] 其中,主动控制器采用模型预测控制方式确定车轮力矩,被动控制器采用模糊滑模控制方式确定车轮力矩。

[0053] 针对确定目标控制器的方式,在一种可能的实施方式中,可以根据主动控制器和被动控制器分别具有的控制优势,来确定在各种车辆行驶状态下选取哪一个控制器作为目标控制器。比如,主动控制器相比于被动控制器在确定力矩方面更精确,可以更多的应用在车辆正常行驶状态下;被动控制器的鲁棒性高于主动控制器,抗干扰能力比较优越,可以更多的应用于车辆发生执行器故障时,用于更好的维持车辆的稳定行驶。

[0054] 步骤204,根据当前行驶状态数据和目标控制器,确定目标车轮力矩,并根据目标车轮力矩控制车辆行驶。

[0055] 其中,控制器主要是用于对当前行驶状态数据进行修正,使得其可以更接近于理想状态数据,从而维持车辆的正常行驶。在一种可能的实施方式中,将当前行驶状态数据输入目标控制器,即可以获得由目标控制器输出目标车轮力矩,整车控制器即可以将包含目标车轮力矩信息的控制信号发送给轮边电机,由轮边电机根据该控制信号控制车轮转动,从而控制车辆的正常行驶。

[0056] 综上所述,本申请实施例公开的车辆控制方法,在车辆行驶过程中,通过实时获取车辆的当前行驶状态数据(主要包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度),并根据该当前行驶状态数据来确定车辆行驶状态,以便根据该车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器,从而根据当前行驶状态数据和目标控制器,确定目标车轮力矩,并根据该目标车轮力矩控制车辆行驶。由于设置有主动控制器和被动控制器,且不同控制器具有不同的优势,比如,主动控制器输出的车轮力矩精确度更高,被动控制器的鲁棒性更高,因此,可以适用于不同的车辆行驶状态,以便为车辆行驶提供更合适的目标力矩,从而提高车辆的行驶稳定性和安全性。

[0057] 在一种可能的实施方式中,可以根据车轮转速来确定车辆行驶状态,比如,车轮转速过低,表示该车轮失效或轮边电机失效,可以将车轮转速转化为失效因子,并根据车轮失效因子之和来判定车辆行驶状态。

[0058] 示意性的,如图3所示,其是本申请一个实施例提供的确定车辆行驶状态的方法的

流程图。该方法包括：

[0059] 步骤301,根据车轮的当前车轮转速确定车轮失效因子。

[0060] 针对车辆行驶状态,可以分为正常行驶状态、故障行驶状态、不可控状态,由于车辆能否正常行驶,决定性的因素之一是车辆的执行器(车轮或轮边电机)是否失效(损坏)。在一种可能的实施方式中,以车轮失效的数量对车辆行驶状态进行划分,对于四轮电驱动车来说,可以分为车轮未失效、单轮失效、异侧两轮失效、同侧两轮失效、三轮失效、四轮失效状态。

[0061] 其中,车轮未失效即车辆处于正常行驶状态;单轮失效即只有单一轮边电机失效,维持车辆稳定行驶的纵向力可以通过剩余的轮边电机进行补偿,横摆力矩的控制也可以在剩余轮边电机的转矩范围内进行控制;异侧两轮失效可以分为两前轮失效、两后轮失效、以及对角轮失效这些情况,这三种失效仍属于可控失效,损失的纵向力可由余下未失效的轮边电机进行补偿,对于横摆力矩的控制也可由剩余左右侧轮边电机进行控制;同侧两轮失效后只有单侧车轮能够输出力矩,此时车辆会产生极不稳定的横摆力矩,因此不能对车辆的剩余驱动执行器进行容错控制;四轮失效即此时执行器全部失效,也就不存在驱动控制的必要。

[0062] 针对上述描述的车轮失效的各种情况,即可以根据车轮的失效情况对车辆行驶状态进行划分,其中,车轮未失效即正常行驶状态,单轮失效以及异侧两轮失效即故障行驶状态(即可以进行容错控制),同侧两轮失效、三轮失效、四轮失效即不可控状态(需要紧急制动)。

[0063] 在一种可能的实施方式中,引入车轮失效因子来关联车轮转速和车辆行驶状态,若车轮失效,在车辆行驶过程中,该车轮对应的车轮转速即为0或接近0,根据车轮转速和车轮失效因子之间的关系,则将获取到的当前车轮转速转化为对应的车轮失效因子,示意性的,车轮失效因子可以表示为:

$$[0064] \quad \begin{cases} \varepsilon_{mn} = 0 & \text{完全失效} \\ 0 < \varepsilon_{mn} < 1 & \text{部分失效} \\ \varepsilon_{mn} = 1 & \text{未失效} \end{cases}$$

[0065] 其中, $\varepsilon_{mn}$ 表示车轮失效因子,车轮失效因子的取值范围为大于等于0小于等于1,车轮失效因子为0指示车轮故障(即轮边电机失效),车轮失效因子为1指示车轮正常(即轮边电机正常工作),车轮失效因子介于0到1之间,说明车轮部分故障(即轮边电机部分失效)。

[0066] 在一种可能的实施方式中,车轮失效因子与车轮转速呈正相关关系,即以当前车辆正常行驶速度下,各个车轮的正常转速为依据,当车轮实际转速越低,则车轮失效因子越小,即车轮故障越严重。比如,若车轮的正常转速为8.5rad/s,而实际采集到的车轮转速为4.5rad/s,则对应的车轮失效因子可以为0.5,若实际采集到的车轮转速为0.1rad/s,则对应的车轮失效因子可以为0。

[0067] 步骤302,响应于车轮失效因子之和为4,确定车辆行驶状态为正常行驶状态。

[0068] 在一种可能的实施方式中,整车控制器获取到轮速传感器采集到的各个车轮的当前车轮转速,并将其转化为车轮失效因子,即可以求得各个车轮失效因子之和,并根据车轮失效因子之和来确定当前车辆行驶状态。

[0069] 其中,对于车轮未失效,若车辆包含有 $n$ 个车轮,则其对应的车轮失效因子之和 $\Sigma \epsilon_{mn}=n$ ,则确定车辆为正常行驶状态,以四轮汽车为例,若车轮失效因子之和为4,则确定车辆行驶状态为正常行驶状态。

[0070] 步骤303,响应于车轮失效因子之和小于4且大于等于2,且同侧车轮的车轮失效因子之和不为0,则确定车辆行驶状态为故障行驶状态。

[0071] 针对单轮失效和异侧车轮失效的情况(即故障行驶状态,可以进行容错控制),其对应的车轮失效因子之和应该小于4大于2,且同侧车轮的车轮失效因子之和不为0。

[0072] 示意性的,以四轮电驱动车为例,当车辆单轮失效时,即对应的车轮失效因子之和 $\Sigma \epsilon_{mn}=3$ ;当两轮失效时,对应的车轮失效因子之和为 $\Sigma \epsilon_{mn}=2$ ,此时,还需要进行判断是两前轮失效、两后轮失效、对角轮失效还是同侧轮失效,若 $\epsilon_{f1}+\epsilon_{fr}=2$ ,其中, $\epsilon_{f1}$ 表示左前轮的车轮失效因子, $\epsilon_{fr}$ 表示右前轮的车轮失效因子,则说明车辆两后轮失效;若 $\epsilon_{r1}+\epsilon_{rr}=2$ ,其中, $\epsilon_{r1}$ 表示左后轮的车轮失效因子, $\epsilon_{rr}$ 表示右后轮的车轮失效因子,则说明车辆两前轮失效;若 $\epsilon_{f1}+\epsilon_{r1}\neq 0$ 或 $\epsilon_{fr}+\epsilon_{rr}\neq 0$ ,则表示同侧车轮的失效因子之和不为0,即可能为对角车轮失效。若确定出车轮失效因子之和符合上述几种情况,则将车辆行驶状态确定为故障行驶状态,即可以进行容错控制的行驶状态。

[0073] 步骤304,响应于车轮失效因子之和小于等于2,且存在同侧车轮的车轮失效因子之和为0,则确定车辆行驶状态为不可控状态。

[0074] 针对同侧车轮失效和车轮全部失效的情况,此时车辆为不可控状态,其对应的车轮失效因子之和应该小于等于2,且存在同侧车轮的车轮失效因子之和为0。

[0075] 示意性的,若同侧两轮失效时,则对应的车轮失效因子之和为 $\Sigma \epsilon_{mn}=2$ ,此时应该继续判断是否为同侧车轮失效,若 $\epsilon_{f1}+\epsilon_{r1}=0$ 或 $\epsilon_{f1}+\epsilon_{r1}=2$ ,其中, $\epsilon_{f1}$ 表示左前轮的车轮失效因子, $\epsilon_{r1}$ 表示左后轮的车轮失效因子,则表示存在同侧车轮失效因子之和为0的情况,即为同侧车轮失效;若 $\Sigma \epsilon_{mn}=1$ ,则表示三轮失效,若 $\Sigma \epsilon_{mn}=0$ ,则表示车轮全部失效。在一种可能的实施方式中,若确定出车轮失效因子之和符合上述几种情况,则将车辆行驶状态确定为不可控状态,即无法进行容错控制。

[0076] 本实施例中,引入车轮失效因子,将车轮转速与车辆行驶状态关联起来,可以通过确定车辆各个车轮的车轮失效因子之和来确定车辆行驶状态,以便后续根据车辆行驶状态来确定对应的控制方式。

[0077] 在一种可能的实施方式中,可以采用主动控制器来确定车辆的车轮力矩,该主动控制器采用模型预测控制方式来确定附加横摆力矩。

[0078] 示意性的,如图4所示,其是本申请一个实施例提供的主动控制器确定目标力矩的方法的流程图。该方法包括:

[0079] 步骤401,根据当前质心侧偏角和理想质心侧偏角,计算得到质心侧偏角误差值。

[0080] 其中,理想质心侧偏角可以由理想二自由度模型实时根据方向盘转角计算得到,也可以是针对不同车辆模型设置的一个固定值,比如,理想质心侧偏角可以是 $0^\circ$ 。

[0081] 在一种可能的实施方式中,将获取到的当前质心侧偏角输入主动控制器,首先计算得到当前质心侧偏角和理想质心侧偏角之间的误差值,以便主动控制器后续进行质心侧偏角的修正。比如,当前质心侧偏角可以是 $3^\circ$ ,理想质心侧偏角为 $0^\circ$ ,则质心侧偏角误差值为 $3^\circ$ 。

[0082] 示意性的,如图5所示,其是本申请一个实施例提供的主动控制器的控制流程图。该主动控制器包括模型预测控制层501和第一力矩分配层502。将质心侧偏角误差值和横摆角速度误差值输入模型预测控制层501后,得到模型预测控制层501输出的第一附加横摆力矩;由故障观测器503根据获取到的车辆行驶状态数据确定出故障观测结果,将该故障观测结果(即正常车轮信息)、第一附加横摆力矩以及当前纵向力需求值输入第一力矩分配层502中,可以得到第一力矩分配层502输出的各个正常车轮所需力矩,用来控制车辆模型正常行驶。

[0083] 步骤402,根据当前横摆角速度和理想横摆角速度,计算得到横摆角速度误差值。

[0084] 其中,理想横摆角速度可以由理想二自由度模型实时计算得到,也可以是针对不同车辆模型设置的一个固定值,比如,理想横摆角速度为 $0^\circ/\text{s}$ 。

[0085] 在一种可能的实施方式中,将获取到的当前横摆角速度输入主动控制器,首先计算得到当前横摆角速度和理想横摆角速度之间的误差值,以便主动控制器后续进行横摆角速度的修正。比如,当前横摆角速度可以为 $5^\circ/\text{s}$ ,理想横摆角速度为 $0^\circ/\text{s}$ ,则横摆角速度误差值为 $5^\circ/\text{s}$ 。

[0086] 需要说明的是,步骤401和步骤402可以同时执行,也可以分先后顺序执行,即先执行步骤401,后执行步骤402,或,先执行步骤402,再执行步骤401,本实施例对此不构成限定。

[0087] 步骤403,将质心侧偏角误差值和横摆角速度误差值输入模型预测控制层,得到模型预测控制层输出的第一附加横摆力矩。

[0088] 在一种可能的实施方式中,模型预测控制层的设计原理可以为:

[0089] 在实际车辆运行中通常以理想状态作为参考,故主动控制器采用线性二自由度模型,其状态空间方程为:

$$[0090] \quad \left. \begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned} \right\}$$

$$[0091] \quad \text{其中,A、B、C为状态空间矩阵; } A = \begin{bmatrix} \frac{k_1+k_2}{Mu} & \frac{ak_1-bk_2}{Mu^2} - 1 \\ \frac{ak_1-bk_2}{I_z} & \frac{a^2k_1+b^2k_2}{I_z u} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{-k_1}{Mu} & 0 \\ \frac{-ak_1}{I_z} & \frac{1}{I_z} \end{bmatrix},$$

$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $x(t) = \begin{bmatrix} \gamma_d \\ \beta_d \end{bmatrix}$ ,  $u(t) = \begin{bmatrix} \delta \\ \Delta M \end{bmatrix}$ ,  $u(t)$  表示汽车纵向速度, $\delta$ 表示汽车前轮转角, $\Delta M$ 表示附加横摆力矩, $a$ 、 $b$ 表示汽车质心至前后轴的距离, $k_1$ 、 $k_2$ 表示汽车前后轴的侧偏刚度, $I_z$ 表示汽车绕 $z$ 轴的转动惯量。

[0092] 模型预测控制以被控系统当前状态作为初始条件,对被控制系统的未来状态进行预测,其实际上属于离散控制。

[0093] 一、需要对车辆状态模型进行离散化处理,并将其转化为增量型形式:

$$[0094] \quad \begin{cases} \Delta x(k+1) = A_o \Delta x(k) + B_o \Delta u(k) \\ y_o(k) = C_o \Delta x(k) + y_o(k-1) \end{cases}$$

[0095] 其中, $A_o$ 、 $B_o$ 、 $C_o$ 分别表示A、B、C离散后的矩阵。设定预测时域为 $p=10$ ,控制时域为 $m=3$ ,则 $\Delta x(k) = x(k) - x(k-1)$ ,  $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$ 。

[0096] 二、系统未来p步的预测控制输出为：

$$[0097] \quad Y_p(k+1|k) = H_c \Delta x(k) + I_c y_o(k) + L_c \Delta U(k)$$

[0098] 其中,  $Y_p(k+1|k) = \begin{bmatrix} Y_o(k+1|k) \\ \vdots \\ Y_o(k+p|k) \end{bmatrix}$  为预测输出向量；

$$\Delta u(k) = \begin{bmatrix} \Delta u(k) \\ \vdots \\ \Delta u(k+m-1) \end{bmatrix} \text{ 为控制序列向量； } H_c = \begin{bmatrix} CA \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^n CA^n \end{bmatrix}, \quad I_c = \begin{bmatrix} I_c \\ \vdots \\ I_c \end{bmatrix},$$

$$L_c = \begin{bmatrix} CB & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \sum_{i=0}^2 CA^i B & CB & 0 & \vdots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \sum_{i=0}^m CA^{m-1} B & \sum_{i=0}^{m-1} CA^{m-2} B & \dots & \dots & \dots & CB \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^n CA^{n-1} B & \sum_{i=0}^{n-1} CA^{n-2} B & \dots & \dots & \dots & \sum_{i=0}^{n-m+1} CA^{n-m} B \end{bmatrix} \text{ 为常量。}$$

C、A、B分别表示输入参数量。通常在对车辆的稳定控制时，以驾驶员的意图和车辆行驶的状态趋近于车辆的理想状态为控制目标，同时希望控制器对车辆的干预不宜过于强烈。

[0099] 三、选取目标为：

$$[0100] \quad J = \| \tau_q Y_p(k+1|k) - R(k+1) \|^2 + \| \tau_s \Delta U(k) \|^2$$

[0101] 其中,  $R(k+1)$  表示预测时域内的理想输出状态量； $\tau_q$  表示预测控制输出偏差的权重

系数矩阵,  $\tau_s$  表示预测控制输出增量的权重系数矩阵,  $Y_p(k+1|k) = \begin{bmatrix} Y_o(k+1|k) \\ \vdots \\ Y_o(k+p|k) \end{bmatrix}$

为预测输出向量； $\Delta U(k)$  表示最优控制解。

[0102] 四、对目标方程  $\frac{\partial J}{\partial \Delta u} = 0$  进行求解, 即可求解到最优控制解, 表达向量为：

$$[0103] \quad \Delta U^*(k) = (L_c^T \tau_q^T \tau_q L_c + \tau_s^T \tau_s)^{-1} L_c^T \tau_q^T \tau_q G(k)$$

[0104] 其中,  $G(k) = R(k+1) - H_c \Delta x(k) - I_c y_o(k)$  可通过计算实时获取, 将  $\Delta U^*(k)$  的第一项作为被控制系统的当前控制信号, 并实现闭环控制, 如此重复, 即可实现滚动优化控制以获取所需的前轮转角  $\Delta \delta$  和附加横摆力矩  $\Delta M$ 。

[0105] 示意性的, 将质心侧偏角误差值和横摆角速度误差值输入模型预测控制层, 进行上述步骤的优化求解, 即可以得到符合当前行驶状态的第一附加横摆力矩  $\Delta M$ 。

[0106] 步骤404, 将第一附加横摆力矩和当前纵向力需求值输入第一力矩分配层, 得到第一力矩分配层输出的第一车轮力矩, 第一力矩分配层用于根据第一附加横摆力矩分配各个正常车轮所需力矩。

[0107] 其中, 当前纵向力需求值由车辆的当前行驶速度决定, 即将当前行驶速度转化为车辆所需的纵向力。

[0108] 在一种可能的实施方式中, 力矩分配层的设计原理可以为：

[0109] 将轮胎利用率作为个车轮转矩分配的优化目标函数, 目标函数如下：

$$[0110] \quad \min J = \sum_{mn=13, 14, 23, 24} \frac{F_{mn}^x{}^2}{(\mu_{mn} F_{mn}^z)^2}$$

[0111] 其中,  $\min J$ 表示车轮转矩分配目标函数, 13表示左前轮、14表示右前轮、23表示左后轮、24表示右后轮,  $F_{mn}^x$ 表示车轮所受纵向力,  $F_{mn}^z$ 表示车轮所受垂向力,  $\mu_{mn}$ 表示路面附着系数。

[0112] 根据轮毂电机所能输出的转矩受其峰值转矩与地面附着系数的限制, 建立第一约束条件:

$$[0113] \quad \left[ -\frac{T_{mnmax}}{R}, -F_{mn}^z, -\sqrt{1 - \frac{F_{mn}^x{}^2}{(\mu_{mn} F_{mn}^z)^2}} \right] \leq F_{mn}^x \leq \left[ \frac{T_{mnmax}}{R}, F_{mn}^z, \sqrt{1 - \frac{F_{mn}^x{}^2}{(\mu_{mn} F_{mn}^z)^2}} \right]$$

[0114] 其中,  $T_{mnmax}$ 表示轮毂电机峰值转矩,  $R$ 表示车轮半径,  $F_{mn}^x$ 表示车轮所受纵向力,  $F_{mn}^z$ 表示车轮所受垂向力,  $\mu_{mn}$ 表示路面附着系数。

[0115] 根据稳定运行时四个车轮所受等式约束需满足四车轮所受纵向力的合力等于 $F_x$ , 四车轮所受的力产生绕车轮质心的横摆力矩等于 $M_z$ , 建立第二约束条件:

$$[0116] \quad \begin{cases} F_x = \sum F_{mn}^x \\ \Delta M_z = (F_{14}^x - F_{13}^x) \frac{L_f}{2} + (F_{24}^x - F_{23}^x) \frac{L_r}{2} \end{cases}$$

[0117] 其中,  $F_x$ 表示车辆需求的纵向力,  $F_{mn}^x$ 表示车轮所受纵向力,  $\Delta M_z$ 表示车辆的附加横摆力矩(即第一附加横摆力矩),  $L_f$ 表示前轴左右车轮轮距,  $L_r$ 为后轴左右车轮轮距, 根据目标函数以及约束条件求解车轮所需力矩(纵向力), 即 $F_{14}^x$ 、 $F_{13}^x$ 、 $F_{24}^x$ 、 $F_{23}^x$ , 利用加权最小二乘法的优化算法对车轮的力矩进行优化协调分配, 从而完成轮毂电机力矩的优化再分配。

[0118] 需要说明的是, 若车辆处于正常行驶状态, 则根据上述目标函数以及约束条件优化求解可以得到所有车轮的所需力矩, 若车辆处于故障行驶状态, 则根据目标函数以及约束条件求解得到正常车轮的所需力矩, 比如, 若单轮失效, 且左前轮失效, 则式中 $F_{13}^x$ 即为0。

[0119] 在一种可能的实施方式中, 将得到的第一附加横摆力矩、当前纵向力需求值以及正常车轮信息输入第一力矩分配层, 即可以得到各个正常车轮所需力矩。

[0120] 本实施例描述了主动控制器中各个结构的设计原理, 通过将当前横摆角速度和当前质心侧偏角输入主动控制器, 通过模型预测控制层输出第一附加横摆力矩, 并将第一附加横摆力矩和纵向力需求值输入第一力矩分配层中, 从而确定出各个正常车轮所需力矩。

[0121] 在一种可能的实施方式中, 可以采用被动控制器来确定车辆的车轮力矩, 该被动控制器采用模糊滑模控制方式来确定附加横摆力矩。

[0122] 示意性的, 如图6所示, 其是本申请一个实施例提供的被动控制器确定目标力矩的方法的流程图。该方法包括:

[0123] 步骤601, 根据当前质心侧偏角和理想质心侧偏角, 计算得到质心侧偏角误差值,

理想质心侧偏角由理想二自由度模型计算得到。

[0124] 示意性的,如图7所示,其是本申请一个实施例提供的被动控制器的控制流程图,该被动控制器主要包括模糊滑模控制层701和第二力矩分配层702。将质心侧偏角误差值和横摆角速度误差值输入模糊滑模控制层701后,得到模糊滑模控制层701输出的第二附加横摆力矩;由故障观测器703根据获取到的车辆行驶状态数据确定出故障观测结果,将该故障观测结果(即正常车轮信息)、第二附加横摆力矩以及当前纵向力需求值输入第二力矩分配层702中,可以得到第二力矩分配层702输出的各个正常车轮所需力矩,用来控制车辆模型正常行驶。

[0125] 步骤602,根据当前横摆角速度和理想横摆角速度,计算得到横摆角速度误差值,理想横摆角速度由理想二自由度模型计算得到。

[0126] 步骤601和步骤602的实施方式可以参考步骤401和步骤402,本实施例在此不做赘述。

[0127] 需要说明的是,步骤601和步骤602可以同时执行,也可以分先后顺序执行,即先执行步骤601,后执行步骤602,或,先执行步骤602,再执行步骤601,本实施例对此不构成限定。

[0128] 步骤603,将质心侧偏角误差值和横摆角速度误差值输入模糊滑模控制层,得到模糊滑模控制层输出的第二附加横摆力矩。

[0129] 在一种可能的实施方式中,被动控制器中的模糊滑模控制层的设计原理可以为:

[0130] 以质心侧偏角和横摆角速度作为参考对象进行联合控制,结合滑模变结构控制理论,对滑模面进行定义,则有目标滑模面为:

$$[0131] \quad S(x) = \gamma - \gamma_d + \varepsilon(\beta - \beta_d)$$

[0132] 其中, $S(x)$ 表示目标滑模面, $\gamma$ 表示横摆角速度, $\gamma_d$ 表示理想横摆角速度度, $\beta$ 表示质心侧偏角, $\beta_d$ 表示理想质心侧偏角, $\varepsilon$ 表示滑模面定义系数。

[0133] 为使车辆实际行驶状态时质心侧偏角和横摆角速度趋近或跟随理想值,同时保证其变化率也尽量满足上述设计思想。设定可达条件为 $\dot{S} = 0$ ,即:

$\dot{S} = \dot{\gamma} - \dot{\gamma}_d + \varepsilon(\dot{\beta} - \dot{\beta}_d) = 0$ ,其中, $\dot{S}$ 表示目标滑模面的导数, $\dot{\gamma}$ 表示横摆角速率, $\dot{\gamma}_d$ 表示理想横摆角速率, $\dot{\beta}$ 表示质心侧偏角速率, $\dot{\beta}_d$ 表示理想质心侧偏角速率, $\varepsilon$ 表示滑模面定义系数。

[0134] 由于前轮转角 $\delta$ 很小,通常在可以认为 $\sin\delta=0, \cos\delta=1$ ,则可以简化为:

$$[0135] \quad I_z \dot{\gamma} = (F_{fl}^y + F_{fr}^y)a - (F_{rl}^y + F_{rr}^y)b + (F_{fl}^x - F_{fr}^x) \frac{D_f}{2} + (F_{rl}^x - F_{rr}^x) \frac{D_r}{2}$$

[0136] 其中, $I_z$ 表示汽车绕z轴的转动惯量, $\dot{\gamma}$ 表示横摆角速率, $a$ 、 $b$ 表示汽车质心至前后轴的距离, $F_{rl}^y$ 表示左后轮的纵向力, $F_{rr}^y$ 表示右后轮的纵向力, $F_{fl}^y$ 表示左前轮的纵向力, $F_{fr}^y$ 表示右前轮的纵向力, $D_f$ 表示前轮轴距, $D_r$ 表示后轮轴距。

[0137] 进一步可以得到车辆所需的附加横摆力矩:

$$[0138] \quad \Delta M_Z = (F_{rl}^y + F_{rr}^y)b - (F_{fl}^y + F_{fr}^y)a + I_z(\dot{\gamma}_d - \varepsilon(\dot{\beta} - \dot{\beta}_d))$$

[0139] 其中,  $\Delta M_Z$ 表示附加横摆力矩,  $a$ 、 $b$ 表示汽车质心至前后轴的距离,  $I_z$ 表示汽车绕 $z$ 轴的转动惯量,  $F_{rl}^y$ 表示右后轮的纵向力,  $F_{rr}^y$ 表示右后轮的纵向力,  $F_{fl}^y$ 表示左前轮的纵向力,  $F_{fr}^y$ 表示右前轮的纵向力,  $I_z$ 表示汽车绕 $z$ 轴的转动惯量,  $\dot{\beta}$ 表示质心侧偏角速率,  $\dot{\beta}_d$ 表示理想质心侧偏角速率。

[0140] 给附加横摆力矩添加一个基于模糊控制的滑模控制率平抑滑模控制的抖振, 即:  $u_t = -\lambda \text{sgn}(S)$ , 其中,  $S$ 表示目标滑模面,  $u_t$ 表示滑模控制率。

[0141] 则有附加横摆力矩为:

$$[0142] \quad \Delta M_Z = (F_{rl}^y + F_{rr}^y)b - (F_{fl}^y + F_{fr}^y)a + I_z(\dot{\gamma}_d - \varepsilon(\dot{\beta} - \dot{\beta}_d)) - u_t$$

[0143] 其中,  $\Delta M_Z$ 为附加横摆力矩(即第二附加横摆力矩),  $I_z$ 表示汽车绕 $z$ 轴的转动惯量,  $a$ 、 $b$ 表示汽车质心至前后轴的距离,  $u_t$ 表示滑模控制率,  $F_{rl}^y$ 表示右后轮的纵向力,  $F_{rr}^y$ 表示右后轮的纵向力,  $F_{fl}^y$ 表示左前轮的纵向力,  $F_{fr}^y$ 表示右前轮的纵向力,  $I_z$ 表示汽车绕 $z$ 轴的转动惯量,  $\varepsilon$ 表示滑模面定义系数,  $\dot{\beta}$ 表示质心侧偏角速率,  $\dot{\beta}_d$ 表示理想质心侧偏角速率,  $\dot{\gamma}_d$ 表示理想横摆角速率。

[0144] 示意性的, 将质心侧偏角误差值和横摆角速度误差值输入模糊滑模控制层, 进行上述步骤的优化求解, 即可以得到符合当前行驶状态的第二附加横摆力矩  $\Delta M$ 。

[0145] 步骤604, 将第二附加横摆力矩和当前纵向力需求值输入第二力矩分配层, 得到第二力矩分配层输出的第二车轮力矩, 当前纵向力需求值由车辆的当前行驶速度决定, 第二力矩分配层用于根据第二附加横摆力矩分配各个正常车轮所需力矩。

[0146] 其中, 被动控制器中的力矩分配层的设计原理可以参考上文实施例, 本实施例在此不做赘述。

[0147] 在一种可能的实施方式中, 将得到的第二附加横摆力矩, 当前纵向力需求值以及正常车轮信息输入力矩分配层, 即可以得到各个正常车轮所需力矩。

[0148] 本实施例描述了被动控制器中各个结构的设计原理, 通过将当前横摆角速度和当前质心侧偏角输入被动控制器, 通过模糊滑模控制层输出第二附加横摆力矩, 并将第二附加横摆力矩和纵向力需求值输入力矩分配层中, 从而确定出各个正常车轮所需力矩。

[0149] 在一种可能的实施方式中, 确定出车辆行驶状态之后, 即可以根据不同的车辆行驶状态数据匹配对应的目标控制器, 从而对车辆行驶进行控制。

[0150] 请参见图8, 其是本申请另一个实施例提供的车辆控制方法的流程图。本实施例以该方法应用于上述图1所示的车辆控制系统中的整车控制器为例进行说明。该方法包括:

[0151] 步骤801, 获取车辆的当前行驶状态数据, 当前行驶状态数据包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度。

[0152] 步骤802, 根据当前行驶状态数据确定车辆行驶状态。

[0153] 步骤801和步骤802的实施方式可以参考步骤201和步骤202, 本实施例在此不做赘述。

[0154] 步骤803,响应于车辆行驶状态为正常行驶状态,且主动控制器的工作状态为正常状态,将主动控制器确定为目标控制器。

[0155] 在一种可能的实施方式中,当整车控制器确定出车轮失效因子之和为 $n$ ,即不存在故障车轮,则确定当前车辆行驶状态为正常行驶状态,由于主动控制器确定力矩的精确度比较高,因此正常行驶状态下,优先选取主动控制器作为目标控制器,输出相应的控制信号,控制车辆稳定行驶。

[0156] 针对确定主动控制器的工作状态的方式,由于控制器控制的目的是为了修正质心侧偏角和横摆角速度,使得质心侧偏角和横摆角速度更接近理想值,因此,在一种可能的实施方式中,当主动控制器处于工作状态下,可以通过对前后连续时刻的质心侧偏角进行比较,若第 $n$ 时刻的质心侧偏角小于第 $n+1$ 时刻的质心侧偏角(质心侧偏角越小越接近理想值),则表示当前主动控制器失效,不具有修正作用;若第 $n$ 时刻的质心侧偏角大于第 $n+1$ 时刻的质心侧偏角,则表示主动控制器对质心侧偏角起到修正作用,表示当前主动控制器正常工作。

[0157] 可选的,为了避免偶然现象的发生,可以通过确定连续 $N$ 个时刻的质心侧偏角与前一时刻的质心侧偏角的关系,来确定主动控制器的工作状态, $N$ 为大于等于2的整数。

[0158] 可选的,也可以通过比较前后时刻的横摆角速度,确定主动控制器的工作状态。

[0159] 在一种可能的实施方式中,车辆设置有信号检测仪,该信号检测仪用来检测主动控制器的工作状态,若主动控制器失效,则向整车控制器发送主动控制器失效信号,以便整车控制器可以随时确定主动控制器的工作状态。

[0160] 步骤804,响应于车辆行驶状态为正常行驶状态,且主动控制器的工作状态为故障状态,将被动控制器确定为目标控制器。

[0161] 在一种可能的实施方式中,当根据车轮失效因子确定出车辆行驶状态为正常行驶状态时,判断主动控制器的工作状态为故障状态,则可以采用被动控制器作为目标控制器进行车辆控制。

[0162] 其中,确定主动控制器的工作状态为故障状态,可以通过确定连续 $n$ 个时刻对应的当前质心侧偏角均大于前一时刻的质心侧偏角,则表示主动控制器未对质心侧偏角起到修正作用,即主动控制器失效。

[0163] 步骤805,响应于车辆行驶状态为故障行驶状态,将主动控制器和被动控制器确定为目标控制器。

[0164] 在一种可能的实施方式中,当车辆行驶状态为故障行驶状态,且该故障行驶状态下,可以通过控制器进行控制使得车辆稳定行驶,此时,由于被动控制器的鲁棒性较高,抗干扰性较强,为了使得输出的车轮力矩更符合故障行驶状态,因此,启动被动控制器,即主动控制器和被动控制器同时工作,发挥不同控制器的优势进行车辆控制。

[0165] 步骤806,响应于车辆行驶状态为不可控状态,则控制车辆进入制动模式,所述制动模式指示控制车轮停止转动。

[0166] 在一种可能的实施方式中,当根据车轮失效因子之和确定出车轮工况不能进行容错控制,此时虽有部分轮边电机仍能正常工作,但会导致汽车行驶不稳定,需要对仍在工作的轮边电机进行停机处理,汽车进入紧急制动模式,即控制所有车轮停止转动。

[0167] 步骤807,根据当前行驶状态数据和主动控制器,确定目标车轮力矩,并根据目标

车轮力矩控制车辆行驶。

[0168] 在一种可能的实施方式中,将当前质心侧偏角和当前横摆角速度输入主动控制器,可以得到主动控制器输出的各个正常车轮所需力矩,将包含该车轮力矩信息的控制信号发送给轮边电机,由轮边电机根据该控制信号控制车轮转动,从而控制车辆正常行驶。

[0169] 其中,主动控制器输出各个车轮力矩的方式可以参考上文实施例,本实施例在此不做赘述。

[0170] 步骤808,根据当前行驶状态数据和被动控制器,确定目标车轮力矩,并根据目标车轮力矩控制车辆行驶。

[0171] 在一种可能的实施方式中,将当前质心侧偏角和当前横摆角速度输入被动控制器,可以得到被动控制器输出的各个正常车轮所需力矩,将包含该车轮力矩信息的控制信号发送给轮边电机,由轮边电机根据该控制信号控制车轮转动,从而控制车辆正常行驶。

[0172] 其中,被动控制器输出各个车轮力矩的方式可以参考上文实施例,本实施例在此不做赘述。

[0173] 由于在故障行驶状态下,主动控制器和被动控制器均处于工作状态,而由于主动控制器和被动控制器的确定力矩的方式有所不同,因此,整车控制器需要进一步确定使用哪一控制器输出的车轮力矩。

[0174] 步骤809,根据当前行驶状态数据和主动控制器,确定第一车轮力矩。

[0175] 在一种可能的实施方式中,将当前质心侧偏角和当前横摆角速度输入主动控制器,可以得到主动控制器输出的各个正常车轮所需力矩,即第一车轮力矩。

[0176] 步骤810,根据当前行驶状态数据和被动控制器,确定第二车轮力矩。

[0177] 在一种可能的实施方式中,将当前质心侧偏角和当前横摆角速度输入被动控制器,可以得到被动控制器输出的各个正常车轮所需力矩,即第二车轮力矩。

[0178] 步骤811,将第一车轮力矩和第二车轮力矩中的最大值确定为目标车轮力矩。

[0179] 由于在车辆故障行驶状态下,轮边电机失效会导致动力输出减弱的现象,甚至会影响正常交通安全,因此,在满足车辆稳定行驶的条件下,还需选取输出力矩较大值作为目标力矩,控制车辆行驶。

[0180] 在一种可能的实施方式中,将主动控制器和被动控制器输出的车轮力矩进行比较,选取其中车轮力矩的较大值,作为故障行驶状态下,控制车辆运行的目标车轮力矩。

[0181] 本实施例中,通过对不同的车辆行驶状态进行判别,从而设定不同行驶状态下对应的目标控制器,使得确定的目标车轮力矩更符合当前行驶状态;此外,在正常行驶状态下,优先使用主动控制器,可以发挥主动控制器的精确性高的优势;在故障行驶状态下,启用被动控制器,使得主动控制器和被动控制器同时工作,从中确定出较大的输出力矩,进而控制车辆行驶,可以降低车轮失效对车辆动力造成的影响。

[0182] 在一种可能的应用场景下,当车辆出现单轮失效、异侧两轮失效的情况时,会导致车辆动力输出减弱,因此,在硬件上增加备用电机,当车辆出现上述失效情况时,通过备用电机为车辆提供额外动力。

[0183] 针对备用电机的使用方式,在一种可能的实施方式中,当确定出车辆处于正常行驶状态下(未出现轮边电机失效时),车辆动力输出正常,无需备用电机为车辆行驶提供额外动力,因此,该备用电机处于关闭状态。

[0184] 在另一可能的实施方式中,当确定出车辆处于故障行驶状态下(可控),由于车辆动力输出减弱,因此,需要启动该备用电机,为车辆提供额外动力。

[0185] 可选的,针对备用电机的数量,可以设置单一备用电机,则备用电机的设置位置可以在前轴,也可以是后轴,本实施例对此不构成限定。

[0186] 可选的,若备用电机的数量为两个,则可以分别设置在前后轴,在启动备用电机后,由设置在前轴的备用电机为两前轮提供额外动力,由设置在后轴的备用电机为两后轮提供额外动力。

[0187] 需要说明的是,上述实施例仅描述了增加单一或两个备用电机的情况,但是备用电机的数量和设置位置均可以根据车辆的结构来进行相应增加或减少,本实施例对此不构成限定。

[0188] 请参考图9,其是本申请一个实施例提供的一种车辆控制方法的控制流程图。

[0189] 该方法包括:

[0190] 步骤901,获取当前车辆行驶状态数据。

[0191] 步骤902,根据当前车辆行驶状态数据判断车轮是否失效。若失效,则进入步骤904,否则,进入步骤903。

[0192] 步骤903,将主动控制器确定为目标控制器,并根据主动控制器输出的目标车轮力矩控制车辆行驶。

[0193] 步骤904,将主动控制器和被动控制器确定为目标控制器。

[0194] 步骤905,判断主动控制器是否失效。若失效,则进入步骤906,否则,进入步骤903。

[0195] 步骤906,将被动控制器确定为目标控制器,并根据被动控制器输出的目标车轮力矩控制车辆行驶。

[0196] 步骤907,将第一车轮力矩(由主动控制器确定)和第二车轮力矩(由被动控制器确定)中的最大值确定为目标车轮力矩,并根据目标车轮力矩控制车辆行驶。

[0197] 下述为本申请装置实施例,可以用于执行本申请方法实施例。对于本申请装置实施例中未披露的细节,请参照本申请方法实施例。

[0198] 请参见图10,其是本申请一个实施例示出的一种车辆控制装置的方框图,该确定档位的装置可以成为如图1所示的车辆控制系统中的整车控制器的部分或者全部。该车辆控制装置可以通过软硬件的结合或者纯硬件电路来实现。该装置包括:获取模块1001、第一确定模块1002、第二确定模块1003和第一控制模块1004。

[0199] 获取模块1001,用于获取车辆的当前行驶状态数据,所述当前行驶状态数据包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度;

[0200] 第一确定模块1002,用于根据所述当前行驶状态数据确定车辆行驶状态;

[0201] 第二确定模块1003,用于根据所述车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器,所述主动控制器采用模型预测控制方式确定车轮力矩,所述被动控制器采用模糊滑模控制方式确定车轮力矩,所述主动控制器输出的车轮力矩的精度高于所述被动控制器输出的车轮力矩的精度,所述被动控制器的鲁棒性高于所述主动控制器的鲁棒性;

[0202] 第一控制模块1004,用于根据所述当前行驶状态数据和所述目标控制器,确定目标车轮力矩,并根据所述目标车轮力矩控制所述车辆行驶。

[0203] 可选的,所述第二确定模块1003,包括:

- [0204] 第一确定单元,用于响应于所述车辆行驶状态为正常行驶状态,且所述主动控制器的工作状态为正常状态,将所述主动控制器确定为所述目标控制器;
- [0205] 第二确定单元,用于响应于所述车辆行驶状态为所述正常行驶状态,且所述主动控制器的工作状态为故障状态,将所述被动控制器确定为所述目标控制器;
- [0206] 第三确定单元,用于响应于所述车辆行驶状态为故障行驶状态,将所述主动控制器和所述被动控制器确定为所述目标控制器。
- [0207] 可选的,所述第一控制模块1004,包括:
- [0208] 第四确定单元,用于响应于所述目标控制器为所述主动控制器和所述被动控制器,根据所述当前行驶状态数据和所述主动控制器,确定第一车轮力矩;
- [0209] 第五确定单元,用于根据所述当前行驶状态数据和所述被动控制器,确定第二车轮力矩;
- [0210] 第六确定单元,用于将所述第一车轮力矩和所述第二车轮力矩中的最大值确定为所述目标车轮力矩。
- [0211] 可选的,所述主动控制器至少包括模型预测控制层和第一力矩分配层;
- [0212] 可选的,所述第四确定单元,还用于:
- [0213] 根据所述当前质心侧偏角和理想质心侧偏角,计算得到质心侧偏角误差值,所述理想质心侧偏角由理想二自由度模型计算得到;
- [0214] 根据所述当前横摆角速度和理想横摆角速度,计算得到横摆角速度误差值,所述理想横摆角速度由理想二自由度模型计算得到;
- [0215] 将所述质心侧偏角误差值和所述横摆角速度误差值输入所述模型预测控制层,得到所述模型预测控制层输出的第一附加横摆力矩;
- [0216] 将所述第一附加横摆力矩和当前纵向力需求值输入所述第一力矩分配层,得到所述第一力矩分配层输出的所述第一车轮力矩,所述当前纵向力需求值由所述车辆的当前行驶速度决定,所述第一力矩分配层用于根据所述第一附加横摆力矩分配各个正常车轮所需力矩。
- [0217] 可选的,所述被动控制器至少包括模糊滑模控制层和第二力矩分配层;
- [0218] 可选的,所述第五确定单元,还用于:
- [0219] 根据所述当前质心侧偏角和理想质心侧偏角,计算得到质心侧偏角误差值,所述理想质心侧偏角由理想二自由度模型计算得到;
- [0220] 根据所述当前横摆角速度和理想横摆角速度,计算得到横摆角速度误差值,所述理想横摆角速度由理想二自由度模型计算得到;
- [0221] 将所述质心侧偏角误差值和所述横摆角速度误差值输入所述模糊滑模控制层,得到所述模糊滑模控制层输出的第二附加横摆力矩;
- [0222] 将所述第二附加横摆力矩和当前纵向力需求值输入所述第二力矩分配层,得到所述第二力矩分配层输出的所述第二车轮力矩,所述当前纵向力需求值由所述车辆的当前行驶速度决定,所述第二力矩分配层用于根据所述第二附加横摆力矩分配各个正常车轮所需力矩。
- [0223] 可选的,所述第一确定模块1002,包括:
- [0224] 第七确定单元,用于根据车轮的所述当前车轮转速确定车轮失效因子,所述车轮

失效因子的取值范围为大于等于0小于等于1,所述车轮失效因子为0指示车轮故障,所述车轮失效因子为1指示车轮正常,且车轮转速与所述车轮失效因子呈正相关关系;

[0225] 第八确定单元,用于响应于所述车轮失效因子之和为4,确定所述车辆行驶状态为所述正常行驶状态;

[0226] 第九确定单元,用于响应于所述车轮失效因子之和小于4且大于等于2,且同侧车轮的所述车轮失效因子之和不为0,则确定所述车辆行驶状态为所述故障行驶状态。

[0227] 可选的,所述第一确定模块1002,还包括:

[0228] 第十确定单元,用于响应于所述车轮失效因子之和小于等于2,且存在同侧车轮的所述车轮失效因子之和为0,则确定所述车辆行驶状态为不可控状态;

[0229] 可选的,所述装置还包括:

[0230] 第二控制模块,用于响应于所述车辆行驶状态为所述不可控状态,则控制所述车辆进入制动模式,所述制动模式指示控制车轮停止转动。

[0231] 本实施例中,通过在车辆行驶过程中,通过实时获取车辆的当前行驶状态数据(主要包括当前车轮转速、当前质心侧偏角和当前横摆角速度),并根据该当前行驶状态数据来确定车辆行驶状态,以便根据该车辆行驶状态从主动控制器和被动控制器中确定目标控制器,从而根据当前行驶状态数据和目标控制器,确定目标车轮力矩,并根据该目标车轮力矩控制车辆行驶。由于设置有主动控制器和被动控制器,且不同控制器具有不同的优势,比如,主动控制器输出的车轮力矩精确度更高,被动控制器的鲁棒性更高,因此,可以适用于不同的车辆行驶状态,以便为车辆行驶提供更合适的目标力矩,从而提高车辆的行驶稳定性和安全性。

[0232] 在整车控制器中的存储器中,存储有至少一段程序、至少一条代码、代码集或指令集,其中至少一段程序、至少一条代码、代码集或指令集存储于存储器中,且经配置以由一个或者一个以上处理器执行,使得处理器能够实现上述实施例所示的车辆控制方法。

[0233] 需要说明的一点是,上述实施例提供的装置在车辆控制时,仅以上述各个功能模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据实际需要而将上述功能分配由不同的功能模块完成,即将设备的内容结构划分成不同的功能模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。

[0234] 关于上述实施例中的装置,其中各个模块执行操作的具体方式已经在有关该方法的实施例中进行了详细描述,此处将不做详细阐述说明。

[0235] 本申请还提供一种控制器,该控制器中包括存储器和处理器,存储器中存储有至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集,至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集由处理器加载并执行,以实现如上述实施例所示的车辆控制方法。例如,该控制器可以是整车控制器。

[0236] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例的全部或部分步骤可以通过硬件来完成,也可以通过程序和指令指示相关的硬件完成,所述的程序可以存储于一种计算机可读存储介质中,该计算机存储介质上存储有至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集,至少一条指令、至少一段程序、代码集或指令集由处理器加载并执行,以实现如上述实施例所示的车辆控制方法。

[0237] 不失一般性,所述计算机可读介质可以包括计算机存储介质和通信介质。计算机

存储介质包括以用于存储诸如计算机可读指令、数据结构、程序模块或其他数据等信息的任何方法或技术实现的易失性和非易失性、可移动和不可移动介质。计算机存储介质包括随机存取存储器 (Random Access Memory, RAM)、只读存储器 (Read-Only Memory, ROM)、可擦除可编程只读寄存器 (Erasable Programmable Read Only Memory, EPROM)、电子抹除式可复写只读存储器 (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory, EEPROM)、闪存或其他固态存储器技术, 只读光盘 (Compact Disc Read-Only Memory, CD-ROM)、数字多功能光盘 (Digital Versatile Disc, DVD) 或其他光学存储、磁带盒、磁带、磁盘存储或其他磁性存储设备。当然, 本领域技术人员可知所述计算机存储介质不局限于上述几种举例。

[0238] 本领域技术人员在考虑说明书及实践这里公开的发明后, 将容易想到本申请的其它实施方案。本申请旨在涵盖本申请的任何变型、用途或者适应性变化, 这些变型、用途或者适应性变化遵循本申请的一般性原理并包括本申请未公开的本技术领域中的公知常识或惯用技术手段。说明书和实施例仅被视为示例性的, 本申请的真正范围和精神由所附的权利要求指出。

[0239] 应当理解的是, 本申请并不局限于上面已经描述并在附图中示出的结构, 并且可以在不脱离其范围进行各种修改和改变。本申请的范围仅由所附的权利要求来限制。

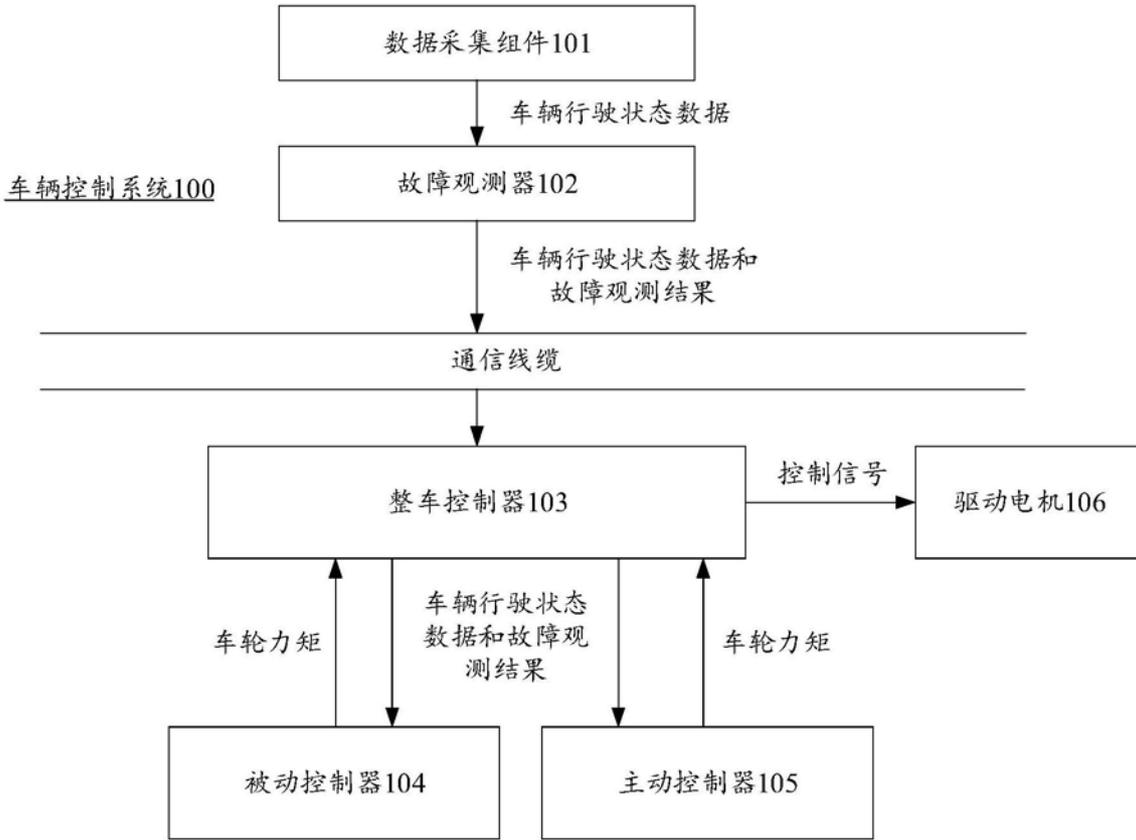


图1

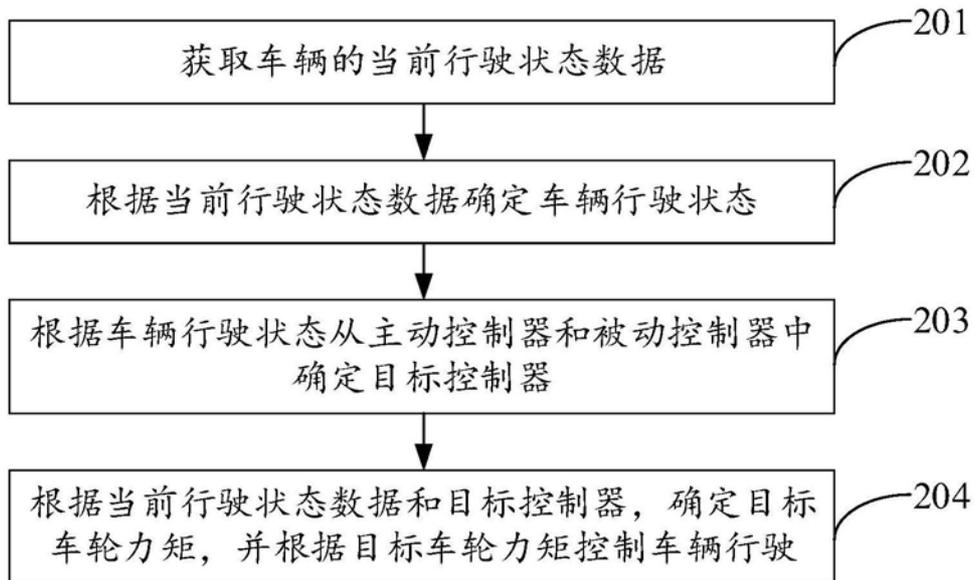


图2

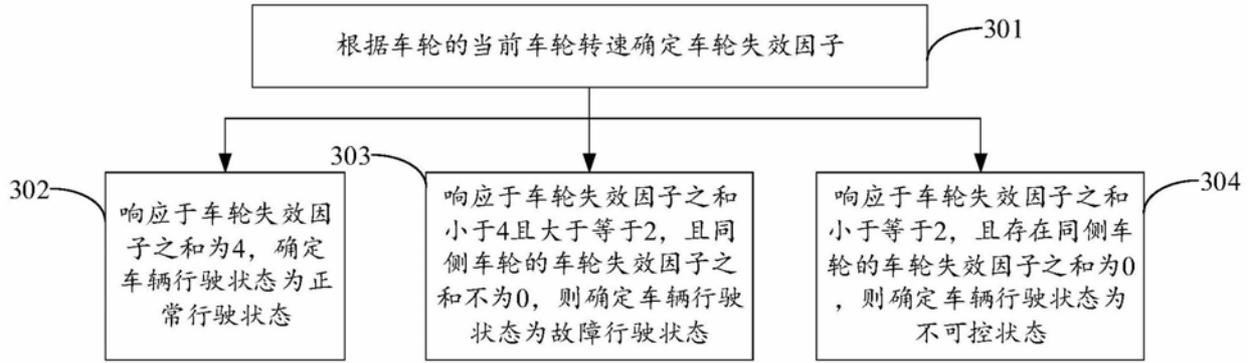


图3

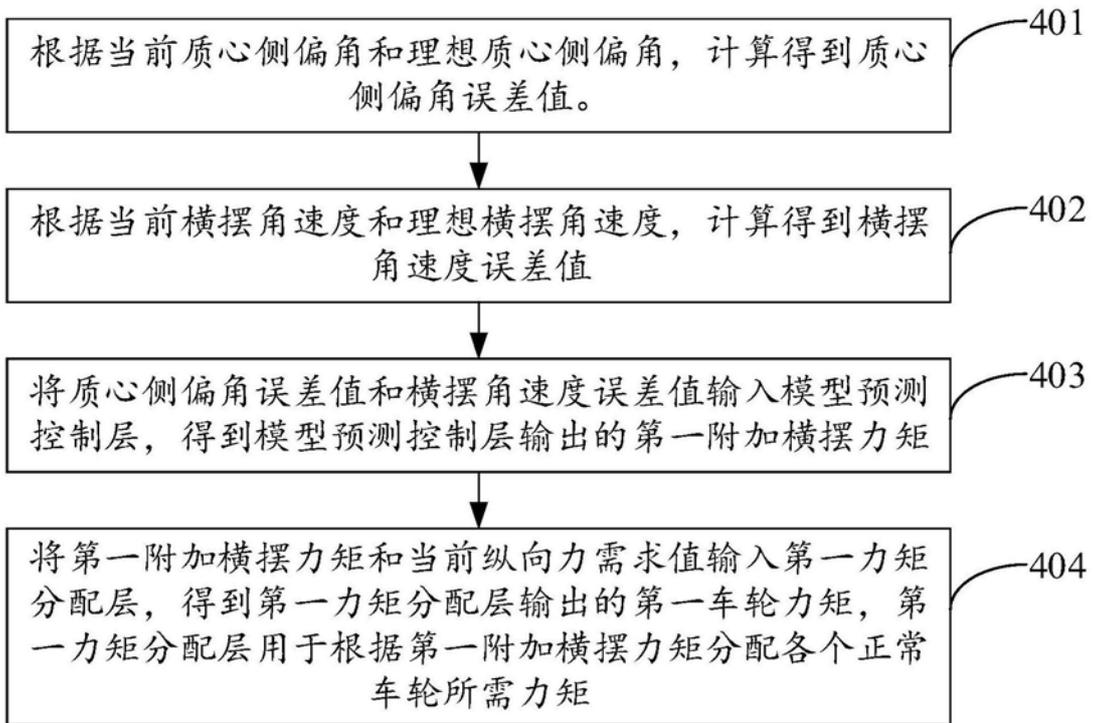


图4

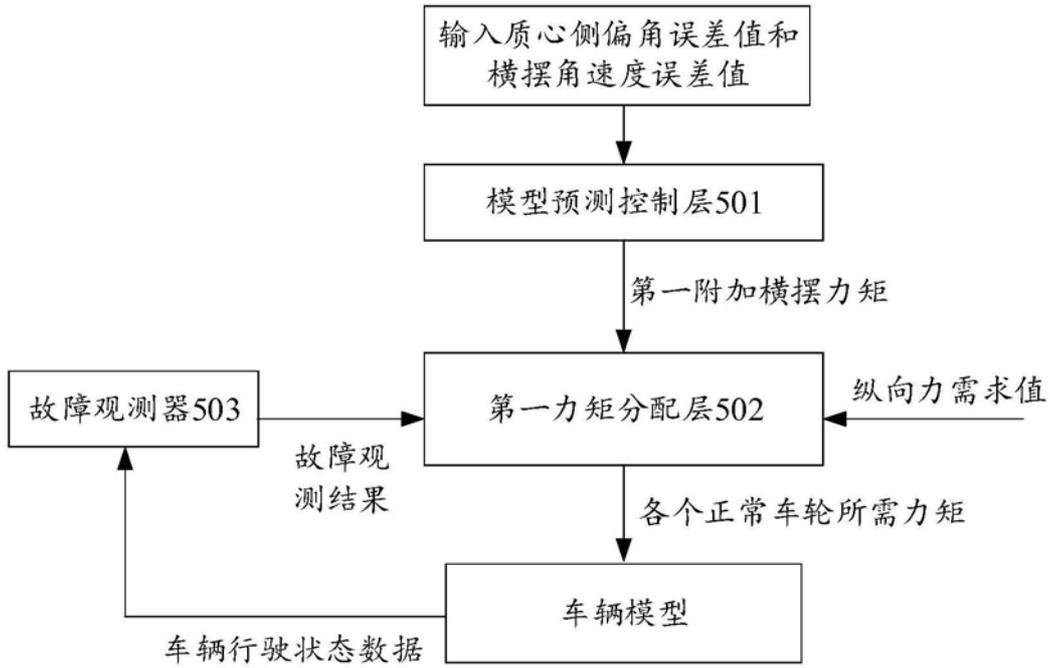


图5

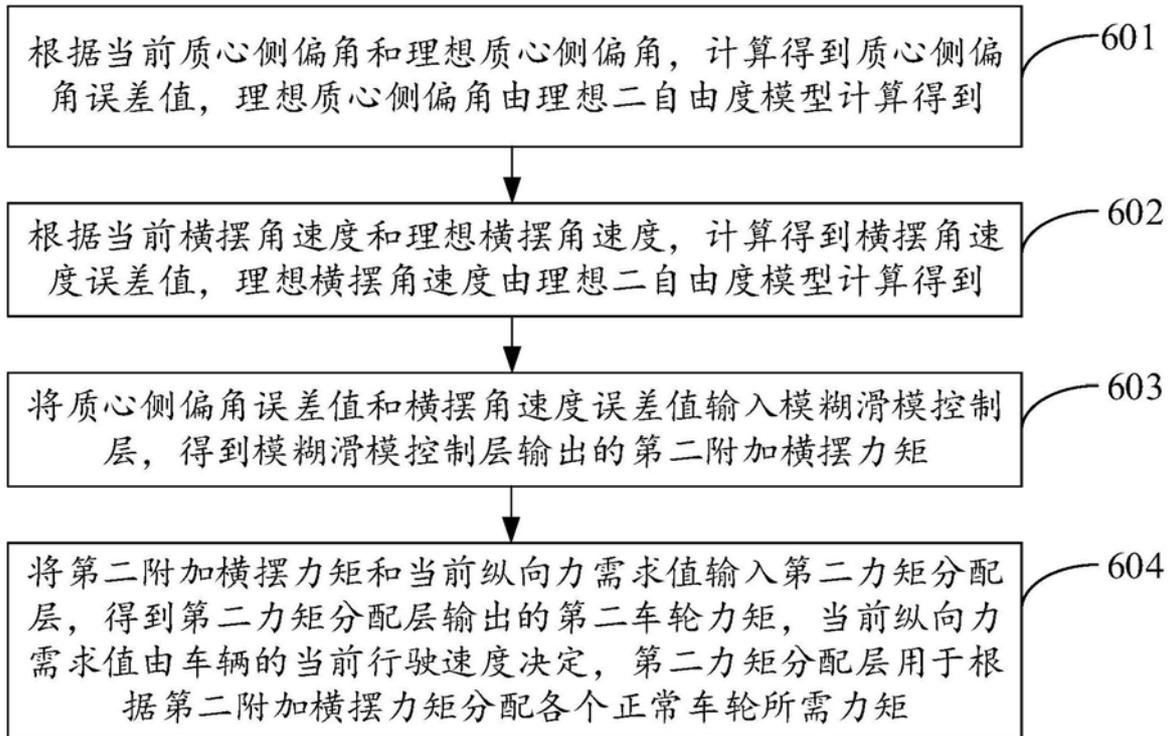


图6

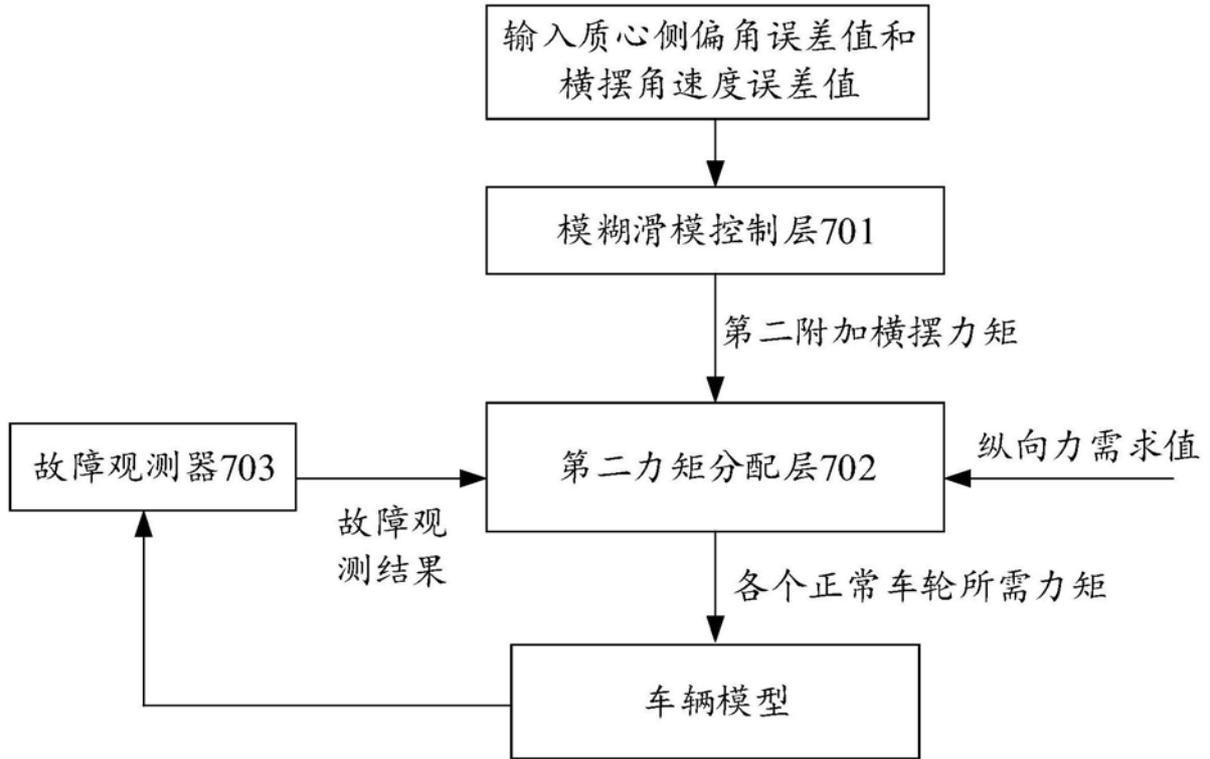


图7

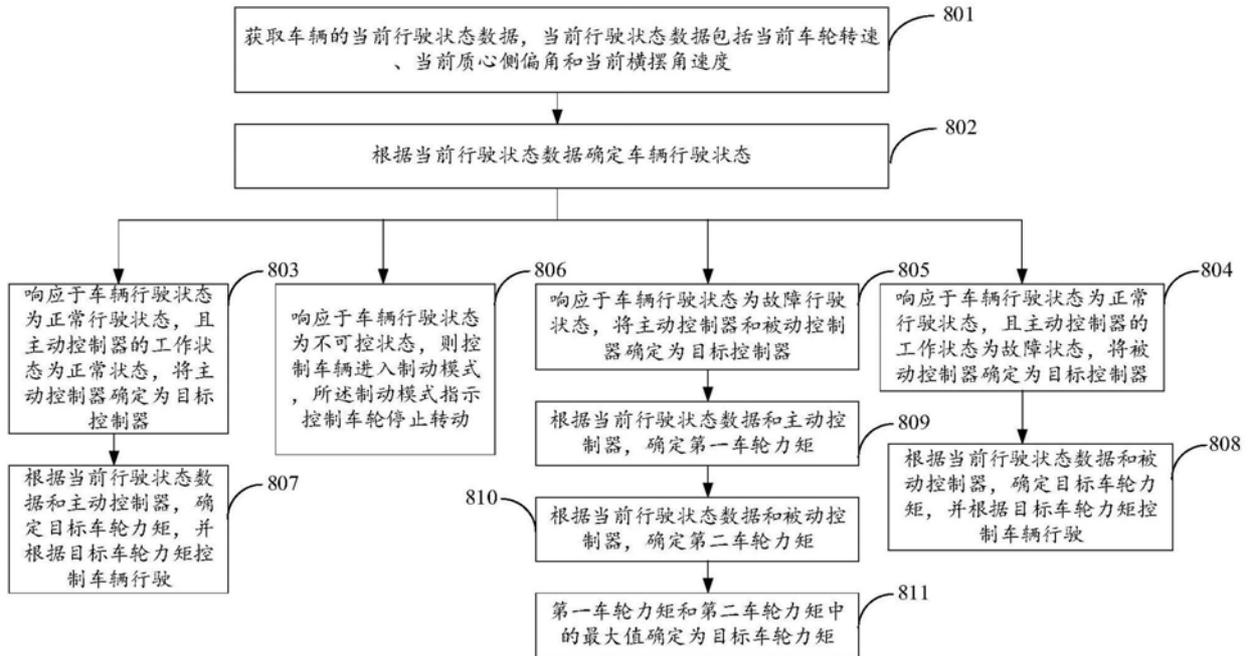


图8

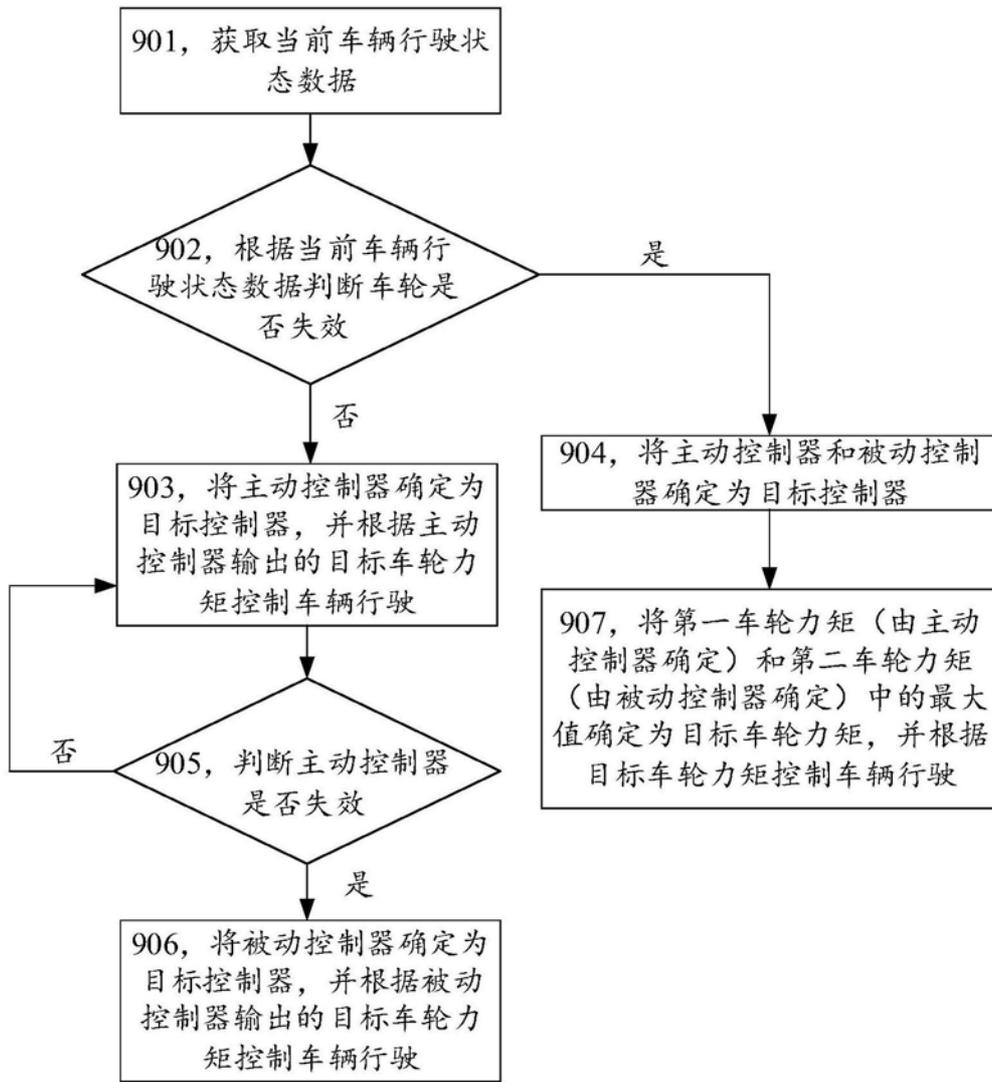


图9

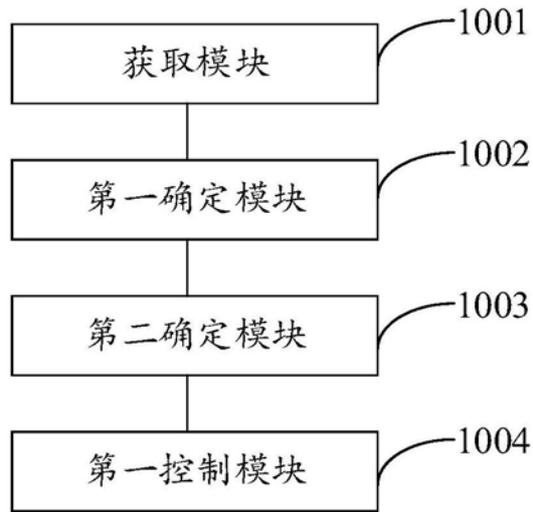


图10