(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2019 年 9 月 19 日 (19.09.2019)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2019/174452 A1

(51) 国际专利分类号:
B62D 5/04 (2006.01) *B62D 6/00* (2006.01)
B60W 30/045 (2012.01) *B62D 117/00* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/075890

(22) 国际申请日: 2019 年 2 月 22 日 (22.02.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201810228791.1 2018年3月16日 (16.03.2018) CN

(71) 申请人: 华为技术有限公司 (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 南京荣骏科技发展有限公司 (NANJING RONGJUN TECHNOLOGIES CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省南京市高新区惠达路9号国电南自数字化电厂产业园C楼315室, Jiangsu 210000 (CN)。

(72) 发明人: 刘真通 (LIU, Zhentong); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 张永生 (ZHANG, Yongsheng); 中国广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼, Guangdong 518129 (CN)。 王荣蓉 (WANG, Rongrong); 中国上海市闵行区东川路800号上海交通大学机械与动力工程学院A612, Shanghai 200240 (CN)。

(74) 代理人: 广州三环专利商标代理有限公司 (SCIHEAD IP LAW FIRM); 中国广东省广州市越秀区先烈中路80号汇华商贸大厦1508室, Guangdong 510070 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,

(54) **Title:** VEHICLE STEERING CONTROL METHOD, DEVICE, SYSTEM, AND VEHICLE

(54) 发明名称: 车辆转向控制方法、装置、系统以及车辆

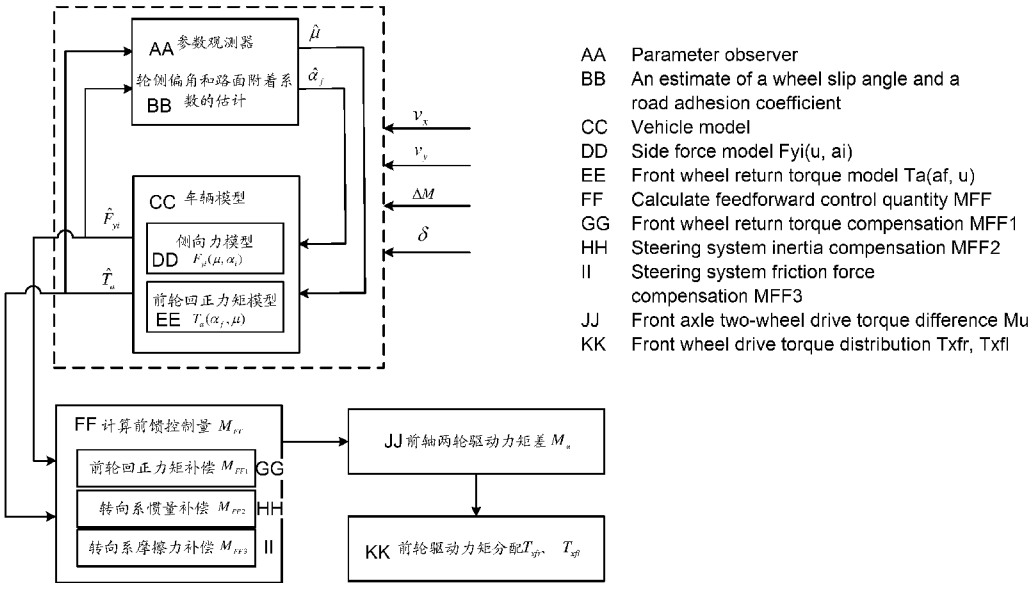


图 5

(57) **Abstract:** A vehicle steering control method, a drive controller, a steering system, and a vehicle. The control method comprises acquiring state parameters of a vehicle and acquiring desired front wheel steering angle information, the state parameters comprising actual front wheel steering angle information (S1); calculating front wheel return torque compensation according to the state parameters and the desired front wheel steering angle information, the front wheel return torque compensation being a difference between an actual return torque generated by a front wheel tire and a desired return torque when the front wheel steering angle information of the vehicle is actual front wheel steering angle information and desired front wheel steering angle information, respectively (S2); calculating a desired front wheel two-motor drive torque difference on the basis of the front wheel return torque compensation (S3); controlling a

[见续页]

WO 2019/174452 A1

CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

first front wheel drive and a second front wheel drive for driving the two front wheels of the vehicle to output the desired front wheel two-motor drive torque difference, so as to realize differential steering of the vehicle (S4). The control method can compensate a vehicle steering control amount before vehicle steering, improving the control precision and response speed of differential steering.

(57) 摘要：一种车辆转向控制方法、驱动控制器、转向系统以及车辆，其中，该控制方法包括获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息，该状态参数包括实际前轮转角信息（S1）；根据状态参数以及期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，该前轮回正力矩补偿为在车辆的前轮转角信息分别为实际前轮转角信息和期望前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与期望回正力矩之差（S2）；基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差（S3）；控制用于驱动车辆两前轮的第一前轮驱动机和第二前轮驱动机输出该期望前轮两电机驱动力矩差，以实现车辆的差动转向（S4）。该控制方法可以在车辆转向之前对车辆转向控制量进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

车辆转向控制方法、装置、系统以及车辆

技术领域

本发明涉及车辆技术领域，尤其涉及一种车辆转向控制方法、装置、系统以及车辆。

背景技术

目前车辆所使用的转向系统通常采用转向电机助力，当驾驶员操纵方向盘实现车辆转向功能时，转向电机直接驱动转向拉杆使车轮转向。然而当转向系统失效时，转向系统不具备助力功能，导致车辆转向困难。

具体请参阅图 1 所示的转向系统，该转向系统可以包括方向盘，方向盘转角检测装置、转向控制器、转向电机、转向拉杆以及前轴两车轮等。当方向盘转动 δ_{sw} 时，方向盘产生方向盘力矩 T_{sw}。方向盘转角检测装置检测到该方向盘转动 δ_{sw} 以及方向盘力矩 T_{sw}，并将其发送至转向控制器。转向控制器根据接收到的方向盘转动 δ_{sw} 以及方向盘力矩 T_{sw} 控制转向电机拉动转向拉杆，进而控制前轴左右两车轮分别产生绕主销的力矩 τ_{ds1} 和 τ_{ds2}，使得前轴的两车轮绕主销转动，进而实现车辆的转向控制。

当原有转向系统失效后,可以采用差动转向方式实现车辆转向控制。现有技术中，根据车辆的期望横摆角速度和实际横摆角速度之间的差异，通过反馈控制实现车辆的差动转向功能。然而，反馈控制在车辆的实际运行环境中响应较慢，并且控制精度低。

发明内容

本发明实施例所要解决的技术问题在于克服现有技术中转向系统失效，导致的车辆转向困难，提供一种车辆转向控制方法、系统以及车辆，可实现差动转向，响应快速。

第一方面，本发明实施例提供了一种车辆转向控制方法，包括：车辆或驱动控制器获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息，该状态参数包括实际前轮转角信息；根据状态参数以及期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，该前轮回正力矩补偿为在车辆的前轮转角信息为实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在车辆的前轮转角信息为期望前轮转角信息时前轮轮胎产生的期望回正力矩之差；进而，基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，并控制用于驱动车辆的第一前轮的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制用于驱动车辆的第二前轮的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，第一期望驱动力矩与第二期望驱动力矩的差为期望前轮两电机驱动力矩差。

实施本技术方案，可以在车辆转向之前对车辆转向控制量进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

在一种可能的实现方式中，车辆或驱动控制器在控制车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩之前，还可以根据期望前轮两电机驱动力矩差以及前轮总驱动力矩确定第一期望去的力矩和第二期望去的力矩。

在又一种可能的实现方式中，车辆或驱动控制器基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差的一种实施方式可以是：

车辆或驱动控制器根据前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；该前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和前轮回正力矩补偿之和；进而，根据前馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

实施本技术方案，通过在车辆转向之前对转向系惯量、转向系摩擦力、前轮回正力矩等进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

在又一种可能的实现方式中，

期望前轮两电机驱动力矩差为：$\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF}}{Gr_{\sigma}}$；

第一期望驱动力矩为：$T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

第二期望驱动力矩为：$T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

其中，T_{xfr} 为第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl} 为期望前轮两电机驱动力矩差，T_0 为车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF} 为前馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的传动比，R 为车轮滚动半径，r_{σ} 为主销横向偏移距。

实施本技术方案，均衡设定第一前轮和第二前轮的期望驱动力矩，提高车辆运动的稳定性。

在又一种可能的实现方式中，车辆或驱动控制器基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差的一种实施方式可以是：

车辆或驱动控制器根据前轮回正力矩补偿计算前馈控制量，该前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和前轮回正力矩补偿之和；

车辆或驱动控制器根据状态参数以及车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量，反馈控制量为克服车辆的实际运动状态与期望运动状态的偏差期望前轮两电机驱动力矩差所需要的控制量；

进而，车辆或驱动控制器根据前馈控制量和反馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

实施本技术方案，将前馈控制和反馈控制结合来实现车辆的转向控制，进一步提高差动转向的控制精度。

在又一种可能的实现方式中，

期望前轮两电机驱动力矩差为：$T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{Gr_{\sigma}}$；

第一期望驱动力矩为：$T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$；

第二期望驱动力矩为：$T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$；

其中，T_{xfr}为第一期望驱动力矩，T_{xfl}为第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl}为期望前轮两电机驱动力矩差，T_0为车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF}为前馈控制量，M_{FB}为反馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的减速比，R 为车轮滚动半径，r_σ为主销横向偏移距。

实施本技术方案，均衡设定第一前轮和第二前轮的期望驱动力矩，提高车辆运动的稳定性。

在又一种可能的实现方式中，实际前轮转角信息包括实际前轮转角；期望前轮转角信息包括期望前轮转角；

$$M_{FF1} = -J_{eff}\ddot{\delta} + J_{eff}\ddot{\delta}_{des};$$

$$M_{FF2} = -b_{eff}\dot{\delta} + b_{eff}\dot{\delta}_{des} + T_f(\delta_{des}) - T_f(\delta);$$

$$M_{FF3} = T_a(\mu, \alpha_f) - T_a(\mu, \alpha_{f_des});$$

$$M_{FF} = M_{FF1} + M_{FF2} + M_{FF3};$$

其中，M_{FF1}为转向系惯量补偿，M_{FF2}为转向系摩擦力补偿、M_{FF3}为前轮回正力矩补偿，M_{FF}为前馈控制量，J_{eff}为转向系统的转动惯量，δ 为实际前轮转角，δ_{des}为期望前轮转角，b_{eff}为转向系统的有效阻尼，$T_f(\delta)$为转向系统的实际摩擦力矩，$T_f(\delta_{des})$为转向系统的期望摩擦力矩；μ 为路面附着系数，α_f为实际前轮侧偏角，α_{f_des}为期望前轮侧偏角，$T_a(\mu, \alpha_f)$为实际前轮回正力矩，$T_a(\mu, \alpha_{f_des})$为期望前轮回正力矩。

在又一种可能的实现方式中，状态参数还可以包括所述车辆的实际横摆角速度；车辆或驱动控制器根据状态参数以及车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量的一种实施方式还可以是：

车辆或驱动控制器根据所述期望转角信息计算期望横摆角速度；

反馈控制量为：$M_{FB} = K_p(r_{des} - r) + K_I\int_0^t (r_{des} - r)dt$；

其中，M_{FB}为反馈控制量，K_p、K_I为反馈控制参数，r_{des}为所述期望横摆角速度，r 为实际横摆角速度，t 为时间。

在又一种可能的实现方式中，车辆或驱动控制器获取车辆的状态参数包括：车辆或驱动控制器获取车辆的实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩；以及，车辆或驱动控制器根据实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩估算路面附着系数和前轮侧偏角；其中，该状态参数还可以包括：运动速度、加速度、前轮驱动力矩、路面附着系数和前轮侧偏角；

车辆或驱动控制器根据状态参数以及期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿的一种实施方式可以是：车辆或驱动控制器根据路面附着系数和前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算实际回正力矩；根据期望前轮转角信息计算期望前轮侧偏角；根据路面附着系数和期望前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算期望回正力矩；进而，根据实际回正力矩和期望回正力矩计算前轮回正力矩补偿。

本技术方案，提供了一种计算前轮回正力矩补偿的方法，即通过前轮回正力矩模型来计算实际回正力矩和期望回正力矩，进而得到前轮回正力矩补偿。

第二方面，本发明实施例还提供了一种驱动控制器，包括:

获取单元，用于获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息；该状态参数包括实际前轮转角信息;

第一计算单元，用于根据状态参数以及期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，该前轮回正力矩补偿为在车辆的前轮转角信息为实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在车辆的前轮转角信息为期望前轮转角信息时前轮轮胎产生的期望回正力矩之差;

第二计算单元，用于基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差;

控制单元，用于控制车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，第一期望驱动力矩与第二期望驱动力矩的差为期望前轮两电机驱动力矩差;

其中，第一前轮驱动机用于驱动车辆的第一前轮，第二前轮驱动机用于驱动车辆的第二前轮。

实施本技术方案，可以在车辆转向之前对车辆转向控制量进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

在一种可能的实现方式中，驱动控制器还包括:

确定单元，用于根据期望前轮两电机驱动力矩差以及前轮总驱动力矩确定第一期望去的力矩和第二期望去的力矩。

在又一种可能的实现方式中，第二计算单元具体用于:

根据前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和前轮回正力矩补偿之和;

根据前馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

实施本技术方案，通过在车辆转向之前对转向系惯量、转向系摩擦力、前轮回正力矩等进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

在又一种可能的实现方式中，

期望前轮两电机驱动力矩差为：$\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF}}{Gr_{\sigma}}$；

第一期望驱动力矩为：$T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

第二期望驱动力矩为：$T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

其中，T_{xfr} 为第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl} 为期望前轮两电机驱动力矩差，T_0 为车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF} 为前馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的传动比，R 为车轮滚动半径，r_{σ} 为主销横向偏移距。

实施本技术方案，均衡设定第一前轮和第二前轮的期望驱动力矩，提高车辆运动的稳定性。

在又一种可能的实现方式中，第二计算单元具体用于:

根据前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和前轮回正力矩补偿之和;

根据状态参数以及车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量，反馈控制量为克服车辆的实际运动状态与期望运动状态的偏差期望前轮两电机驱动力矩差所需要的控制量;

根据前馈控制量和反馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

实施本技术方案，将前馈控制和反馈控制结合来实现车辆的转向控制，进一步提高差动转向的控制精度。

在又一种可能的实现方式中，

期望前轮两电机驱动力矩差为：$T_{xfr}-T_{xfl}=\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{Gr_{\sigma}}$；

第一期望驱动力矩为：$T_{xfr}=\frac{T_0}{2}+\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$；

第二期望驱动力矩为：$T_{xfl}=\frac{T_0}{2}-\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$；

其中，T_{xfr}为第一期望驱动力矩，T_{xfl}为第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl}为期望前轮两电机驱动力矩差，T_0为车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF}为前馈控制量，M_{FB}为反馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的减速比，R 为车轮滚动半径，r_{σ}为主销横向偏移距。

实施本技术方案，均衡设定第一前轮和第二前轮的期望驱动力矩，提高车辆运动的稳定性。

在又一种可能的实现方式中，实际前轮转角信息包括实际前轮转角；期望前轮转角信息包括期望前轮转角；

$M_{FF1}=-J_{eff}\ddot{\delta}+J_{eff}\ddot{\delta}_{des}$；

$M_{FF2}=-b_{eff}\dot{\delta}+b_{eff}\dot{\delta}_{des}+T_f(\delta_{des})-T_f(\delta)$；

$M_{FF3}=T_a(\mu,\alpha_f)-T_a(\mu,\alpha_{f_des})$；

$M_{FF}=M_{FF1}+M_{FF2}+M_{FF3}$；

其中，M_{FF1}为转向系惯量补偿，M_{FF2}为转向系摩擦力补偿、M_{FF3}为前轮回正力矩补偿，M_{FF}为前馈控制量，J_{eff}为转向系统的转动惯量，δ 为实际前轮转角，δ_{des}为期望前轮转角，b_{eff}为转向系统的有效阻尼，$T_f(\delta)$为转向系统的实际摩擦力矩，$T_f(\delta_{des})$为转向系统的期望摩擦力矩；μ 为路面附着系数，α_f为实际前轮侧偏角，α_{f_des}为期望前轮侧偏角，$T_a(\mu,\alpha_f)$为实际前轮回正力矩，$T_a(\mu,\alpha_{f_des})$为期望前轮回正力矩。

在又一种可能的实现方式中，状态参数还包括车辆的实际横摆角速度；第二计算单元，用于根据状态参数以及车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量，具体包括:

根据期望转角信息计算期望横摆角速度;

反馈控制量为：$M_{FB}=K_p(r_{des}-r)+K_I\int_0^t(r_{des}-r)dt$；

其中，M_{FB}为反馈控制量，K_p、K_I为反馈控制参数，r_{des}为期望横摆角速度，r 为实际横摆角速度，t 为时间。

在又一种可能的实现方式中，获取单元执行获取车辆的状态参数，具体包括：获取车辆的实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩；以及，根据实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩估算路面附着系数和前轮侧偏角；该状态参数还可以包括：运动速度、加速度、前轮驱动力矩、路面附着系数和前轮侧偏角；

第一计算单元具体用于：

根据路面附着系数和前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算实际回正力矩；

根据期望前轮转角信息计算期望前轮侧偏角；

根据路面附着系数和期望前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算期望回正力矩；

根据实际回正力矩和期望回正力矩计算前轮回正力矩补偿。

本技术方案，提供了一种计算前轮回正力矩补偿的方法，即通过前轮回正力矩模型来计算实际回正力矩和期望回正力矩，进而得到前轮回正力矩补偿。

第三方面，本发明实施例还提供了一种驱动控制器，包括：处理器和存储器，处理器连接到存储器，处理器用于调用存储器存储的程序代码执行：

获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息；该状态参数包括实际前轮转角信息；

根据状态参数以及期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，该前轮回正力矩补偿为在车辆的前轮转角信息为实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在车辆的前轮转角信息为期望前轮转角信息时前轮轮胎产生的期望回正力矩之差；

进而，基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差；并控制用于驱动车辆的第一前轮的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制用于驱动车辆的第二前轮的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，第一期望驱动力矩与第二期望驱动力矩的差为期望前轮两电机驱动力矩差。

实施本技术方案，驱动控制器可以实现在车辆转向之前对车辆转向控制量进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

在一种可能的实现方式中，处理器执行控制车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩之前，处理器还用于执行：根据期望前轮两电机驱动力矩差以及前轮总驱动力矩确定第一期望去的力矩和第二期望去的力矩。

在又一种可能的实现方式中，处理器执行基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，具体包括：

根据前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和；进而，根据所述前馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

实施本技术方案，通过在车辆转向之前对转向系惯量、转向系摩擦力、前轮回正力矩等进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

在又一种可能的实现方式中，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为：$\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF}}{Gr_{\sigma}}$；

所述第一期望驱动力矩为：$T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

所述第二期望驱动力矩为：$T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

其中，T_{xfr}为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl}为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl}为所述期望前轮两电机驱动力矩差，T_0为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF}为前馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的传动比，R 为车轮滚动半径，r_{σ}为主销横向偏移距。

实施本技术方案，驱动控制器均衡设定第一前轮和第二前轮的期望驱动力矩，提高车辆运动的稳定性。

在又一种可能的实现方式中，所述处理器执行所述基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，具体包括:

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和;

根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量，所述反馈控制量为克服所述车辆的实际运动状态与期望运动状态的偏差期望前轮两电机驱动力矩差所需要的控制量;

进而，根据所述前馈控制量和所述反馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

实施本技术方案，驱动控制器将前馈控制和反馈控制结合来实现车辆的转向控制，进一步提高差动转向的控制精度。

在又一种可能的实现方式中，

期望前轮两电机驱动力矩差为：$T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{Gr_{\sigma}}$；

第一期望驱动力矩为：$T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$；

第二期望驱动力矩为：$T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$；

其中，T_{xfr}为第一期望驱动力矩，T_{xfl}为第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl}为期望前轮两电机驱动力矩差，T_0为车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF}为前馈控制量，M_{FB}为反馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的减速比，R 为车轮滚动半径，r_{σ}为主销横向偏移距。

实施本技术方案，均衡设定第一前轮和第二前轮的期望驱动力矩，提高车辆运动的稳定性。

在又一种可能的实现方式中，实际前轮转角信息包括实际前轮转角；期望前轮转角信

息包括期望前轮转角；

$$M_{FF1} = -J_{eff}\ddot{\delta} + J_{eff}\ddot{\delta}_{des}$$；

$$M_{FF2} = -b_{eff}\dot{\delta} + b_{eff}\dot{\delta}_{des} + T_f(\delta_{des}) - T_f(\delta)$$；

$$M_{FF3} = T_a(\mu, \alpha_f) - T_a(\mu, \alpha_{f_des})$$；

$$M_{FF} = M_{FF1} + M_{FF2} + M_{FF3}$$；

其中，M_{FF1}为转向系惯量补偿，M_{FF2}为转向系摩擦力补偿、M_{FF3}为前轮回正力矩补偿，M_{FF}为前馈控制量，J_{eff}为转向系统的转动惯量，δ 为实际前轮转角，δ_{des}为期望前轮转角，b_{eff}为转向系统的有效阻尼，$T_f(\delta)$为转向系统的实际摩擦力矩，$T_f(\delta_{des})$为转向系统的期望摩擦力矩；μ 为路面附着系数，α_f为实际前轮侧偏角，α_{f_des}为期望前轮侧偏角，$T_a(\mu, \alpha_f)$为实际前轮回正力矩，$T_a(\mu, \alpha_{f_des})$为期望前轮回正力矩。

在又一种可能的实现方式中，状态参数还包括车辆的实际横摆角速度；处理器执行根据状态参数以及车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量，具体包括：

根据期望转角信息计算期望横摆角速度；

反馈控制量为：$M_{FB} = K_p(r_{des} - r) + K_I\int_0^t (r_{des} - r)dt$；

其中，M_{FB}为反馈控制量，K_p、K_I为反馈控制参数，r_{des}为期望横摆角速度，r 为实际横摆角速度，t 为时间。

在又一种可能的实现方式中，处理器执行获取车辆的状态参数，具体包括：获取车辆的实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩；以及，根据实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩估算路面附着系数和前轮侧偏角；该状态参数还包括：运动速度、加速度、前轮驱动力矩、路面附着系数和前轮侧偏角；

处理器执行根据状态参数以及期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，具体包括：

根据路面附着系数和前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算实际回正力矩；

根据期望前轮转角信息计算期望前轮侧偏角；

根据路面附着系数和期望前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算期望回正力矩；

根据实际回正力矩和期望回正力矩计算前轮回正力矩补偿。

本技术方案，提供了一种计算前轮回正力矩补偿的方法，即通过前轮回正力矩模型来计算实际回正力矩和期望回正力矩，进而得到前轮回正力矩补偿。

第四方面，本发明实施例还提供了一种驱动控制器，包括：处理器和存储器，所述处理器连接到存储器，所述处理器用于调用所述存储器存储的程序代码执行如第一方面所述的任意一种车辆转向控制方法。

第五方面，本发明实施例还提供了一种车辆转向系统，所述车辆转向系统包括：两个前轮、至少一个后轮、与所述两个前轮分别对应设置的第一前轮驱动机和第二前轮驱动机以及驱动控制器；

所述第一前轮驱动机用于驱动所述车辆的第一前轮，所述第二前轮驱动机用于驱动所述车辆的第二前轮;

所述驱动控制器用于:

获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息；所述状态参数包括实际前轮转角信息;

根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，所述前轮回正力矩补偿为在所述车辆的前轮转角信息为所述实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在所述车辆的前轮转角信息为所述期望前轮转角信息时所述前轮轮胎产生的期望回正力矩之差;

基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差;

控制所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，所述第一期望驱动力矩与所述第二期望驱动力矩的差为所述期望前轮两电机驱动力矩差。

在一种可能的实现方式中，所述驱动控制器控制执行所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩之前，所述驱动控制器还用于:

根据所述期望前轮两电机驱动力矩差以及前轮总驱动力矩确定所述第一期望去的力矩和所述第二期望去的力矩。

在又一种可能的实现方式中，所述驱动控制器执行所述基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，具体包括:

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量，所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和;

根据所述前馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

在又一种可能的实现方式中，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为: $\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF}}{Gr_{\sigma}}$;

所述第一期望驱动力矩为: $T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$;

所述第二期望驱动力矩为: $T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$;

其中，T_{xfr} 为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl} 为所述期望前轮两电机驱动力矩差，T_0 为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF} 为所述前馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的传动比，R 为车轮滚动半径，r_{σ} 为主销横向偏移距。

在又一种可能的实现方式中，所述驱动控制器执行所述基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，具体包括:

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量，所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转

向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和;

根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量，所述反馈控制量为克服所述车辆的实际运动状态与期望运动状态的偏差期望前轮两电机驱动力矩差所需要的控制量;

根据所述前馈控制量和所述反馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

在又一种可能的实现方式中，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为: $T_{xfr}-T_{xfl}=\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{Gr_{\sigma}}$;

所述第一期望驱动力矩为: $T_{xfr}=\frac{T_0}{2}+\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$;

所述第二期望驱动力矩为: $T_{xfl}=\frac{T_0}{2}-\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$;

其中，T_{xfr}为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl}为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl}为所述期望前轮两电机驱动力矩差，T_0为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF}为前馈控制量，M_{FB}为反馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的减速比，R 为车轮滚动半径，r_{σ}为主销横向偏移距。

在又一种可能的实现方式中，所述实际前轮转角信息包括实际前轮转角，所述期望前轮转角信息包括期望前轮转角;

$M_{FF1}=-J_{eff}\ddot{\delta}+J_{eff}\ddot{\delta}_{des}$;

$M_{FF2}=-b_{eff}\dot{\delta}+b_{eff}\dot{\delta}_{des}+T_f(\delta_{des})-T_f(\delta)$;

$M_{FF3}=T_a(\mu,\alpha_f)-T_a(\mu,\alpha_{f_des})$;

$M_{FF}=M_{FF1}+M_{FF2}+M_{FF3}$;

其中，M_{FF1}为所述转向系惯量补偿，M_{FF2}为所述转向系摩擦力补偿、M_{FF3}为所述前轮回正力矩补偿，M_{FF}为前馈控制量，J_{eff}为所述转向系统的转动惯量，δ 为所述实际前轮转角，δ_{des}为所述期望前轮转角，所述 b_{eff}为所述转向系统的有效阻尼，$T_f(\delta)$为转向系统的实际摩擦力矩，$T_f(\delta_{des})$为转向系统的期望摩擦力矩; μ 为路面附着系数，α_f为实际前轮侧偏角，α_{f_des}为期望前轮侧偏角，$T_a(\mu,\alpha_f)$为所述实际前轮回正力矩，$T_a(\mu,\alpha_{f_des})$为所述期望前轮回正力矩。

在又一种可能的实现方式中，所述状态参数还包括所述车辆的实际横摆角速度; 所述驱动控制器执行所述根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量，具体包括:

根据所述期望转角信息计算期望横摆角速度;

所述反馈控制量为: $M_{FB}=K_p(r_{des}-r)+K_I\int_0^t(r_{des}-r)dt$;

其中，M_{FB} 为反馈控制量，K_p、K_I 为反馈控制参数，r_{des} 为所述期望横摆角速度，r 为实际横摆角速度，t 为时间。

在又一种可能的实现方式中，

所述获取车辆的状态参数包括:

获取所述车辆的所述实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩；以及，根据所述实际前轮转角信息、所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩估算路面附着系数和前轮侧偏角，其中，所述状态参数还包括：所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩、所述路面附着系数和所述前轮侧偏角；

所述驱动控制器执行所述根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，具体包括:

根据所述路面附着系数和所述前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算所述实际回正力矩;

根据所述期望前轮转角信息计算期望前轮侧偏角;

根据所述路面附着系数和所述期望前轮侧偏角通过所述前轮回正力矩模型计算所述期望回正力矩;

根据所述实际回正力矩和所述期望回正力矩计算所述前轮回正力矩补偿。

第六方面，本发明实施例还提供了一种车辆转向系统，所述车辆转向系统包括：两个前轮、至少一个后轮、与所述两个前轮分别对应设置的第一前轮驱动机和第二前轮驱动机以及驱动控制器;

所述第一前轮驱动机用于驱动所述车辆的第一前轮，所述第二前轮驱动机用于驱动所述车辆的第二前轮;

所述驱动控制器可以是第二方面或第三方面所述的任意一种驱动控制器。

第七方面，本发明实施例还提供了一种车辆，所述车辆包括：两个前轮、至少一个后轮、与所述两个前轮分别对应设置的第一前轮驱动机和第二前轮驱动机以及驱动控制器;

所述第一前轮驱动机用于驱动所述车辆的第一前轮，所述第二前轮驱动机用于驱动所述车辆的第二前轮;

所述驱动控制器可以是第二方面或第三方面所述的任意一种驱动控制器。

第八方面，本发明实施例还提供了一种计算机存储介质，所述计算机存储介质用于计算机软件指令，所述计算机软件指令当被计算机执行时使所述计算机执行第一方面所述的任一种车辆转向控制方法。

第九方面，本发明实施例还提供了一种计算机程序，所述计算机程序包括计算机软件指令，所述指令当被计算机执行时使计算机执行第一方面所述的任一种车辆转向控制方法。

相对于现有技术，本发明实施例通过获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息，

该状态参数包括实际前轮转角信息；根据状态参数以及期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，前轮回正力矩补偿为在车辆的前轮转角信息为实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在车辆的前轮转角信息为期望前轮转角信息时前轮轮胎产生的期望回正力矩之差；进而基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，控制用于驱动车辆第一前轮的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制用于驱动车辆第二前轮的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，第一期望驱动力矩与第二期望驱动力矩的差为期望前轮两电机驱动力矩差。实施本发明实施，可以在车辆转向之前对车辆转向控制量进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或背景技术中的技术方案，下面将对本发明实施例或背景技术中所需要使用的附图进行说明。

图 1 是本发明实施例提供的一种线控转向系统的示意性说明图；

图 2 是本发明实施例提供的一种转向系统的结构示意图；

图 3 是本发明实施例提供的一种车辆的二自由度模型示意图；

图 4 是本发明实施例提供的一种车辆转向控制方法的流程示意图；

图 5 是本发明实施例提供的一种车辆转向控制的原理示意图；

图 6 是本发明实施例提供的另一种车辆转向控制的原理示意图；

图 7 是本发明实施例提供的一种驱动控制器的结构示意图；

图 8 是本发明实施例提供了另一种驱动控制器的结构示意图。

具体实施方式

下面结合本发明实施例中的附图对本发明实施例进行描述。

下面介绍本发明实施例中涉及的数学符号、含义。

路面附着系数 μ，质心纵向加速度 a_x，质心侧向(横向)加速度 a_y，前轴左侧车轮驱动力 F_{xfl}，前轴右侧车轮驱动力 F_{xfr}，方向盘转角 δ_{sw}，方向盘力矩 T_{sw}，前轴左侧车轮驱动力 F_{xfl} 产生绕主销的力矩 τ_{ds1}，前轴右侧车轮的驱动力 F_{xfr} 产生绕主销的力矩 τ_{ds2}，转向系统有效转动惯量 J_{eff}，转向系统有效阻尼 b_{eff}，前轮转角 δ，期望前轮转角 δ_{des}，期望前轴左右轮的驱动力矩差 M_u，轮胎回正力矩 T_a，转向系统摩擦力矩 T_f，前轮轮胎侧偏角 α_f，后轮轮胎侧偏角 α_r，车辆质心的纵向速度 v_x，车辆质心的侧向(横向)速度 v_y，质心到前轴的距离 a，质心到后轴的距离 b，前轴与后轴的距离 L，实际横摆角速度 r，期望的横摆角速度 r_{ref}，前轴侧向力 F_{yf}，后轴侧向力 F_{yr}，车辆有效横摆转动惯量 I_z，车辆质量 m，前轴左右轮轮胎力产生的横摆力矩ΔM，前馈控制量 M_{FF}，转向系惯量补偿 M_{FF1}，转向系摩擦力补偿 M_{FF2}，前轮轮胎回正力矩补偿 M_{FF3}，轮胎载荷 F_z，轮胎单位长度侧偏刚度 C_p，轮胎接地长度的一半 l，车辆在道路上的实际位置与期望位置的侧向误差 e_d，车辆行驶的航向角误差 e_Ψ，主销横向偏移距 r_σ，反馈控制量 M_{FB}，车辆的前轮驱动机到前轮之间的传动比 G，车轮滚动半径 R。

下面介绍差动转向的原理：

请参阅图 1 所示的线控转向系统。当线控转向系统失效后，例如，转向电机故障，转向电机不能拉动转向拉杆而使车轮转向。

对于前轴两车轮的独立驱动的车辆来说，前轴左右车轮的驱动力 F_{xfl} 和 F_{xfr} 会产生绕主销的力矩 τ_{ds1} 和 τ_{ds2}。当左轮驱动力矩等于右轮驱动力矩，即 $F_{xfl}=F_{xfr}$ 时，则 $\tau_{ds1}=\tau_{ds2}$，前轮不发生转动；当左轮驱动力矩大于右轮驱动力矩，即 $F_{xfl}>F_{xfr}$ 时，则 $\tau_{ds1}>\tau_{ds2}$，此时转向系统迫使前轴左右车轮向右转动；当右轮驱动力矩大于左轮驱动力矩，即 $F_{xfl}<F_{xfr}$ 时，则 $\tau_{ds1}<\tau_{ds2}$，此时转向系统迫使前轴左右车轮向向左转动。

请参见图 2，图 2 是本发明实施例提供的一种转向系统的结构示意图，该转向系统可以包括两个前轮、至少一个后轮、与该两个前轮分别对应设置的第一前轮驱动机和第二前轮驱动机以及驱动控制器。例如，转向系统包括：4 个车轮、分别与 4 个车轮对应的 4 个电动机、驱动控制器、运动传感器等。可选地，转向系统还可以包括但不限于转向控制器、方向盘、方向盘转角检测装置、转向电机、制动装置等中的至少一种。

4 个车轮包括前轴左轮、前轴右轮、后轴左轮以及后轴右轮。

运动传感器可以获取到车辆和/或车轮的运动信息。运动传感器包括但不限于速度传感器、加速度传感器、转角传感器、横摆角传感器、磁力传感器、雷达、图像传感器（比如摄像头）等中的至少一种。该运动信息包括但不限于车辆的运动速度、加速度、方向，车轮的横摆角信息、侧偏角等。可以理解，速度传感器用于获取车辆的运动速度，该运动速度可以包括车辆质心的纵向速度、侧向(横向)速度等。加速度传感器用户获取质心纵向加速度、侧向（横向）加速度等，可以包括加速度计等。转角传感器可以设置于车辆的前轮上，用于获取前轮转角；转角传感器还可以设置于后轮或车辆上其他位置。转角传感器可以包括陀螺仪等。还需要说明的是，车辆还可以通过加速度计、陀螺仪、磁力传感器、雷达或摄像头等的一种或多种的组合，以获取到车辆和/或车轮的运动信息。

其中，车辆或转向系统可以通过设置于车身上的横摆角传感器获取到该车辆的横摆角信息，横摆角信息可以包括车辆的横摆角速度和/或横摆角度。例如横摆角传感器为横摆角速度传感器，通过该横摆角速度传感器获取到车辆的横摆角速度。

驱动控制器用于控制 4 个电动机输出的驱动力矩或驱动力。驱动控制器可以为一个也可以为多个。驱动控制器也可以与转向控制器设置于同一芯片上，本发明不做限定。驱动控制器用于执行本发明实施例所述的车辆转向控制方法。

方向盘转角检测装置用于获取方向盘转角信息，该方向盘转角信息包括方向盘转动角度、方向盘转动角速度、方向盘力矩等中的至少一种。

转向控制器用于实现车辆的线控转向。具体地，转向控制器可以接收方向盘转角检测装置发送的方向盘转动角速度、方向盘转角或方向盘力矩等方向盘转动信息，并根据该方向盘转动信息控制转向电机拉动转向拉杆，进而控制前轴左右两车轮分别产生绕主销的力矩，使得前轴的两车轮绕主销转动，进而实现车辆的转向控制。

制动装置用于实现车辆或车轮的减速。制动装置可以包括 4 个液压制动器或其他制动装置，本发明不做限定。

需要说明的是，本发明实施例仅仅以转向系统包括四个车轮为例来说明，可以理解的

是，转向系统还可以包括 6 个、7 个或其他个数的车轮。上述任意一种转向系统可以设置于车辆内，基于相同的发明构思，该车辆可以实现本发明所述的该车辆转向控制方法。

可以理解，该转向系统可以设置于车辆上，通过本发明实施例所述的车辆转向控制方法实现对车辆的转向控制。

下面介绍本发明实施例涉及的路面附着系数和前轮侧向力的估计方法：

通过建立前轮侧向力模型和前轮回正力矩模型，根据获取到的状态参数估算前轮侧向力和前轮回正力矩；根据估算的前轮侧向力和估算的前轮回正力矩通过参数观测器同时估算路面附着系数和前轮侧偏角。其中，状态参数可以包括实际前轮转角信息、前轮驱动力矩、运动速度、加速度等。

可以理解，驱动控制器、转向控制器或车辆的总控制器等车辆中可实现计算的控制器中任意一种控制器都可以执行本发明所述的路面附着系数和前轮侧向力的估计方法。

请参阅图 3，图 3 是本发明实施例提供的一种车辆的二自由度模型示意图。通过建立车辆侧向即横摆运动的动力学方程，可以得到：

前轮侧偏角 α_f 可描述为：

$$\alpha_f = \frac{v_y + ar}{v_x} - \delta \qquad (1)$$

后轮侧偏角 α_r 可以描述为：

$$\alpha_r = \frac{v_y + br}{v_x} \qquad (2)$$

其中，δ 为前轮转角，可以通过运动参数计算得出，也可以通过设置在前轮上的转角传感器，直接获取得到；v_x 为车辆质心的纵向速度，v_y 为已知车辆质心的侧向(横向)速度；a 为车辆质心到前轴的距离，b 为车辆质心到后轴的距离；r 为车辆实际横摆角速度，可以通过横摆角传感器获取。可以理解，a、b 为车辆的固有参数，可以通过测量等手段标定。

车轮和路面的相互作用产生的侧向力和前轮回正力矩为路面附着系数和前轮侧偏角的非线性函数。其中，

侧向力模型可以表示为：

$$F_{yi}(\mu,\alpha_i)=\begin{cases} -3\mu F_{zi}\theta_{yi}\tan\alpha_i\left\{1-|\theta_{yi}\tan\alpha_i|+\dfrac{(\theta_{yf}\tan\alpha_i)^2}{3}\right\} & \alpha_i \le \arctan(\dfrac{1}{\theta_{yi}}) \\ -\mu F_{zi}\,\mathrm{sgn}(\alpha_i) & \alpha_i > \arctan(\dfrac{1}{\theta_{yi}}) \end{cases} \qquad (3)$$

前轮回正力矩模型可以表示为：

$$T_{af}(\mu,\alpha_f)=\begin{cases} \mu F_{zf} l\theta_{yf}\tan\alpha_f\left\{1-3|\theta_{yf}\tan\alpha_f|+3(\theta_{yf}\tan\alpha_f)^2-|\theta_{yf}\tan\alpha_f|^3\right\} & \alpha_f \le \arctan(\dfrac{1}{\theta_{yf}}) \\ 0 & \alpha_f > \arctan(\dfrac{1}{\theta_{yf}}) \end{cases} \qquad (4)$$

其中，$\theta_{yi}=2C_p l^2/(3\mu F_{zi})$，　$i=f,r$。

其中，$F_{yf}(\mu,\alpha_f)$表示前轮侧向力；$F_{yr}(\mu,\alpha_r)$表示后轮侧向力；F_{zf}为前轮轮胎载荷，F_{zr}为后轮轮胎载荷；C_p为轮胎单位长度侧偏刚度，l为轮胎接地长度的一半。

需要说明的是，侧向力模型和前轮回正力矩模型还可以采用其他模型，本发明不作限定。

路面附着系数和前轮侧偏角的计算可以通过如下估算方式得到：

对前轮轮胎侧偏角α_f公式（1）求导，可得前轮侧偏角速度：

$$\dot{\alpha}_f=\frac{\dot{v}_y+a\dot{r}}{v_x}-\dot{\delta} \tag{5}$$

同时由于，

$$\begin{cases}\dot{r}=\dfrac{F_f a-F_r b}{I_z}+\dfrac{\Delta M+\Delta M_r}{I_z}\\ \dot{v}_y=-v_x r+a_y\\ a_y=\dfrac{F_f+F_r}{m}\end{cases} \tag{6}$$

其中，I_z为车辆有效横摆转动惯量，m为车辆质量，ΔM为前轮左右轮轮胎力产生的横摆力矩。ΔM_r为后轮左右轮轮胎力产生的横摆力矩。可以理解，车辆有效横摆转动惯量、车辆质量可以通过测量等方法得知，为常量。横摆力矩ΔM和ΔM_r可以根据车辆的车轮的驱动力或驱动力矩、制动力或制动力矩、车辆的固有参数等计算得出。

综合公式（5）与（6），可得：

$$\dot{\alpha}_f=(\frac{1}{mv_x}+\frac{a^2}{I_z v_x})F_f+(\frac{1}{mv_x}-\frac{ab}{I_z v_x})F_r+\frac{a\Delta M}{I_z v_x}-r-\dot{\delta}+\frac{a\Delta M_r}{I_z v_x} \tag{7}$$

假设前轴左轮侧向力等于前轴右轮侧向力，后轴左轮侧向力等于后轴右轮侧向力，则上式（6）、（7）中，

$$\begin{cases}F_f=2F_{yf}(\alpha_f,\mu)\cos\delta\\ F_r=2F_{yr}(\alpha_r,\mu)\\ \alpha_r=\alpha_f+\delta-Lr/v_x\end{cases} \tag{8}$$

其中，L为车辆的前轴与后轴距离，F_f为前轮总侧向力，F_r为后轮总侧向力。

综合公式（7）与（8），构建如下参数观测器（9），用于路面附着系数与前轮轮胎侧偏角的同时估计，

$$\begin{cases} \dot{\hat{\alpha}}_f = (\frac{1}{mv_x} + \frac{a^2}{I_z v_x})\hat{F}_{yf}(\hat{\mu},\hat{\alpha}_f) + (\frac{1}{mv_x} - \frac{ab}{I_z v_x})\hat{F}_{yr}(\hat{\mu},\hat{\alpha}_r) + \frac{a\Delta M}{I_z v_x} - r - \dot{\delta} + \frac{a\Delta M_r}{I_z v_x} \\ \quad + l_1\left(ma_y - \left(\hat{F}_{yf}(\hat{\mu},\hat{\alpha}_f) + \hat{F}_{yr}(\hat{\mu},\hat{\alpha}_r)\right)\right) + l_2\left(T_a(\mu,\alpha_f) - \hat{T}_a(\hat{\mu},\hat{\alpha}_f)\right) \\ \dot{\hat{\mu}} = l_3\left(ma_y - \left(\hat{F}_{yf}(\hat{\mu},\hat{\alpha}_f) + \hat{F}_{yr}(\hat{\mu},\hat{\alpha}_f)\right)\right) + l_4\left(T_a(\mu,\alpha_f) - \hat{T}_a(\hat{\mu},\hat{\alpha}_f)\right) \end{cases} \quad (9)$$

式中，$\hat{\mu}$ 为估计的路面附着系数，$\hat{\alpha}_f$ 为估计的前轮侧偏角，将 $\hat{\mu}$ 、$\hat{\alpha}_f$ 代入到公式（3）、（4）中分别可以得到估计的轮胎侧向力 $\hat{F}_{yi}(\hat{\alpha}_i,\hat{\mu}),\{i=f,r\}$ 和估计的前轮轮胎回正力矩 $\hat{T}_a(\hat{\alpha}_f,\hat{\mu})$。

可以理解，将 $\hat{F}_{yi}(\hat{\alpha}_i,\hat{\mu}),\{i=f,r\}$ 和 $\hat{T}_a(\hat{\alpha}_f,\hat{\mu})$ 代入公式（9）中可以得到关于 $\hat{\alpha}_f$ 和 $\hat{\mu}$ 的两个方程。通过迭代计算确定变量l_1、l_2、l_3、l_4进而计算出 $\hat{\alpha}_f$ 和 $\hat{\mu}$ 。

其中，l_1、l_2、l_3、l_4为参数观测器增益，参数观测器增益需要保证:

$$\begin{cases} \lim\limits_{t\to\infty} \hat{a}_f \to a_f \\ \lim\limits_{t\to\infty} \hat{\mu} \to \mu \end{cases} \quad (10)$$

参数观测器的增益确定方法为现有技术，本发明不在赘述。

可以理解，估计出的路面附着系数可以作为实际路面附着系数，估计出的前轮侧偏角可以作为实际前轮侧偏角。当估计出路面附着系数 $\hat{\mu}$ 和前轮侧偏角 $\hat{\alpha}_f$ 后，可以将估计的路面附着系数 $\hat{\mu}$ 和前轮侧偏角 $\hat{\alpha}_f$ 代入到公式（4）中，计算出本发明实施例需要的前轮回正力矩，该前轮回正力矩即为本发明实施例所述的实际前轮回正力矩。

下面介绍本发明实施例提供的一种车辆转向控制方法:

为了控制前轮的转动，需要克服前轮轮胎回正力矩、转向系惯量、与转向系摩擦力。由于反馈控制是基于控制误差进行调节，只有误差累积到一定程度，反馈控制系统才能产生足够大的控制量对转向系统进行较好的干预。如果仅使用反馈控制，那么转向系统会存在补偿不足、控制精度差和转向滞后的问题。为了增强控制效果，本发明实施例采用前馈控制，通过车辆的当前实际回正力矩和期望正回力矩来计算用户控制车辆转向的控制量，进而基于该控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差，以实现车辆的差动转向。

请参阅图 4，图 4 是本发明实施例提供的一种车辆转向控制方法的流程示意图，该车辆转向控制方法可以应用于车辆或转向系统，本发明实施例以车辆为例来说明，该车辆转向控制方法包括以下全部步骤或部分步骤:

步骤 S1：获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息；所述状态参数包括实际前轮转角信息。

其中，状态参数可以包括但不限于实际前轮转角信息、前轮驱动力矩、运动速度、加

速度、路面附着系数、前轮侧偏角等。

其中，实际前轮转角信息可以是实际前轮转角和/或实际前轮转角速度；该实际前轮转角可以通过设置于前轮上转角传感器，比如陀螺仪等，实时获取到。实际前轮转角和实际前轮转角速度可以相互推导。

其中，前轮驱动力矩包括前轴左轮驱动力矩和前轮右轮驱动力矩。车辆或驱动控制器可以实时获取到前轮驱动力矩。前轴左轮驱动力矩和前轮右轮驱动力矩的不同会带动前轮转向进而使得车辆进行转向。

其中，运动速度指车辆质心的速度，可以包括车辆质心侧向（横向）速度和车辆质心纵向速度等。车辆可以通过速度传感器实时获取车辆质心的速度。

其中，加速度指车辆质心的加速度，可以包括车辆质心侧向（横向）加速度和车辆质心纵向加速度等。车辆可以通过加速度传感器实时获取车辆的加速度。

其中，路面附着系数是指车辆的轮胎和其接触的路面的附着系数，由路面和轮胎的属性决定的。

其中，前轮侧偏角指前轴左轮侧偏角和/或前轴右轮侧偏角，对于本发明实施例来说，前轴左轮侧偏角等于前轴右轮侧偏角。

可以理解，车辆的质量、转动惯量、车辆质心到前轴或后轴的距离、车轮半径、车轮宽度、轮胎单位长度侧偏刚度等参数为车辆的固有参数，可以预先通过测试或测量获取。

本发明一实施例中，期望前轮转角信息可以包括期望前轮转角、期望前轮转角速度、期望横摆角速度、期望横摆角度等中的至少一种。获取期望前轮转角信息的方式可以包括但不限于以下 2 中方式：

第一方式：

当车辆处于人工驾驶模式时，驾驶员操纵方向盘，使得方向盘转动产生方向盘转角 δ_{sw}。进而，期望横摆角速度 r_{des} 为：

$$r_{des}=\frac{v_x}{L(1+kv_x^2)}\varepsilon\delta_{sw} \tag{11}$$

期望前轮转角 δ_{des} 为：

$$\delta_{des}=\frac{r_{des}L\left(1+kv_x^2\right)}{v_x} \tag{12}$$

其中，L 为前轴与后轴的距离；k 为车辆的动力学参数，为常数；v_x 为车辆质心的纵向速度；ε 为转向系统传动比。

第二方式：

当车辆处于自动驾驶模式时，车辆的期望横摆角速度可以通过车辆控制系统计算得到，例如：

$$r_{des}=k_1(e_d+le_\psi) \tag{13}$$

其中，e_d 为车辆在道路上的实际位置与期望位置的侧向误差，e_Ψ 为车辆行驶的航向角误差，k_1 与 l 为需要标定的控制参数。

进而，通过公式（12）可以计算出期望前轮转角。

可以理解，实际前轮转角与实际期望转角速度可以互推导；期望前轮转角与前轮期望转角速度可以互推导。

需要说明的是，期望横摆角速度对于无人驾驶车辆或处于自动驾驶车辆的状态而言的车辆而言可由车辆总控制器、驱动控制器或转向控制器等控制器计算得到，期望横摆角速度的获得本发明不做限定。

本发明一实施例中，车辆可以根据获取到的路面附着系数和前轮侧偏角的一种实施方式可以是：通过建立前轮侧向力模型和前轮回正力矩模型，根据获取到的第一状态参数估算前轮侧向力和前轮回正力矩；根据估算的前轮侧向力和估算的前轮回正力矩通过参数观测器同时估算路面附着系数和前轮侧偏角。其中，状态参数包括第一状态参数，第一状态参数可以包括实际前轮转角信息、前轮驱动力矩、运动速度、加速度等。具体可与参见上述路面附着系数和前轮侧偏角的估计方法的相关描述，本发明不再赘述。

需要说明的是，车辆还可以通过其他方法或途径获取路面附着系数和前轮侧偏角，例如，通过路面附着系数传感器来直接获取路面附着系数，本发明不作限定。

步骤 S2：根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，所述前轮回正力矩补偿为在所述车辆的前轮转角信息为所述实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在所述车辆的前轮转角信息为所述期望前轮转角信息时所述前轮轮胎产生的期望回正力矩之差。

步骤 S3：基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差。

步骤 S4：控制所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，所述第一期望驱动力矩与所述第二期望驱动力矩的差为所述两电机驱动力矩差。其中，所述第一前轮驱动机用于驱动所述车辆的第一前轮，所述第二前轮驱动机用于驱动所述车辆的第二前轮。

可以理解，第一前轮可以是前轴左/右轮，相应的，第二前轮可以是前轴右/左轮，根据期望转角信息、第一期望驱动力矩和第二期望驱动力矩来确定。例如，第一前轮可以是前轴左轮，第一前轮驱动机可以是前轴左轮的驱动机；第二前轮可以是前轴右轮，第二前轮驱动机可以是前轴右轮的驱动机，当期望转角信息为期望向右转第一角度时，第一期望驱动力矩大于第二驱动力矩，前轴左右轮的驱动力矩差使得车辆的前轮向左转动。

步骤 S2 和 S3 的第一种实现方式：

请一并参阅图 5 所示的车辆转向控制的原理示意图。

车辆可以根据前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；该前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和前轮回正力矩补偿之和，进而，根据所述前馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

在不进行差动转向控制时，第一前轮驱动机和第二前轮驱动机输出的驱动力矩相等，转向系的动力学方程可以表示为：

$$J_{eff}\ddot{\delta}+b_{eff}\dot{\delta}=T_a(\mu,\ \alpha_f)-T_f(\delta) \qquad (14)$$

在进行差动转向控制时，第一前轮驱动机和第二前轮驱动机输出的驱动力矩不相等，第一期望驱动力矩和第二期望驱动力矩之间存在期望前轮两电机驱动力矩差 M_u，转向系的

动力学方程可以表示为:

$$J_{eff}\ddot{\delta}_{des}+b_{eff}\dot{\delta}_{des}=T_a(\mu,\ \alpha_{f_des})+M_u-T_f(\delta_{des}) \qquad (15)$$

式（14）、（15）中，J_{eff}为转向系统的转动惯量，δ为实际前轮转角，δ_{des}为所述期望前轮转角，所述 b_{eff} 为所述转向系统的有效阻尼，$T_f(\delta)$为转向系统的实际摩擦力矩，$T_f(\delta_{des})$为转向系统的期望摩擦力矩；μ 为路面附着系数，α_f 为实际前轮侧偏角，α_{f_des} 为期望前轮侧偏角，$T_a(\mu, \alpha_f)$为实际前轮回正力矩，$T_a(\mu, \alpha_{f_des})$为期望前轮回正力矩。

可以将获取到的路面附着系数 μ，实际前轮侧偏角 α_f 带入到公式（4）中计算出实际前轮回正力矩 $T_a(\mu, \alpha_f)$。可以将获取到的路面附着系数 μ，期望前轮侧偏角 α_{f_des} 带入到公式（4）中计算出期望前轮回正力矩 $T_a(\mu, \alpha_{f_des})$。

其中，期望前轮侧偏角 α_{f_des} 为:

$$\alpha_{f_des}=\frac{v_{y_des}+ar}{v_x}-\delta_{des} \qquad (16)$$

$$v_{y_des}=\alpha_f v_x-ar \qquad (17)$$

式（16）、（17）中，v_{y_des} 为期望质心纵向速度，α_f 为实际前轮侧偏角，可以是通过参数观测器估计的前轮侧偏角

式（14）、（15）做差可得:

$$J_{eff}(\ddot{\delta}_{des}-\ddot{\delta})+b_{eff}(\dot{\delta}_{des}-\dot{\delta})=T_a(\mu,\ \alpha_{f_des})-T_a(\mu,\ \alpha_f)+M_u-T_f(\delta_{des})+T_f(\delta) \qquad (18)$$

前馈控制量可表述为:

$$M_{FF}=M_{FF1}+M_{FF2}+M_{FF3} \qquad (19)$$

其中，

$$M_{FF1}=-J_{eff}\ddot{\delta}+J_{eff}\ddot{\delta}_{des} \qquad (20)$$

$$M_{FF2}=-b_{eff}\dot{\delta}+b_{eff}\dot{\delta}_{des}+T_f(\delta_{des})-T_f(\delta) \qquad (21)$$

$$M_{FF3}=T_a(\mu,\alpha_f)-T_a(\mu,\alpha_{f_des}) \qquad (22)$$

式中，M_{FF1}为所述转向系惯量补偿，M_{FF2}为所述转向系摩擦力补偿、M_{FF3}为所述前轮回正力矩补偿，M_{FF}为前馈控制量。

可以理解，M_{FF1}和 M_{FF2}可以通过实验测量的方法得出，也可以基于状态参数和期望状态参数计算获得。其中，期望状态参数可以包括期望质心速度、期望质心加速度等。

M_u为期望前轮两电机驱动力矩差，可描述为:

$$M_u=(F_{xfr}-F_{xfl})r_\sigma \qquad (23)$$

式中，F_{xfl} 与 F_{xfr} 分别为期望前轴左右轮的驱动力，r_σ 为是主销在路面的投影点与前轮中心面之间的距离(如图 1 所示)，因此，

$$F_{xfr}-F_{xfl}=\frac{M_u}{r_\sigma}=\frac{M_{FF}}{r_\sigma} \qquad (24)$$

又因驱动力矩 T_i 与轮胎力 F_i 之间的关系为：

$$T_iG=RF_i \qquad (25)$$

式中，G 为前轮驱动机到该前轮驱动机所驱动的前轮之间的减速比，R 为车轮滚动半径，r_σ 为主销横向偏移距。

期望前轮两电机驱动力矩差为：

$$\Delta T_{xf}=T_{xfr}-T_{xfl}=\frac{RM_{FF}}{Gr_\sigma} \qquad (26)$$

式（26）中，T_{xfr} 为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为所述第二期望驱动力矩，ΔT_{xf} 为期望前轮两电机驱动力矩差。

步骤 S2 和 S3 的第二种实现方式：

请一并参阅图 6 所示的车辆转向控制的原理示意图。

车辆可以根据前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和前轮回正力矩补偿之和；根据状态参数以及车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量；进而，根据前馈控制量和反馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

其中，前馈控制量的计算方法可参见步骤 S2 和 S3 的第一种实现方式中相关描述，本发明不在赘述。

反馈控制量为克服车辆的实际运动状态与期望运动状态的偏差期望前轮两电机驱动力矩差所需要的控制量。可以理解车辆的实际运动状态可以包括但不限于实际横摆角速度、实际横摆角等，车辆的期望运动状态包括但不限于期望横摆角速度、期望横摆角等。

反馈控制量的计算可以采用现有技术中的 PI 控制器、滑膜控制器、自适应控制器等，本发明不作限定。本发明实施例以 PI 控制器为例来计算反馈控制量。

通过公式（11）或（13）可以计算期望横摆角速度 r_{des}，可以根据车辆望横摆角速度和实际横摆角速度之间的差异计算反馈控制量：

$$M_{FB}=K_p(r_{\text{des}}-r)+K_I\int_0^t(r_{\text{des}}-r)dt \qquad (27)$$

式（27）中，r 为实际横摆角速度，车辆可以通过横摆角速度传感器实时获取车辆的实际横摆角速度，也可以根据获取到的其他状态参数计算出车辆的实际横摆角速度；K_p、K_I 为反馈控制参数。

$$F_{xfr}-F_{xfl}=\frac{M_u}{r_\sigma}=\frac{M_{FF}+M_{FB}}{r_\sigma} \qquad (28)$$

根据公式（23）、（25）、（28）可得期望前轮两电机驱动力矩差为：

$$\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF} + RM_{\mathrm{FB}}}{Gr_{\sigma}} \qquad (29)$$

步骤 S2 和 S3 的第三种实现方式:

将获取到的路面附着系数前轮侧偏角代入通过公式（4）中计算出实际回正力矩；将获取到的路面附着系数和期望前轮侧偏角代入公式（4）中计算出期望回正力矩，进而将实际回正力矩减去期望回正力矩得到前轮回正力矩补偿。即:

$$M_{FF3} = T_a(\mu, \alpha_f) - T_a(\mu, \alpha_{f_des}) \qquad (30)$$

期望前轮两电机驱动力矩差仅通过前轮回正力矩补偿来实现，同理，根据公式（23）、（25）、（30）可得期望前轮两电机驱动力矩差为:

$$\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF3}}{Gr_{\sigma}} \qquad (31)$$

本发明一实施例中，第一期望驱动力矩可以通过第一前轮驱动机来实现，第二期望驱动力矩可以通过第二前轮驱动机来实现。其中，前轮驱动机（如第一前轮驱动机或第二前轮驱动机）可以包括发动机和制动器。其中，发动机用于提供驱动力；制动器用于提供制动力，以使车轮减速。驱动力矩（如第一期望驱动力矩或第二期望驱动力矩）为驱动力和制动力的合力所产生的合力矩。

可选地，所述第一期望驱动力矩为:

$$T_{xfr} = \frac{T_0 + \Delta T_{xf}}{2} \qquad (32)$$

所述第二期望驱动力矩为:

$$T_{xfr} = \frac{T_0 - \Delta T_{xf}}{2} \qquad (33)$$

需要说明的是，在保证第一期望驱动力矩和第二期望驱动力矩差为期望前轮两电机驱动力矩差的情况下，第一期望驱动力矩和第二期望驱动力矩还可以是其他数值，本发明不作限定。

本发明实施例中，通过获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息，该状态参数包括实际前轮转角信息；根据状态参数以及期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，前轮回正力矩补偿为在车辆的前轮转角信息为实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在车辆的前轮转角信息为期望前轮转角信息时前轮轮胎产生的期望回正力矩之差；进而基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，控制用于驱动车辆第一前轮的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制用于驱动车辆第二前轮的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，第一期望驱动力矩与第二期望驱动力矩的差为期望前轮两电机驱动力矩差。实施本发明实施，可以在车辆转向之前对车辆转向控制量进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

上述详细阐述了本发明实施例的方法，下面提供了本发明实施例的装置。

请参见图 7，图 7 是本发明实施例提供的一种驱动控制器的结构示意图，该驱动控制器 70 可以包括获取单元 710、第一计算单元 720、第二计算单元 730 以及控制单元 740，其中，各个单元的详细描述如下。

获取单元 710，用于获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息；所述状态参数包括实际前轮转角信息；

第一计算单元 720，用于根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，所述前轮回正力矩补偿为在所述车辆的前轮转角信息为所述实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在所述车辆的前轮转角信息为所述期望前轮转角信息时所述前轮轮胎产生的期望回正力矩之差；

第二计算单元 730，用于基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差；

控制单元 740，用于控制所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，所述第一期望驱动力矩与所述第二期望驱动力矩的差为所述期望前轮两电机驱动力矩差；

其中，所述第一前轮驱动机用于驱动所述车辆的第一前轮，所述第二前轮驱动机用于驱动所述车辆的第二前轮。

在一种可能的实现方式中，所述第二计算单元 730 具体用于：

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和；

根据所述前馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

在又一种可能的实现方式中，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为：$\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF}}{Gr_{\sigma}}$；

所述第一期望驱动力矩为：$T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

所述第二期望驱动力矩为：$T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

其中，T_{xfr} 为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl} 为所述期望前轮两电机驱动力矩差，T_0 为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF} 为前馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的传动比，R 为车轮滚动半径，r_{σ} 为主销横向偏移距。

在又一种可能的实现方式中，所述第二计算单元 730 具体用于：

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和；

根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量，所述反馈控制量为克服所述车辆的实际运动状态与期望运动状态的偏差期望前轮两电机驱动力矩差所需

要的控制量;

根据所述前馈控制量和所述反馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

在又一种可能的实现方式中,

所述期望前轮两电机驱动力矩差为: $T_{xfr}-T_{xfl}=\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{Gr_{\sigma}}$;

所述第一期望驱动力矩为: $T_{xfr}=\frac{T_0}{2}+\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$;

所述第二期望驱动力矩为: $T_{xfl}=\frac{T_0}{2}-\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$;

其中, T_{xfr} 为所述第一期望驱动力矩, T_{xfl} 为所述第二期望驱动力矩, T_{xfr}-T_{xfl} 为所述期望前轮两电机驱动力矩差, T_0 为所述车辆的前轮总驱动力矩, M_{FF} 为前馈控制量, M_{FB} 为反馈控制量, G 为前轮驱动机到前轮之间的减速比, R 为车轮滚动半径, r_{σ} 为主销横向偏移距。

在又一种可能的实现方式中,所述实际前轮转角信息包括实际前轮转角;所述期望前轮转角信息包括期望前轮转角;

$M_{FF1}=-J_{eff}\ddot{\delta}+J_{eff}\ddot{\delta}_{des}$;

$M_{FF2}=-b_{eff}\dot{\delta}+b_{eff}\dot{\delta}_{des}+T_f(\delta_{des})-T_f(\delta)$;

$M_{FF3}=T_a(\mu,\alpha_f)-T_a(\mu,\alpha_{f_des})$;

$M_{FF}=M_{FF1}+M_{FF2}+M_{FF3}$;

其中, M_{FF1} 为所述转向系惯量补偿, M_{FF2} 为所述转向系摩擦力补偿、M_{FF3} 为所述前轮回正力矩补偿, M_{FF} 为前馈控制量, J_{eff} 为所述转向系统的转动惯量, δ 为所述实际前轮转角, δ_{des} 为所述期望前轮转角,所述 b_{eff} 为所述转向系统的有效阻尼, $T_f(\delta)$为转向系统的实际摩擦力矩, $T_f(\delta_{des})$为转向系统的期望摩擦力矩; μ 为路面附着系数, α_f 为实际前轮侧偏角, α_{f_des} 为期望前轮侧偏角, $T_a(\mu,\alpha_f)$为所述实际前轮回正力矩, $T_a(\mu,\alpha_{f_des})$为所述期望前轮回正力矩。

在又一种可能的实现方式中,所述状态参数还包括所述车辆的实际横摆角速度;

所述第二计算单元,用于根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量,具体包括:

根据所述期望转角信息计算期望横摆角速度;

所述反馈控制量为: $M_{FB}=K_p(r_{des}-r)+K_I\int_0^t(r_{des}-r)dt$;

其中, M_{FB} 为反馈控制量, K_p、K_I 为反馈控制参数, r_{des} 为所述期望横摆角速度, r 为实际横摆角速度, t 为时间。

在又一种可能的实现方式中,所述获取单元 710 执行所述获取车辆的状态参数,具体

包括：获取所述车辆的所述实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩；以及，根据所述实际前轮转角信息、所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩估算路面附着系数和前轮侧偏角；所述状态参数还包括：所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩、所述路面附着系数和所述前轮侧偏角；

所述第一计算单元720具体用于：

根据所述路面附着系数和所述前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算所述实际回正力矩；

根据所述期望前轮转角信息计算期望前轮侧偏角；

根据所述路面附着系数和所述期望前轮侧偏角通过所述前轮回正力矩模型计算所述期望回正力矩；

根据所述实际回正力矩和所述期望回正力矩计算所述前轮回正力矩补偿。

需要说明的是，各个单元的实现还可以对应参照图4所示的方法实施例的相应描述。

参阅图8，图8是本发明实施例提供了另一种驱动控制器的结构示意图，所述驱动控制器80包括处理器810、存储器820、通信总线830。通信总线830用于实现驱动控制器80中各个组件之间的连接通信。

存储器820可以包括只读存储器和随机存取存储器，并向处理器810提供指令和数据。存储器820的一部分还可以包括非易失性随机存取存储器（NVRAM）。

可选地，驱动控制器830还可以包括至少一个用户接口，该用户接口可以包括显示器（例如，触摸屏、LCD、CRT、全息成像（Holographic）或者投影（Projector）等），键盘或者点击设备（例如，鼠标，轨迹球（trackball），触感板或者触摸屏等），例如，该驱动控制器包括用户接口且该用户接口包括显示器和触摸屏，该显示器用于显示驱动控制器向输出的信息或用户交互界面，该触摸屏用于获取人机交互信息等。

可选地，驱动控制器830还可以包括至少一个通信接口，该通信接口用于实现驱动控制器与其他器件、终端、服务器或其他设备等之间的数据交换。

可选地，驱动控制器830可以包括速度传感器、加速度传感器、转角传感器、横摆角传感器、图像传感器等。该传感器也可以单独设置于车辆上。驱动控制器可以连接到传感器，获取传感器采集到的数据，本发明不做限定。

处理器810可以是中央处理单元(Central Processing Unit，CPU)，该处理器还可以是其他通用处理器、数字信号处理器 (Digital Signal Processor，DSP)、专用集成电路 (Application Specific Integrated Circuit，ASIC)、现成可编程门阵列 (Field-Programmable Gate Array，FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

处理器810用于调用所述存储器820存储的程序代码执行：

获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息；所述状态参数包括实际前轮转角信息；

根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，所述前轮回正力矩补偿为在所述车辆的前轮转角信息为所述实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回

正力矩与在所述车辆的前轮转角信息为所述期望前轮转角信息时所述前轮轮胎产生的期望回正力矩之差;

基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差;

控制所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，所述第一期望驱动力矩与所述第二期望驱动力矩的差为所述期望前轮两电机驱动力矩差;

其中，所述第一前轮驱动机用于驱动所述车辆的第一前轮，所述第二前轮驱动机用于驱动所述车辆的第二前轮。

在一种可能的实现方式中，所述处理器 810 执行所述基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，具体包括:

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和;

根据所述前馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

在又一种可能的实现方式中，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为: $\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF}}{Gr_{\sigma}}$;

所述第一期望驱动力矩为: $T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$;

所述第二期望驱动力矩为: $T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$;

其中，T_{xfr} 为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl} 为所述期望前轮两电机驱动力矩差，T_0 为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF} 为前馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的传动比，R 为车轮滚动半径，r_{σ} 为主销横向偏移距。

在又一种可能的实现方式中，所述处理器 810 执行所述基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，具体包括:

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和;

根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量;

根据所述前馈控制量和所述反馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

在又一种可能的实现方式中，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为: $T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{Gr_{\sigma}}$;

所述第一期望驱动力矩为: $T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$;

所述第二期望驱动力矩为：$T_{xfl}=\frac{T_0}{2}-\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{2Gr_\sigma}$；

其中，T_{xfr}为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl}为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl}为所述期望前轮两电机驱动力矩差，T_0为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF}为前馈控制量，M_{FB}为反馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的减速比，R 为车轮滚动半径，r_σ为主销横向偏移距。

在又一种可能的实现方式中，所述实际前轮转角信息包括实际前轮转角；所述期望前轮转角信息包括期望前轮转角；

$$M_{FF1}=-J_{eff}\ddot{\delta}+J_{eff}\ddot{\delta}_{des}；$$

$$M_{FF2}=-b_{eff}\dot{\delta}+b_{eff}\dot{\delta}_{des}+T_f(\delta_{des})-T_f(\delta)；$$

$$M_{FF3}=T_a(\mu,\alpha_f)-T_a(\mu,\alpha_{f_des})；$$

$$M_{FF}=M_{FF1}+M_{FF2}+M_{FF3}；$$

其中，M_{FF1}为所述转向系惯量补偿，M_{FF2}为所述转向系摩擦力补偿、M_{FF3}为所述前轮回正力矩补偿，M_{FF}为前馈控制量，J_{eff}为所述转向系统的转动惯量，δ 为所述实际前轮转角，δ_{des}为所述期望前轮转角，所述 b_{eff}为所述转向系统的有效阻尼，$T_f(\delta)$为转向系统的实际摩擦力矩，$T_f(\delta_{des})$为转向系统的期望摩擦力矩；μ 为路面附着系数，α_f为实际前轮侧偏角，α_{f_des}为期望前轮侧偏角，$T_a(\mu,\alpha_f)$为所述实际前轮回正力矩，$T_a(\mu,\alpha_{f_des})$为所述期望前轮回正力矩。

在又一种可能的实现方式中，所述状态参数还包括所述车辆的实际横摆角速度；

所述处理器还用于执行：根据所述期望转角信息计算期望横摆角速度；

所述反馈控制量为：$M_{FB}=K_p(r_{des}-r)+K_I\int_0^t(r_{des}-r)dt$；

其中，M_{FB}为反馈控制量，K_p、K_I为反馈控制参数，r_{des}为所述期望横摆角速度，r 为实际横摆角速度，t 为时间。

在又一种可能的实现方式中，所述处理器 810 执行所述获取车辆的状态参数，具体包括：获取所述车辆的所述实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩；以及，根据所述实际前轮转角信息、所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩估算路面附着系数和前轮侧偏角；所述状态参数还包括：所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩、所述路面附着系数和所述前轮侧偏角。

此时，所述处理器 810 执行所述根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，具体包括：

根据所述路面附着系数和所述前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算所述实际回正力矩；

根据所述期望前轮转角信息计算期望前轮侧偏角；

根据所述路面附着系数和所述期望前轮侧偏角通过所述前轮回正力矩模型计算所述期

望回正力矩；

根据所述实际回正力矩和所述期望回正力矩计算所述前轮回正力矩补偿。

需要说明的是，各个单元的实现还可以对应参照图 4 所示的方法实施例的相应描述。

综上所述，本发明实施例通过获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息，该状态参数包括实际前轮转角信息；根据状态参数以及期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，前轮回正力矩补偿为在车辆的前轮转角信息为实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在车辆的前轮转角信息为期望前轮转角信息时前轮轮胎产生的期望回正力矩之差；进而基于前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差，控制用于驱动车辆第一前轮的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制用于驱动车辆第二前轮的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，第一期望驱动力矩与第二期望驱动力矩的差为期望前轮两电机驱动力矩差。实施本发明实施，可以在车辆转向之前对车辆转向控制量进行补偿，提高差动转向的控制精度和响应速度。

本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程，该流程可以由计算机程序来指令相关的硬件完成，该程序可存储于计算机可读取存储介质中，该程序在执行时，可包括如上述各方法实施例的流程。而前述的存储介质包括：ROM 或随机存储记忆体 RAM、磁碟或者光盘等各种可存储程序代码的介质。

权利要求

1、一种车辆转向控制方法，其特征在于，包括:

获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息,所述状态参数包括实际前轮转角信息;

根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，所述前轮回正力矩补偿为在所述车辆的前轮转角信息为所述实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在所述车辆的前轮转角信息为所述期望前轮转角信息时所述前轮轮胎产生的期望回正力矩之差;

基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差,所述期望前轮两电机驱动力矩差为第一期望驱动力矩与第二期望驱动力矩的差;

控制所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩;

其中，所述第一前轮驱动机用于驱动所述车辆的第一前轮，所述第二前轮驱动机用于驱动所述车辆的第二前轮。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述控制所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩之前，所述方法还包括:

根据所述期望前轮两电机驱动力矩差以及前轮总驱动力矩确定所述第一期望去的力矩和所述第二期望去的力矩。

3、如权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差包括:

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量，所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和;

根据所述前馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为: $\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF}}{Gr_{\sigma}}$;

所述第一期望驱动力矩为: $T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$;

所述第二期望驱动力矩为: $T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$;

其中，T_{xfr} 为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl} 为所述期

望前轮两电机驱动力矩差，T_0 为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF} 为所述前馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的传动比，R 为车轮滚动半径，r_σ 为主销横向偏移距。

5、如权利要求 1 或 2 所述的方法，其特征在于，所述基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差包括:

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量，所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和;

根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量;

根据所述前馈控制量和所述反馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

6、如权利要求 5 所述的方法，其特征在于，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为：$T_{xfr}-T_{xfl}=\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{Gr_\sigma}$；

所述第一期望驱动力矩为：$T_{xfr}=\frac{T_0}{2}+\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{2Gr_\sigma}$；

所述第二期望驱动力矩为：$T_{xfl}=\frac{T_0}{2}-\frac{RM_{FF}+RM_{FB}}{2Gr_\sigma}$；

其中，T_{xfr} 为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl} 为所述期望前轮两电机驱动力矩差，T_0 为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF} 为前馈控制量，M_{FB} 为反馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的减速比，R 为车轮滚动半径，r_σ 为主销横向偏移距。

7、如权利要求 3-6 任意一项权利要求所述的方法，其特征在于，所述实际前轮转角信息包括实际前轮转角，所述期望前轮转角信息包括期望前轮转角;

$$M_{FF1}=-J_{eff}\ddot{\delta}+J_{eff}\ddot{\delta}_{des};$$

$$M_{FF2}=-b_{eff}\dot{\delta}+b_{eff}\dot{\delta}_{des}+T_f(\delta_{des})-T_f(\delta);$$

$$M_{FF3}=T_a(\mu,\alpha_f)-T_a(\mu,\alpha_{f_des});$$

$$M_{FF}=M_{FF1}+M_{FF2}+M_{FF3};$$

其中，M_{FF1} 为所述转向系惯量补偿，M_{FF2} 为所述转向系摩擦力补偿、M_{FF3} 为所述前轮回正力矩补偿，M_{FF} 为前馈控制量，J_{eff} 为所述转向系统的转动惯量，δ 为所述实际前轮转角，δ_{des} 为所述期望前轮转角，所述 b_{eff} 为所述转向系统的有效阻尼，$T_f(\delta)$为转向系统的实际摩擦力矩，$T_f(\delta_{des})$为转向系统的期望摩擦力矩; μ 为路面附着系数，α_f 为实际前轮侧偏角，α_{f_des} 为期望前轮侧偏角，$T_a(\mu, \alpha_f)$为所述实际前轮回正力矩，$T_a(\mu, \alpha_{f_des})$为所述期望前轮回正力矩。

8、如权利要求 5 或 6 所述的方法，其特征在于，所述状态参数还包括所述车辆的实际

横摆角速度；所述根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量包括：

根据所述期望转角信息计算期望横摆角速度；

所述反馈控制量为：$M_{FB}=K_p(r_{des}-r)+K_I\int_0^t(r_{des}-r)dt$；

其中，M_{FB}为反馈控制量，K_p、K_I为反馈控制参数，r_{des}为所述期望横摆角速度，r为实际横摆角速度，t为时间。

9、如权利要求1-8任意一项权利要求所述的方法，其特征在于，

所述获取车辆的状态参数包括：

获取所述车辆的所述实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩；以及，根据所述实际前轮转角信息、所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩估算路面附着系数和前轮侧偏角，其中，所述状态参数还包括：所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩、所述路面附着系数和所述前轮侧偏角；

所述根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿包括：

根据所述路面附着系数和所述前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算所述实际回正力矩；

根据所述期望前轮转角信息计算期望前轮侧偏角；

根据所述路面附着系数和所述期望前轮侧偏角通过所述前轮回正力矩模型计算所述期望回正力矩；

根据所述实际回正力矩和所述期望回正力矩计算所述前轮回正力矩补偿。

10、一种驱动控制器，其特征在于，包括：

获取单元，用于获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息；所述状态参数包括实际前轮转角信息；

第一计算单元，用于根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，所述前轮回正力矩补偿为在所述车辆的前轮转角信息为所述实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在所述车辆的前轮转角信息为所述期望前轮转角信息时所述前轮轮胎产生的期望回正力矩之差；

第二计算单元，用于基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差；

控制单元，用于控制所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，所述第一期望驱动力矩与所述第二期望驱动力矩的差为所述期望前轮两电机驱动力矩差；

其中，所述第一前轮驱动机用于驱动所述车辆的第一前轮，所述第二前轮驱动机用于驱动所述车辆的第二前轮。

11、如权利要求9所述的驱动控制器，其特征在于，所述驱动控制器还包括：

确定单元，用于根据所述期望前轮两电机驱动力矩差以及前轮总驱动力矩确定所述第一期望去的力矩和所述第二期望去的力矩。

12、如权利要求 10 或 11 所述的驱动控制器，其特征在于，所述第二计算单元具体用于：

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和；

根据所述前馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

13、如权利要求 12 所述的驱动控制器，其特征在于，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为：$\Delta T_{xf} = T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF}}{Gr_{\sigma}}$；

所述第一期望驱动力矩为：$T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

所述第二期望驱动力矩为：$T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF}}{2Gr_{\sigma}}$；

其中，T_{xfr} 为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl} 为所述期望前轮两电机驱动力矩差，T_0 为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF} 为前馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的传动比，R 为车轮滚动半径，r_{σ} 为主销横向偏移距。

14、如权利要求 10 或 11 所述的驱动控制器，其特征在于，所述第二计算单元具体用于：

根据所述前轮回正力矩补偿计算前馈控制量；所述前馈控制量为转向系惯量补偿、转向系摩擦力补偿和所述前轮回正力矩补偿之和；

根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量；

根据所述前馈控制量和所述反馈控制量计算期望前轮两电机驱动力矩差。

15、如权利要求 14 所述的驱动控制器，其特征在于，

所述期望前轮两电机驱动力矩差为：$T_{xfr} - T_{xfl} = \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{Gr_{\sigma}}$；

所述第一期望驱动力矩为：$T_{xfr} = \frac{T_0}{2} + \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$；

所述第二期望驱动力矩为：$T_{xfl} = \frac{T_0}{2} - \frac{RM_{FF} + RM_{FB}}{2Gr_{\sigma}}$；

其中，T_{xfr} 为所述第一期望驱动力矩，T_{xfl} 为所述第二期望驱动力矩，T_{xfr}-T_{xfl} 为所述期望前轮两电机驱动力矩差，T_0 为所述车辆的前轮总驱动力矩，M_{FF} 为前馈控制量，M_{FB} 为反馈控制量，G 为前轮驱动机到前轮之间的减速比，R 为车轮滚动半径，r_{σ} 为主销横向偏移距。

16、如权利要求 12-15 任意一项权利要求所述的驱动控制器，其特征在于，所述实际前轮转角信息包括实际前轮转角；所述期望前轮转角信息包括期望前轮转角；

$$M_{FF1} = -J_{eff}\ddot{\delta} + J_{eff}\ddot{\delta}_{des};$$

$$M_{FF2} = -b_{eff}\dot{\delta} + b_{eff}\dot{\delta}_{des} + T_f(\delta_{des}) - T_f(\delta);$$

$$M_{FF3} = T_a(\mu, \alpha_f) - T_a(\mu, \alpha_{f_des});$$

$$M_{FF} = M_{FF1} + M_{FF2} + M_{FF3};$$

其中，M_{FF1}为所述转向系惯量补偿，M_{FF2}为所述转向系摩擦力补偿、M_{FF3}为所述前轮回正力矩补偿，M_{FF}为前馈控制量，J_{eff}为所述转向系统的转动惯量，δ为所述实际前轮转角，δ_{des}为所述期望前轮转角，所述b_{eff}为所述转向系统的有效阻尼，$T_f(\delta)$为转向系统的实际摩擦力矩，$T_f(\delta_{des})$为转向系统的期望摩擦力矩；μ为路面附着系数，α_f为实际前轮侧偏角，α_{f_des}为期望前轮侧偏角，$T_a(\mu, \alpha_f)$为所述实际前轮回正力矩，$T_a(\mu, \alpha_{f_des})$为所述期望前轮回正力矩。

17、如权利要求14或15所述的驱动控制器，其特征在于，所述状态参数还包括所述车辆的实际横摆角速度；所述第二计算单元，用于根据所述状态参数以及所述车辆的期望前轮转角信息计算反馈控制量，具体包括：

根据所述期望转角信息计算期望横摆角速度；

所述反馈控制量为：$M_{FB} = K_p(r_{des} - r) + K_I\int_0^t (r_{des} - r)dt$；

其中，M_{FB}为反馈控制量，K_p、K_I为反馈控制参数，r_{des}为所述期望横摆角速度，r为实际横摆角速度，t为时间。

18、如权利要求10-17任意一项权利要求所述的驱动控制器，其特征在于，

所述获取单元执行所述获取车辆的状态参数，具体包括：获取所述车辆的所述实际前轮转角信息、运动速度、加速度、前轮驱动力矩；以及，根据所述实际前轮转角信息、所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩估算路面附着系数和前轮侧偏角；所述状态参数还包括：所述运动速度、所述加速度、所述前轮驱动力矩、所述路面附着系数和所述前轮侧偏角；

所述第一计算单元具体用于：

根据所述路面附着系数和所述前轮侧偏角通过前轮回正力矩模型计算所述实际回正力矩；

根据所述期望前轮转角信息计算期望前轮侧偏角；

根据所述路面附着系数和所述期望前轮侧偏角通过所述前轮回正力矩模型计算所述期望回正力矩；

根据所述实际回正力矩和所述期望回正力矩计算所述前轮回正力矩补偿。

19、一种驱动控制器，其特征在于，包括：处理器和存储器，所述处理器连接到存储器，所述处理器用于调用所述存储器存储的程序代码执行如权利要求1-9中任一权利要求

所述的车辆转向控制方法。

20、一种车辆转向系统，其特征在于，所述车辆转向系统包括：两个前轮、至少一个后轮、与所述两个前轮分别对应设置的第一前轮驱动机和第二前轮驱动机以及驱动控制器；

所述第一前轮驱动机用于驱动所述车辆的第一前轮，所述第二前轮驱动机用于驱动所述车辆的第二前轮；

所述驱动控制器用于：

获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息；所述状态参数包括实际前轮转角信息；

根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，所述前轮回正力矩补偿为在所述车辆的前轮转角信息为所述实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的实际回正力矩与在所述车辆的前轮转角信息为所述期望前轮转角信息时所述前轮轮胎产生的期望回正力矩之差；

基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差；

控制所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，所述第一期望驱动力矩与所述第二期望驱动力矩的差为所述期望前轮两电机驱动力矩差。

21、一种计算机存储介质，其特征在于，所述计算机存储介质用于计算机软件指令，所述计算机软件指令当被计算机执行时使所述计算机执行如权利要求 1-9 中任一权利要求所述的车辆转向控制方法。

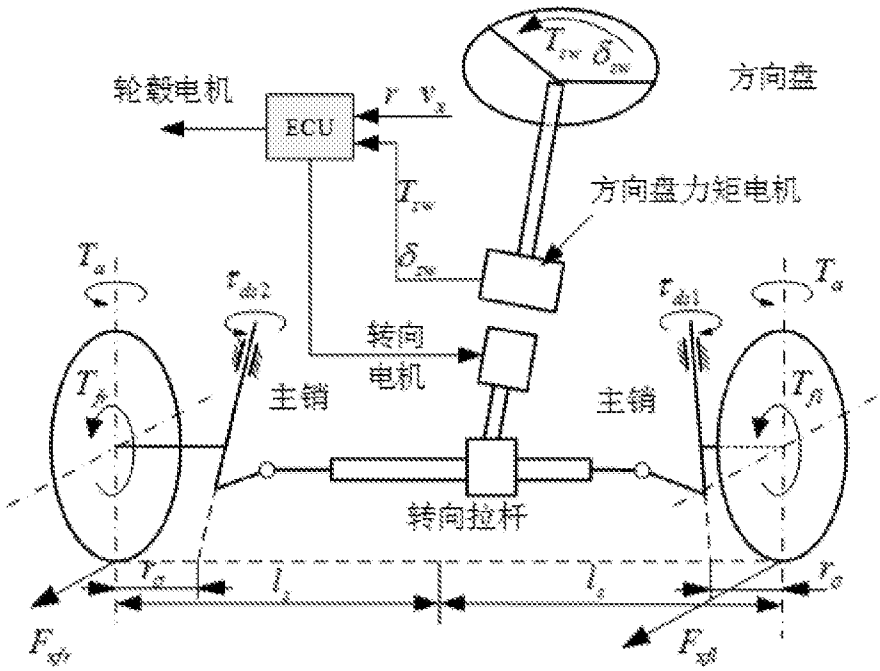

轮毂电机
ECU
方向盘
方向盘力矩电机
转向电机
主销
主销
转向拉杆

图 1

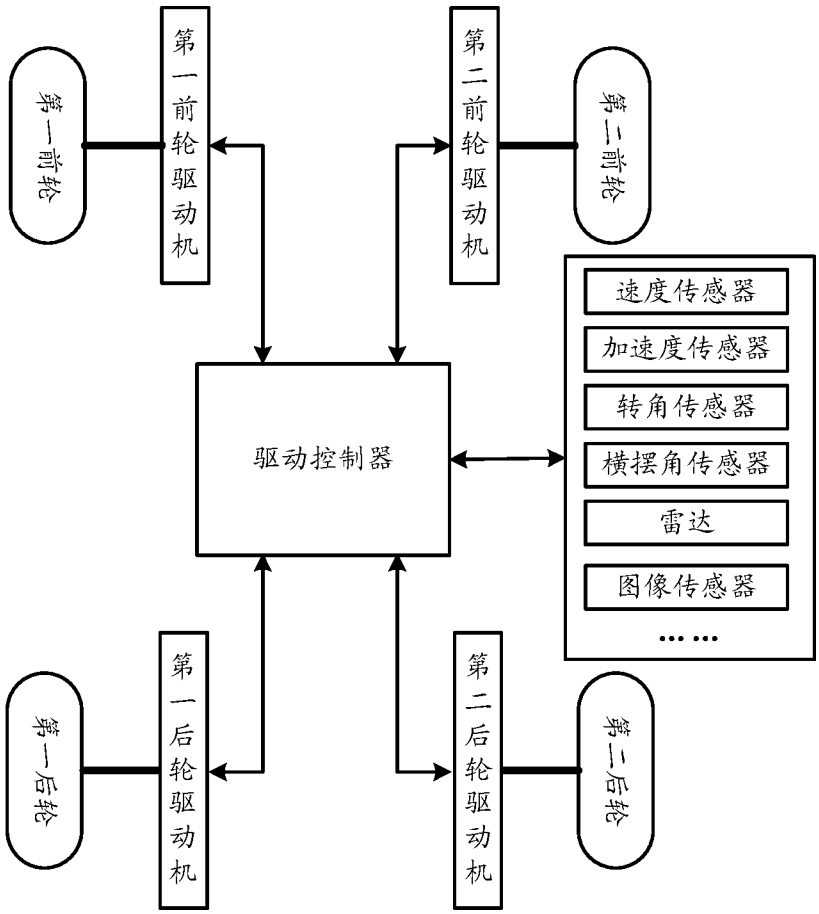

第一前轮
第一前轮驱动机
第二前轮驱动机
第二前轮
速度传感器
加速度传感器
转角传感器
横摆角传感器
雷达
图像传感器
……
驱动控制器
第一后轮
第一后轮驱动机
第二后轮驱动机
第二后轮

图 2

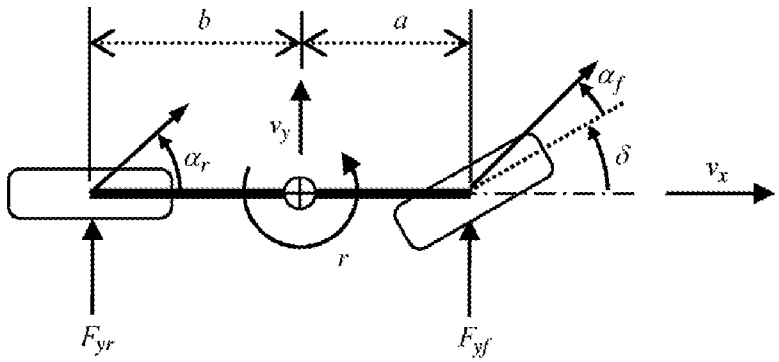


图 3

步骤S1：获取车辆的状态参数以及获取期望前轮转角信息；所述状态参数包括实际前轮转角信息

步骤S2：根据所述状态参数以及所述期望前轮转角信息计算前轮回正力矩补偿，所述前轮回正力矩补偿为在所述车辆的前轮转角信息为所述实际前轮转角信息时前轮轮胎产生的第一回正力矩与在所述车辆的前轮转角信息为所述期望前轮转角信息时所述前轮轮胎产生的第二回正力矩之差

步骤S3：基于所述前轮回正力矩补偿计算期望前轮两电机驱动力矩差

步骤S4：控制所述车辆的第一前轮驱动机输出第一期望驱动力矩以及控制所述车辆的第二前轮驱动机输出第二期望驱动力矩，所述第一期望驱动力矩与所述第二期望驱动力矩的差为所述两电机驱动力矩差

图 4

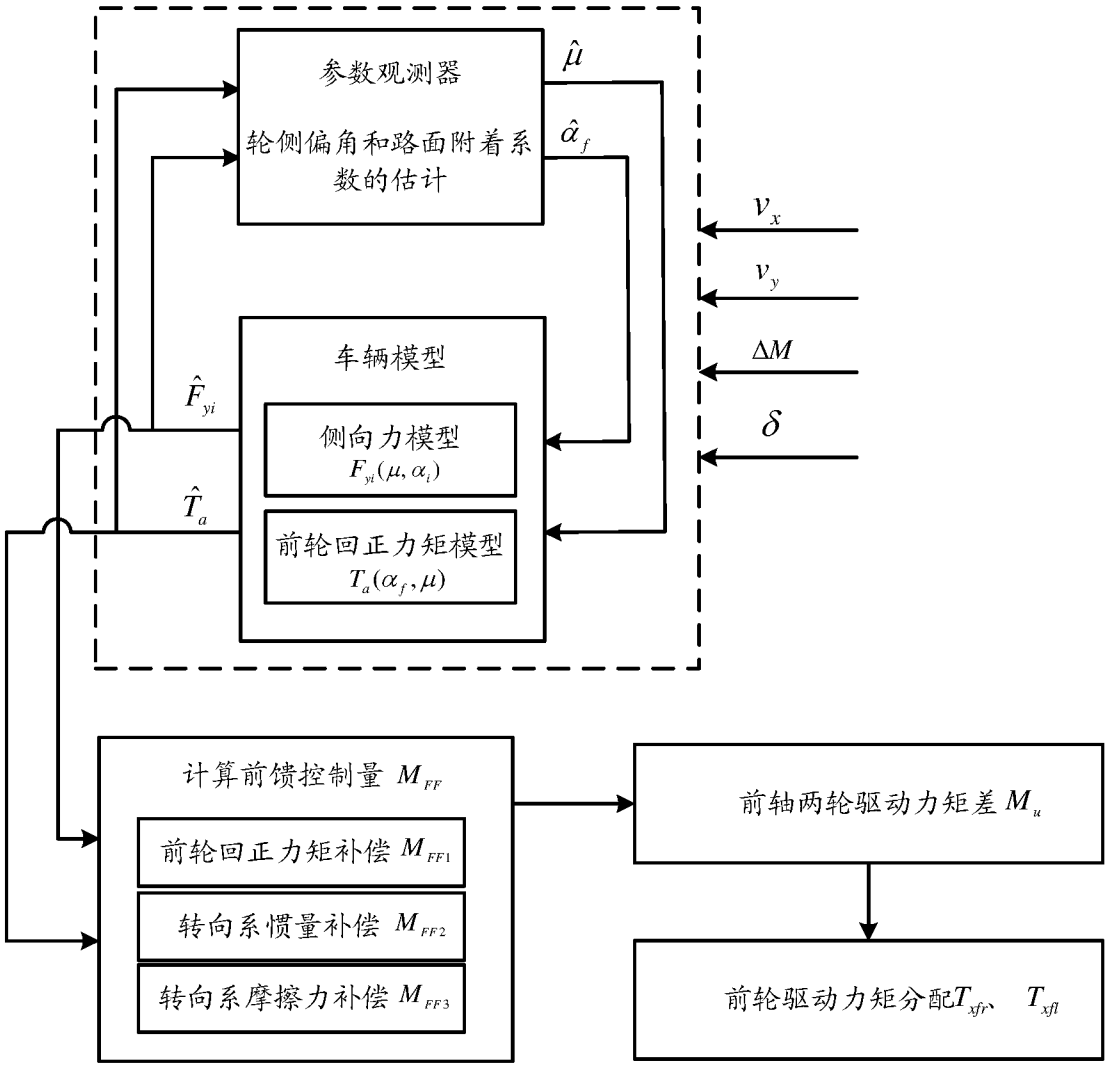

参数观测器
轮侧偏角和路面附着系数的估计
$\hat{\mu}$
$\hat{\alpha}_f$
v_x
v_y
ΔM
δ
车辆模型
侧向力模型
$F_{yi}(\mu,\alpha_i)$
前轮回正力矩模型
$T_a(\alpha_f,\mu)$
$\hat{F}_{yi}$
$\hat{T}_a$
计算前馈控制量 M_{FF}
前轮回正力矩补偿 M_{FF1}
转向系惯量补偿 M_{FF2}
转向系摩擦力补偿 M_{FF3}
前轴两轮驱动力矩差 M_u
前轮驱动力矩分配T_{xfr}、 T_{xfl}

图 5

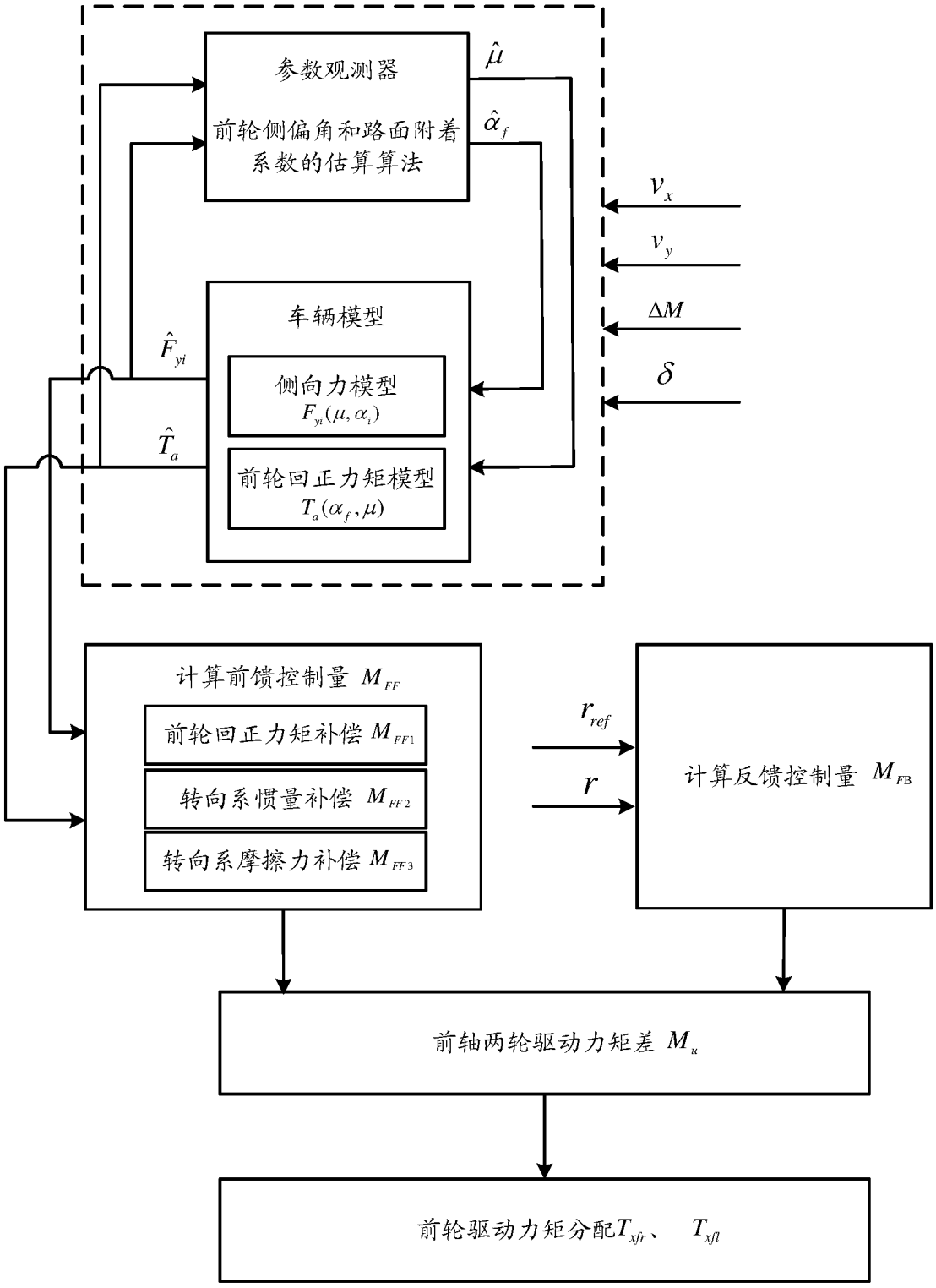

参数观测器
前轮侧偏角和路面附着系数的估算算法
$\hat{\mu}$
$\hat{\alpha}_f$
v_x
v_y
ΔM
δ
车辆模型
侧向力模型 $F_{yi}(\mu,\alpha_i)$
前轮回正力矩模型 $T_a(\alpha_f,\mu)$
$\hat{F}_{yi}$
$\hat{T}_a$
计算前馈控制量 M_{FF}
前轮回正力矩补偿 M_{FF1}
转向系惯量补偿 M_{FF2}
转向系摩擦力补偿 M_{FF3}
r_{ref}
r
计算反馈控制量 M_{FB}
前轴两轮驱动力矩差 M_u
前轮驱动力矩分配T_{xfr}、 T_{xfl}

图 6

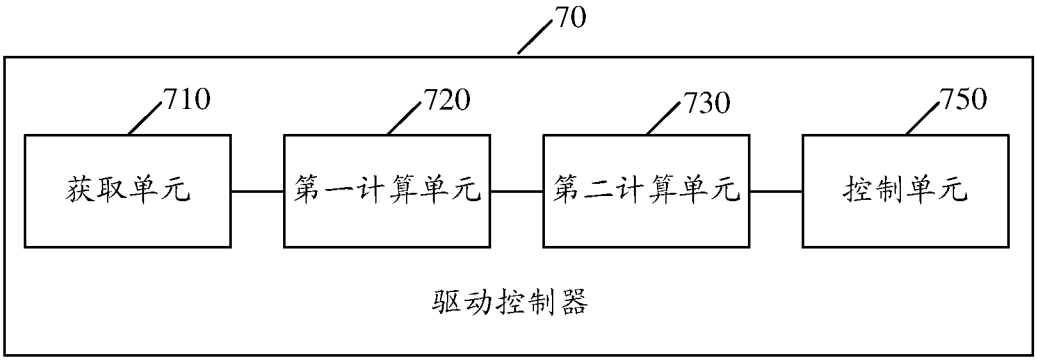

70
710
720
730
750
获取单元
第一计算单元
第二计算单元
控制单元
驱动控制器

图 7

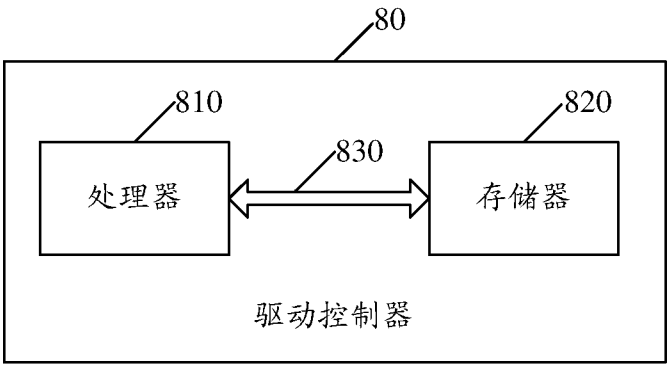

80
810
820
830
处理器
存储器
驱动控制器

图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2019/075890

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B62D 5/04(2006.01)i; B60W 30/045(2012.01)i; B62D 6/00(2006.01)i; B62D 117/00(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B62D 5/-; B60W 30/-; B62D 6/-; B62D 117/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CPRSABS; SIPOABS; DWPI; VEN; CNTXT; CNKI: 转向+转弯, 转角+转向角, 实际+实时, 期望+目标+预设, 回正, 力矩+转矩+扭矩, 补偿, 电机+电动机+马达, 反馈+前馈; (steer+ or turn+), (turn w angle) or (steering w angle), actual or (real w time), (expect+ or target or requir+ or preestablish+), align+, (moment or torque), (compensat+ or offset+), motor?, (feedback or feedforward)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 102167082 A (WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 31 August 2011 (2011-08-31) description, paragraphs [0028]-[0046], and figure 1	1, 2, 10, 11, 19-21
A	CN 101289095 A (JILIN UNIVERSITY) 22 October 2008 (2008-10-22) entire document	1-21
A	CN 106915385 A (TONGJI UNIVERSITY) 04 July 2017 (2017-07-04) entire document	1-21
A	CN 101331031 A (TOYOTA MOTOR CORPORATION ET AL.) 24 December 2008 (2008-12-24) entire document	1-21
A	CN 202320495 U (PAN, ZHANGHUI) 11 July 2012 (2012-07-11) entire document	1-21
A	CN 202358160 U (CHANG"AN UNIVERSITY) 01 August 2012 (2012-08-01) entire document	1-21

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
11 May 2019	**28 May 2019**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
National Intellectual Property Administration, PRC (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6523637 B1 (KOYO SEIKO CO., LTD. ET AL.) 25 February 2003 (2003-02-25) entire document	1-21
A	JP 09117016 A (MEIDENSHA ELECTRIC MFG. CO., LTD.) 02 May 1997 (1997-05-02) entire document	1-21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2019/075890

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	102167082	A	31 August 2011	None			
CN	101289095	A	22 October 2008	None			
CN	106915385	A	04 July 2017	None			
CN	101331031	A	24 December 2008	US	2009093931	A1	09 April 2009
				WO	2007069763	A1	21 June 2007
				JP	2007161191	A	28 June 2007
CN	202320495	U	11 July 2012	None			
CN	202358160	U	01 August 2012	None			
US	6523637	B1	25 February 2003	JP	H10218000	A	18 August 1998
				DE	19804675	A1	13 August 1998
				EP	0857638	A2	12 August 1998
JP	09117016	A	02 May 1997	None			

国际检索报告

国际申请号 PCT/CN2019/075890

A. 主题的分类

B62D 5/04(2006.01)i; B60W 30/045(2012.01)i; B62D 6/00(2006.01)i; B62D 117/00(2006.01)n

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

B62D 5/-; B60W 30/-; B62D 6/-; B62D 117/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNABS; CPRSABS; SIPOABS; DWPI; VEN; CNTXT; CNKI: 转向+转弯，转角+转向角，实际+实时，期望+目标+预设，回正，力矩+转矩+扭矩，补偿，电机+电动机+马达，反馈+前馈; (steer+ or turn+), (turn w angle) or (steering w angle), actual or (real w time), (expect+ or target or requir+ or preestablish+), align+, (moment or torque), (compensat+ or offset+), motor?, (feedback or feedforward)

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 102167082 A (武汉理工大学) 2011年 8月 31日 (2011-08-31) 说明书第[0028]段至第[0046]段、附图1	1-2, 10-11, 19-21
A	CN 101289095 A (吉林大学) 2008年 10月 22日 (2008-10-22) 全文	1-21
A	CN 106915385 A (同济大学) 2017年 7月 4日 (2017-07-04) 全文	1-21
A	CN 101331031 A (丰田自动车株式会社 等) 2008年 12月 24日 (2008-12-24) 全文	1-21
A	CN 202320495 U (潘章慧) 2012年 7月 11日 (2012-07-11) 全文	1-21
A	CN 202358160 U (长安大学) 2012年 8月 1日 (2012-08-01) 全文	1-21
A	US 6523637 B1 (KOYO SEIKO CO., LTD 等) 2003年 2月 25日 (2003-02-25) 全文	1-21

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2019年 5月 11日	2019年 5月 28日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	陈飚
传真号 (86-10)62019451	电话号码 86-(010)-62085430

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2019/075890

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	JP 09117016 A (MEIDENSHA ELECTRIC MFG CO., LTD) 1997年 5月 2日 (1997-05-02) 全文	1-21

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2019/075890

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	102167082	A	2011年 8月 31日	无			
CN	101289095	A	2008年 10月 22日	无			
CN	106915385	A	2017年 7月 4日	无			
CN	101331031	A	2008年 12月 24日	US	2009093931	A1	2009年 4月 9日
				WO	2007069763	A1	2007年 6月 21日
				JP	2007161191	A	2007年 6月 28日
CN	202320495	U	2012年 7月 11日	无			
CN	202358160	U	2012年 8月 1日	无			
US	6523637	B1	2003年 2月 25日	JP	H10218000	A	1998年 8月 18日
				DE	19804675	A1	1998年 8月 13日
				EP	0857638	A2	1998年 8月 12日
JP	09117016	A	1997年 5月 2日	无			