



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107618614 A

(43)申请公布日 2018.01.23

(21)申请号 201710810933.0

(22)申请日 2017.09.11

(71)申请人 广东工业大学

地址 510062 广东省广州市越秀区东风东
路729号大院

(72)发明人 王峰 王裕 翁一航 梁鸿泽
方忠桂 曾昭恒 梁均林 刘立程

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限
公司 11227

代理人 王宝筠

(51)Int.Cl.

B62M 6/45(2010.01)

B62M 6/50(2010.01)

B60L 15/20(2006.01)

B62K 11/00(2013.01)

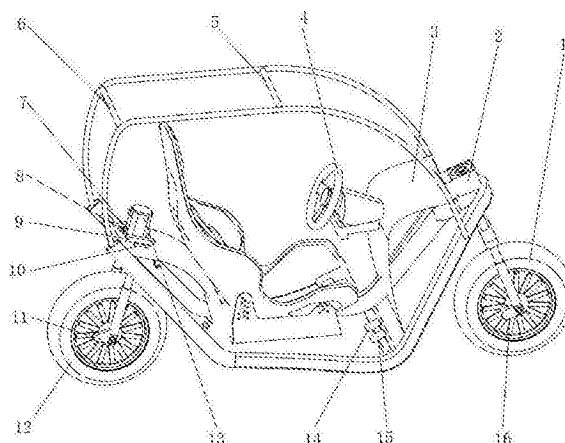
权利要求书3页 说明书15页 附图2页

(54)发明名称

一种二轮单轨车辆及其平衡的控制方法

(57)摘要

本发明提供了一种二轮单轨车辆及其平衡的控制方法,车的前轮和后轮上均安装转向和驱动电机。车辆中嵌入式电脑根据车辆行驶状态和用户输入的行驶目标数据,计算并输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统,电机驱动子系统驱动安装在车上的前后轮转向电机,前后轮驱动电机和前后轮刹车,使得二轮转向单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。



1. 一种二轮单轨车辆,其特征在于,包括车身、安装在车身前部的可转向的前轮、安装在车后部的可转向后轮、传感器子系统、嵌入式电脑和电机驱动子系统;其中,所述电机驱动子系统包括前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器构成;

所述传感器子系统,用于采集二轮单轨车辆的车辆行驶状态和行驶目标数据;

所述嵌入式电脑,用于根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统;

所述电机驱动子系统,用于根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,使得二轮单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。

2. 根据权利要求1所述的双轮单轨车辆,其特征在于,所述嵌入式电脑用于根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号时,具体用于:

根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,基于非线性变系统动力学模型和非线性控制模型,计算得到协同的电机驱动信号。

3. 根据权利要求1所述的双轮单轨车辆,其特征在于,所述嵌入式电脑用于根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号时,具体用于:

根据所述行驶目标数据,计算得到驾驶人的意愿路径;其中,所述行驶目标数据包括驾驶人输入的方向盘信息、刹车踏板信息和油门踏板信息;

根据所述传感器子系统采集的车辆行驶状态以及所述意愿路径,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

4. 根据权利要求1所述的双轮单轨车辆,其特征在于,所述嵌入式电脑用于根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号时,具体用于:

根据所述行驶目标数据以及所述传感器子系统采集的车辆行驶状态,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

5. 根据权利要求3所述的双轮单轨车辆,其特征在于,所述嵌入式电脑用于对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号时,具体用于:

通过所述传感器子系统实时采集的双轮单轨车辆的车辆行驶状态和所述行驶目标数据的比对结果,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号。

6. 根据权利要求1所述的双轮单轨车辆,其特征在于,所述电机驱动子系统用于根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出时,具体用于:

所述前轮转向电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮转向驱动信号,控制前轮转向电机的力矩输出;

所述前轮驱动电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮驱动信号,控制前轮驱动电机的力矩输出;

所述前轮刹车驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮刹车驱动信号,控制前轮刹车电机的力矩输出;

所述后轮转向电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮转向驱动信号,控

制后轮转向电机的力矩输出；

所述后轮驱动电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮驱动信号，控制后轮驱动电机的力矩输出；

所述后轮刹车驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮刹车驱动信号，控制后轮刹车电机的力矩输出。

7. 一种二轮单轨车辆平衡的控制方法，其特征在于，应用于二轮单轨车辆，包括：

传感器子系统采集二轮单轨车辆的车辆行驶状态和行驶目标数据；

嵌入式电脑根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据，计算得到协同的电机驱动信号，对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正，得到修正后的电机驱动信号，输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统；

电机驱动子系统根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出，使得二轮单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。

8. 根据权利要求7所述的控制方法，其特征在于，所述嵌入式电脑根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据，计算得到协同的电机驱动信号，包括：

根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据，基于非线性变系统动力学模型和非线性控制模型，计算得到协同的电机驱动信号。

9. 根据权利要求7所述的控制方法，其特征在于，所述嵌入式电脑根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据，计算得到协同的电机驱动信号，包括：

根据所述行驶目标数据，计算得到驾驶人的意愿路径；其中，所述行驶目标数据包括驾驶人输入的方向盘信息、刹车踏板信息和油门踏板信息；

根据所述传感器子系统采集的车辆行驶状态以及所述意愿路径，计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

10. 根据权利要求7所述的控制方法，其特征在于，所述嵌入式电脑根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据，计算得到协同的电机驱动信号，包括：

根据所述行驶目标数据以及所述传感器子系统采集的车辆行驶状态，计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

11. 根据权利要求9所述的控制方法，其特征在于，所述嵌入式电脑对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正，得到修正后的电机驱动信号，包括：

通过所述传感器子系统实时采集的二轮单轨车辆的车辆行驶状态和所述行驶目标数据的比对结果，对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正，得到修正后的电机驱动信号。

12. 根据权利要求7所述的控制方法，其特征在于，所述电机驱动子系统根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出，包括：

所述前轮转向电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮转向驱动信号，控制前轮转向电机的力矩输出；

所述前轮驱动电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮驱动信号，控制前轮驱动电机的力矩输出；

所述前轮刹车驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮刹车驱动信号，控制前

轮刹车电机的力矩输出；

所述后轮转向电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮转向驱动信号，控制后轮转向电机的力矩输出；

所述后轮驱动电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮驱动信号，控制后轮驱动电机的力矩输出；

所述后轮刹车驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮刹车驱动信号，控制后轮刹车电机的力矩输出。

一种二轮单轨车辆及其平衡的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及二轮单轨车辆控制领域,更具体的说,涉及一种二轮单轨车辆及其平衡的控制方法。

背景技术

[0002] 二轮单轨车辆,例如:电动自行车和摩托车,以高节能、低排放和低空间占用率,越来越受到用户的喜爱,进而二轮单轨车辆的使用率逐年上升。

[0003] 驾驶人使用二轮单轨车辆时,为了保证二轮单轨车辆的动态平衡,提出了自动控制平衡的二轮单轨车辆,自动控制平衡的二轮单轨车辆上的控制器根据车辆上安装的传感器测量得到的车辆行驶状态和行驶目标数据,采用多体动力学模型和欠驱动系统控制方法,控制二轮单轨车辆的转向电机和刹车驱动器,以达到二轮单轨车辆的动态平衡。

[0004] 自动控制平衡的二轮单轨车辆中的转向电机只有在非零速度的情况下才能够调节车身重心和车轮支撑点的相对位置,所以现有的自动控制平衡的二轮单轨车辆,在车辆从停车状态到行驶状态或者是从行驶状态到停车状态时,不能自动保持动态平衡。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明提供一种二轮单轨车辆及其平衡的控制方法,以解决现有的自动控制平衡的二轮单轨车辆,在车辆从停车状态到行驶状态或者是从行驶状态到停车状态时,不能自动保持动态平衡的问题。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明采用了如下技术方案:

[0007] 一种二轮单轨车辆,包括车身、安装在车身前部的可转向的前轮、安装在车后部的可转向后轮、传感器子系统、嵌入式电脑和电机驱动子系统;其中,所述电机驱动子系统包括前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器构成;

[0008] 所述传感器子系统,用于采集二轮单轨车辆的车辆行驶状态和行驶目标数据;

[0009] 所述嵌入式电脑,用于根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统;

[0010] 所述电机驱动子系统,用于根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,使得二轮单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。

[0011] 优选地,所述嵌入式电脑用于根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号时,具体用于:

[0012] 根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,基于非线性变系统动力学模型和非线性控制模型,计算得到协同的电机驱动信号。

[0013] 优选地,所述嵌入式电脑用于根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号时,具体用于:

[0014] 根据所述行驶目标数据,计算得到驾驶人的意愿路径;其中,所述行驶目标数据包括驾驶人输入的方向盘信息、刹车踏板信息和油门踏板信息;

[0015] 根据所述传感器子系统采集的车辆行驶状态以及所述意愿路径,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

[0016] 优选地,所述嵌入式电脑用于根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号时,具体用于:

[0017] 根据所述行驶目标数据以及所述传感器子系统采集的车辆行驶状态,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

[0018] 优选地,所述嵌入式电脑用于对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号时,具体用于:

[0019] 通过所述传感器子系统实时采集的二轮单轨车辆的车辆行驶状态和所述行驶目标数据的比对结果,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号。

[0020] 优选地,所述电机驱动子系统用于根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出时,具体用于:

[0021] 所述前轮转向电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮转向驱动信号,控制前轮转向电机的力矩输出;

[0022] 所述前轮驱动电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮驱动信号,控制前轮驱动电机的力矩输出;

[0023] 所述前轮刹车驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮刹车驱动信号,控制前轮刹车电机的力矩输出;

[0024] 所述后轮转向电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮转向驱动信号,控制后轮转向电机的力矩输出;

[0025] 所述后轮驱动电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮驱动信号,控制后轮驱动电机的力矩输出;

[0026] 所述后轮刹车驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮刹车驱动信号,控制后轮刹车电机的力矩输出。

[0027] 一种二轮单轨车辆平衡的控制方法,应用于二轮单轨车辆,包括:

[0028] 传感器子系统采集二轮单轨车辆的车辆行驶状态和行驶目标数据;

[0029] 嵌入式电脑根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统;

[0030] 电机驱动子系统根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,使得二轮单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。

[0031] 优选地,所述嵌入式电脑根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,包括:

[0032] 根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,基于非线性变系统动力学模型和非

线性控制模型,计算得到协同的电机驱动信号。

[0033] 优选地,所述嵌入式电脑根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,包括:

[0034] 根据所述行驶目标数据,计算得到驾驶人的意愿路径;其中,所述行驶目标数据包括驾驶人输入的方向盘信息、刹车踏板信息和油门踏板信息;

[0035] 根据所述传感器子系统采集的车辆行驶状态以及所述意愿路径,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

[0036] 优选地,所述嵌入式电脑根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,包括:

[0037] 根据所述行驶目标数据以及所述传感器子系统采集的车辆行驶状态,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

[0038] 优选地,所述嵌入式电脑对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,包括:

[0039] 通过所述传感器子系统实时采集的二轮单轨车辆的车辆行驶状态和所述行驶目标数据的比对结果,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号。

[0040] 优选地,所述电机驱动子系统根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,包括:

[0041] 所述前轮转向电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮转向驱动信号,控制前轮转向电机的力矩输出;

[0042] 所述前轮驱动电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮驱动信号,控制前轮驱动电机的力矩输出;

[0043] 所述前轮刹车驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的前轮刹车驱动信号,控制前轮刹车电机的力矩输出;

[0044] 所述后轮转向电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮转向驱动信号,控制后轮转向电机的力矩输出;

[0045] 所述后轮驱动电机驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮驱动信号,控制后轮驱动电机的力矩输出;

[0046] 所述后轮刹车驱动器根据所述修正后的电机驱动信号中的后轮刹车驱动信号,控制后轮刹车电机的力矩输出。

[0047] 相较于现有技术,本发明具有以下有益效果:

[0048] 本发明提供了一种二轮单轨车辆及其平衡的控制方法,本发明中嵌入式电脑根据所述车辆行驶状态和所述行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统后,所述电机驱动子系统,用于根据协同的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,使得二轮单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。这种方法不对车辆的状态进行限定,即车辆无论是处于停止状态,行驶状态,或者是停

车状态和行驶状态之间的相互切换状态时,均能够保证车辆动态平衡行驶,解决了现有的自动控制平衡的二轮单轨车辆,在车辆从停车状态到行驶状态或者是从行驶状态到停车状态时,不能自动保持动态平衡的问题。

附图说明

[0049] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术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发明的实施例,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,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0050] 图1为本发明提供的一种二轮单轨车辆的结构示意图;

[0051] 图2为本发明提供的一种二轮单轨车辆的部分结构示意图;

[0052] 图3为本发明提供的一种嵌入式电脑执行的方法的方法流程图;

[0053] 图4为本发明提供的一种二轮单轨车辆平衡的控制方法的方法流程图。

具体实施方式

[0054] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0055] 本发明实施例提供了一种二轮单轨车辆,其中,二轮单轨车辆包括但不限于自行车、摩托车等两个车轮的车辆。本发明中的二轮单轨车辆特指二轮转向、二轮驱动单轨车辆。

[0056] 为了本领域的技术人员能够更加清楚的了解二轮转向、二轮驱动单轨车辆的结构,现结合图1对一种二轮单轨车辆的结构进行介绍。

[0057] 图1中,二轮单轨车辆包括:

[0058] 带前轮驱动电机和刹车驱动器的前轮1、前轮转向电机2、电子显示单元3、电子方向盘4、单轨车辆车身5、无线通信天线6、嵌入式电脑7、惯性传感器8、导航模块9、通信模块10、后轮编码器11、带后轮驱动电机和刹车驱动器的后轮12、后轮转向电机13、电子加速踏板14、电子刹车踏板15和前轮编码器16。

[0059] 其中,前轮1、电子方向盘4、单轨车辆车身5和后轮12组成了车身的整体架构。电子方向盘4用于人工控制车辆行驶方向,前轮驱动电机和后轮驱动电机用于驱动车辆行驶,前轮刹车驱动器和后轮刹车驱动器用于在刹车时,使车辆尽快停止,前轮转向电机2和后轮转向电机13用于在车辆转向时,驱动车辆转向。

[0060] 电子显示单元3包括LCD显示屏、LED图像和LED点阵显示,主要用于显示车身滚动角、转向角等状态和行驶目标数据。无线通信天线6用于发射或接收电磁波。

[0061] 惯性传感器8用于测量车身角速度向量和车身加速度向量,前轮编码器13用于测量前轮转向角、前轮转动角、前轮转向角速度和前轮转动角速度。后轮编码器11用于测量后轮转向角、后轮转动角、后轮转向角速度和后轮转动角速度。

[0062] 导航模块9用于实现车辆路径的导航,其中,导航模块9可以是GPS模块。通信模块

10是用来与外接设备进行通信的模块,外接设备可以是服务器等设备。

[0063] 嵌入式电脑7是实现车辆平衡的关键部件,嵌入式电脑7输出控制信号给转向电机和驱动电机,在行驶过程中,嵌入式电脑7连续调节转向电机的转动方向和速度以达到车辆的动态平衡;在停止状态下,嵌入式电脑7指令前轮转向电机和后轮转向电机使得车辆固定于大转向角,然后持续控制前轮驱动电机和后轮驱动电机的力矩的方向和大小,达到准静态平衡。

[0064] 本实施例中前轮转向电机2安装在了前叉上,后轮转向电机13安装在后轮上。二轮转向、二轮驱动单轨车辆包括电动自行车和电动摩托车等。电动自行车和电动摩托车通常是由车身,可以转向的前叉,前轮和可以转向的后轮组成。车辆是由安装在前轮和后轮上的无刷电机驱动。通常的单轨车辆转向是由驾驶人转动车把,带动前叉和前轮,改变前轮的前进方向。本发明的电脑控制的自动平衡二轮转向、二轮驱动单轨车辆利用传感器,包括惯性传感器和光编码器等,测量二轮转向、二轮驱动单轨车辆的状态,结合驾驶人或者事先确定的道路轨迹,再利用非线性变系统动力学模型和非线性控制模型,控制前轮转向电机和前轮驱动电机,带动前叉和前轮,控制后轮转向电机和驱动电机,以及前轮和后轮的刹车驱动器达到车辆的动态平衡,并按照行驶目标数据规划行驶。

[0065] 本发明实施例提供了一种二轮单轨车辆,二轮单轨车辆除包括车身、安装在车身前部的可转向的前轮、安装在车后部的可转向后轮之外,参照图2,还包括传感器子系统11、嵌入式电脑12和电机驱动子系统13;其中,电机驱动子系统13包括前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器构成。传感器子系统11、嵌入式电脑12和电机驱动子系统13组成二轮单轨车辆平衡的控制系統。

[0066] 传感器子系统11包括导航模块、前轮转动编码器、前轮转向编码器、后轮转动编码器、后轮转向编码器、惯性传感器和通信模块。

[0067] 嵌入式电脑12为安装有控制软件的电脑,控制软件是基于非线性变系统动力学和非线性控制方法的软件。

[0068] 具体的,传感器子系统11,用于采集二轮单轨车辆的车辆行驶状态和行驶目标数据;

[0069] 嵌入式电脑,用于根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统;

[0070] 电机驱动子系统,用于根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,使得二轮单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。

[0071] 具体的,车辆行驶状态包括:

[0072] 车辆位置信息、车辆速度、前轮转向角、前轮转动角、前轮转向角速度、前轮转动角速度、后轮转向角、后轮转动角、后轮转向角速度、后轮转动角速度和车身姿态角信息。

[0073] 其中,车辆速度是由车辆上安装的导航模块测量得到。导航模块可以是GPS模块,也可以是其他的模块。

[0074] 前轮转向角、前轮转动角、前轮转向角速度和前轮转动角速度是由前轮转向编码器和前轮转动编码器测量得到,前轮转向编码器和前轮转动编码器可以是前轮光编码器。

需要说明的是,后轮也安装有后轮转向编码器和后轮转动编码器,设置后轮转向编码器和后轮转动编码器的作用是测量得到后轮转向角、后轮转动角、后轮转向角速度和后轮转动角速度,后轮转向编码器和后轮转动编码器测量的数据是为了验证前轮转向编码器和前轮转动编码器测量得到的数据是否正确,以免前轮转向编码器和前轮转动编码器出现故障时,测量数据出错。

[0075] 前轮转向角是由前轮转向光编码器测量得到,前轮转向光编码器还能够测量得到车轮转向角速度。

[0076] 后轮车轮转向角是由后轮转向光编码器测量得到,后轮转向光编码器还能够测量得到后车轮转向角速度。

[0077] 姿态角信息是指车辆的偏航角、车身滚动角和俯仰角。具体的,惯性传感器测量车身角速度向量和车身加速度向量,车身角速度向量包括偏航角速度分量、滚动角速度分量和俯仰角速度分量,车身加速度分量包括偏航角加速度分量、滚动角加速度分量和俯仰角加速度分量,然后根据车身角速度向量和车身加速度向量计算得到车辆的偏航角、滚动角和俯仰角。

[0078] 车辆位置信息是由导航模块测量得到的位置信息以及根据车身角速度向量和车身加速度向量计算得到的位置信息,进行综合得到的信息。

[0079] 可选的,在本实施例的基础上,嵌入式电脑用于根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号时,具体用于:

[0080] 根据车辆行驶状态和行驶目标数据,基于非线性变系统动力学模型和非线性控制模型,计算得到协同的电机驱动信号。

[0081] 其中,协同的电机驱动信号中包括前轮驱动信号、前轮刹车驱动信号、前轮转向驱动信号、后轮驱动信号、后轮刹车驱动信号和后轮转向驱动信号。

[0082] 可选的,在本实施例的基础上,电机驱动子系统用于根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出时,具体用于:

[0083] 前轮转向电机驱动器根据修正后的电机驱动信号中的前轮转向驱动信号,控制前轮转向电机的力矩输出;

[0084] 前轮驱动电机驱动器根据修正后的电机驱动信号中的前轮驱动信号,控制前轮驱动电机的力矩输出;

[0085] 前轮刹车驱动器根据修正后的电机驱动信号中的前轮刹车驱动信号,控制前轮刹车电机的力矩输出。

[0086] 后轮转向电机驱动器根据修正后的电机驱动信号中的后轮转向驱动信号,控制后轮转向电机的力矩输出;

[0087] 后轮驱动电机驱动器根据修正后的电机驱动信号中的后轮驱动信号,控制后轮驱动电机的力矩输出;

[0088] 后轮刹车驱动器,用于根据修正后的电机驱动信号中的后轮刹车驱动信号,控制后轮刹车电机的力矩输出。

[0089] 本实施例中,嵌入式电脑根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统后,电机驱动子系统,用于根据协同的电机驱

动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,使得二轮单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。这种方法不对车辆的状态进行限定,即车辆无论是处于停止状态,行驶状态,或者是停车状态和行驶状态之间的相互切换状态时,均能够保证车辆动态平衡行驶,解决了现有的自动控制平衡的二轮单轨车辆,在车辆从停车状态到行驶状态或者是从行驶状态到停车状态时,不能自动保持动态平衡的问题。

[0090] 为了本领域的技术人员能够进一步理解非线性变系统动力学模型和非线性控制模型,现对非线性变系统动力学模型和非线性控制模型进行解释说明。

[0091] 二轮转向、二轮驱动单轨车辆平衡控制系统比通常前轮转向单轨车辆复杂很多。首先车辆从3个自由度变成了4个自由度,动力学方程增加了一维。更复杂的是系统的自由度和车辆状态有关。当前后轮转弯角处于某个角度下,前后轮的转动角不再受到约束,系统从4个自由度变成5个自由度。动态的系统自由度让原来的控制方法不再实用。

[0092] 具体的,二轮转向、二轮驱动单轨车辆和忽略了前叉弹簧,后轮减震的情况下满足四个自由度的非线性欠驱动机械手方程:

$$[0093] \quad \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}) = \mathbf{K}(\mathbf{q})\boldsymbol{\tau} \quad (1)$$

[0094] 其中, $\mathbf{q}$ 为车辆状态矢量, $\mathbf{M}$ 是4x4质量矩阵, $\mathbf{C}$ 是4x4科里奥利/离心力项, $\mathbf{G}$ 是重力项, $\mathbf{K}$ 是力矩耦合矩阵, $\boldsymbol{\tau}$ 是前轮驱动和刹车力矩、前轮转向电机力矩、后轮转向电机力矩、后轮驱动和刹车力矩。。它们的表达式为:

$$[0095] \quad \mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix}, \mathbf{M} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{bmatrix}, \mathbf{G} = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{K} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & K_{23} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & K_{43} \end{bmatrix}, \boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \\ \tau_4 \end{bmatrix}$$

$$[0096] \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_{111}\dot{q}_1 + C_{112}\dot{q}_2 + C_{113}\dot{q}_3 & C_{122}\dot{q}_2 + C_{123}\dot{q}_3 & C_{133}\dot{q}_3 + C_{134}\dot{q}_4 & C_{144}\dot{q}_4 + C_{114}\dot{q}_1 + C_{124}\dot{q}_2 \\ C_{211}\dot{q}_1 + C_{212}\dot{q}_2 + C_{213}\dot{q}_3 & C_{222}\dot{q}_2 + C_{223}\dot{q}_3 & C_{233}\dot{q}_3 + C_{234}\dot{q}_4 & C_{244}\dot{q}_4 + C_{214}\dot{q}_1 + C_{224}\dot{q}_2 \\ C_{311}\dot{q}_1 + C_{312}\dot{q}_2 + C_{313}\dot{q}_3 & C_{322}\dot{q}_2 + C_{323}\dot{q}_3 & C_{333}\dot{q}_3 + C_{334}\dot{q}_4 & C_{344}\dot{q}_4 + C_{314}\dot{q}_1 + C_{324}\dot{q}_2 \\ C_{411}\dot{q}_1 + C_{412}\dot{q}_2 + C_{413}\dot{q}_3 & C_{422}\dot{q}_2 + C_{423}\dot{q}_3 & C_{433}\dot{q}_3 + C_{434}\dot{q}_4 & C_{414}\dot{q}_1 + C_{424}\dot{q}_2 \end{bmatrix}$$

[0097] q_1, q_2, q_3, q_4 代表车身滚动角,前轮转向角、后轮转向角和前轮转动角。矩阵 $\mathbf{M}, \mathbf{C}, \mathbf{G}, \mathbf{K}$ 的矩阵元是车身滚动角、前轮转向角和后轮转向角的已知解析函数。它们还和车辆的几何和动力学参数有关, $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ 分别为前轮驱动和刹车力矩、前轮转向电机力矩、后轮转向电机力矩、后轮驱动和刹车力矩。

[0098] 由于 $\mathbf{K}$ 的矩阵的第一行为0,力矩 $\boldsymbol{\tau}$ 对车身滚动角方程没有任何影响,所以车身滚动角自由度是欠驱动的。非线性动力学方程 (1) 适用于前后轮转向,前后轮驱动的二轮转向、二轮驱动单轨车辆。它同时适用于处于行驶或者处于停车状态的车辆。因为前轮的角速度 $\dot{q}_1$ 可以是正的或者是负的,它也没有限制车辆是在前进或者是后退。

[0099] 二轮转向、二轮驱动单轨车辆是一个欠驱动系统。车辆的四个自由度中,只有前轮转向角、前轮转动角和后轮转向角三个自由度是主动控制的。车身滚动角,也叫车身倾斜角,是没有驱动机制的。

[0100] 二轮转向的单轨车辆的动力学和前轮转向的动力学有一个很大的差别,它不仅多了一个自由度,动力学方程的非线性系数从39个增加到84个,双轮转向的单轨车辆还是一

个变系统：车轮产生的4个非完全约束方程在前轮和后轮转弯角为90度时，系统丢失掉一个约束方程、使得前轮和后轮可以不受约束的转动。这个时候系统的状态不再可以使用车身滚动角、前轮转向角、后轮转向角和前轮转动角来代表。系统必须用车身滚动角、前轮转动角、后轮转动角来代表。这个时候系统不仅少了一个自由度、它的系统描述变量也不一样。它的动力学可以用以下方程代表：

$$[0101] \quad \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}(\mathbf{q}) = \mathbf{K}(\mathbf{q})\boldsymbol{\tau}$$

[0102] 其中

$$[0103] \quad \mathbf{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_4 \\ q_5 \end{bmatrix}, \mathbf{M} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{14} & M_{15} \\ M_{41} & M_{44} & M_{45} \\ M_{51} & M_{54} & M_{55} \end{bmatrix},$$

$$[0104] \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_{111}\dot{q}_1 + C_{114}\dot{q}_4 & C_{144}\dot{q}_4 + C_{145}\dot{q}_5 & C_{155}\dot{q}_5 + C_{113}\dot{q}_1 \\ C_{411}\dot{q}_1 + C_{414}\dot{q}_4 & C_{444}\dot{q}_4 + C_{445}\dot{q}_5 & C_{455}\dot{q}_5 + C_{415}\dot{q}_1 \\ C_{511}\dot{q}_1 + C_{514}\dot{q}_4 & C_{544}\dot{q}_4 + C_{545}\dot{q}_5 & C_{555}\dot{q}_5 + C_{515}\dot{q}_1 \end{bmatrix}$$

$$[0105] \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} G_1 \\ G_4 \\ G_5 \end{bmatrix}, \boldsymbol{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_3 \end{bmatrix}$$

[0106] 变系统的非线性欠驱动系统控制方法有很多，最主要的非线性最优控制 (Nonlinear Optimal Control)、部分反馈线性化 (partial feedback linearization)、神经网络控制 (Neural Network Control)、基于能量的控制 (Energy Based Control) 和滑模控制 (Sliding Mode Control)。它们都需要精确的车辆非线性动力学建模。

[0107] 这里我们使用非线性最优控制来说明本发明的方法。非线性最优控制是上世纪60-70年代发展成熟的控制方法，最早用于火箭飞行控制。给出系统的花费函数 (cost function)，非线性最优控制计算出最优控制量 $u^*(t)$ 和状态 $x^*(t)$ 随时间的推移，在满足非线性动力学方程 (1) 的约束下，使得花费函数最小：

$$[0108] \quad J = \phi[\mathbf{x}(t_f), t_f, \mathbf{x}(t_0), t_0] + \int_{t_0}^{t_f} L[\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t] dt \quad (2)$$

[0109] 其中，J为系统花销。 $\mathbf{x}(t_0)$ 为车辆在起点位置时的状态， $\mathbf{x}(t_f)$ 为车辆在终点位置时的状态， t_0 为起点时间， t_f 为终点时间。其中，状态是指车辆行驶状态。

[0110] 并满足一阶动力学方程约束

$$[0111] \quad \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}[\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t] \quad (3)$$

[0112] 路径约束

$$[0113] \quad p[\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t] \geq 0, \quad (4)$$

[0114] 其中，函数P代表路径约束函数。

[0115] 和边条件约束

$$[0116] \quad b[\mathbf{x}(t_0), t_0, \mathbf{x}(t_f), t_f] = 0. \quad (5)$$

[0117] 其中，函数b代表边条件约束函数。

[0118] 利用数值迭代方法,可以计算出非线性方程的解:最优控制量 $u^*(t)$,就是本系统的前轮驱动和刹车力矩、前轮转向电机力矩、后轮驱动和刹车力矩,以及后轮转向电机力矩。车辆状态 $x^*(t)$,就是车辆位置,车身滚动角、前轮转向角、前轮转动角、后轮转弯角,后轮转动角分别随时间的函数:

$$[0119] \quad u = u^*(t) \quad (6)$$

$$[0120] \quad x = x^*(t) \quad (7)$$

[0121] 目前高效率的数值方法有伪频谱方法(pseudospectrum)求解非线性最优控制。非线性最优控制的解和目前的车辆位置,车身滚动角、前轮转向角、前轮转动角、后轮转向角有关,也和车辆需要达到的位置、车身滚动角、车轮转向角、前轮转动角有关。最优控制方法根据车辆的目前状态和用户的要求,计算出车辆的最优控制量(6)和车辆的最优状态(7)。这个过程叫前馈。它是没有反馈的。

[0122] 实际上车辆的建模误差、外部的扰动以及车辆参数的变化都会使得车辆偏移最优状态。本发明设计了线性反馈系统,消除误差和扰动,增加了系统的稳定性。假设在 t 时刻,车辆实际的状态为 $x(t)$,它与最优控制状态之差为 dx :

$$[0123] \quad dx(t) = x(t) - x^*(t) \quad (8)$$

[0124] 通常车辆状态和最优控制的车辆状态差别很小, dx 为小量、最优控制量修正 du 也是小量。可以证明 dx 和 du 满足线性二次型控制:

$$[0125] \quad J = \frac{1}{2} dx^T(t_f) S_f dx(t_f) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} [dx^T(t) Q dx(t) + du^T(t) R du(t)] dt \quad (9)$$

[0126] 其中, Q 、 R 为权重因子,为定值, S_f 为终点条件,如位置、车身滚动角、前轮转向角、前轮转动角和后轮转向角等。

[0127] 动力学方程约束也是在最优控制解附近的线性移展开:

$$[0128] \quad \dot{dx} = A dx + B du \quad (10)$$

[0129] A 、 B 矩阵为非线性动力学方程在最优解 $x^*(t)$ 附近的泰勒展开。最优反馈控制和车辆状态有关:

$$[0130] \quad du(t) = -K(t) \cdot dx(t)$$

[0131] 其中 K 矩阵为反馈矩阵, $K(t) = R^{-1} B^T S(t)$, $S(t)$ 是微分黎卡提方程(differential Riccati equation)的解:

$$[0132] \quad \dot{S}(t) = -S(t)A - A^T S(t) + S(t)B R^{-1} B^T S(t) - Q \quad (11)$$

[0133] 黎卡提方程是从未来解向当前时间,所以它的初条件是在最终时间确定的:

$$[0134] \quad S(t_f) = S_f \quad (12)$$

[0135] 通过上述计算,就可以计算出最优控制量 $u^*(t)$,就是本系统的前轮驱动和刹车力矩、前轮转向电机力矩、后轮转向电机力矩和后轮驱动和刹车力矩,通过前轮驱动和刹车力矩、前轮转向电机力矩、后轮转向电机力矩和后轮驱动和刹车力矩对车辆进行控制即可。

[0136] 这样,控制系统可以拒绝扰动等偏差,使车辆系统稳定,同时预期达到用户指定的位置。

[0137] 本发明可以用来实现二轮转向、二轮驱动单轨车辆的自动驾驶。也可以实现人工驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆。在自动驾驶模式下,车辆的轨迹是由导航模块,摄像头和通信模块决定的,其中,导航模块,摄像头和通信模块都属于传感器子系统中的一部分。

而在人工驾驶模式下,车辆的轨迹则由驾驶人决定。驾驶人可以使用电子方向盘、电子刹车踏板和电子加速踏板输入期望的车辆行驶方向和速度,嵌入式电脑根据驾驶人的输入和传感器测量值,计算出车辆的轨迹和控制输出,控制前轮驱动电机和前轮转向电机力矩、后轮转向电机和驱动电机力矩、以及前轮刹车和后轮刹车力矩在单轨车辆行驶和停止状态下,达到车辆的平衡。

[0138] 需要说明的是,本发明和目前常用的单轨车辆控制方法有本质的区别:

[0139] 现有技术的控制方法限定一些自由度、计算出一些控制信号。本发明使用动力学和现代控制方法,在不限制车辆的任何自由度情况下,计算出协同控制输出。本系统的控制信号 $u^*(t)$ 和 $du(t)$,同时具有前轮驱动电机和刹车的控制信号、也具有前轮转向电机的控制信号、后轮转向电机控制信号、后轮驱动电机和刹车的控制信号。这些信号同时共同作用的,使得车辆平衡稳定地达到用户需要的状态和目的地。

[0140] 可选的,在上述任一实施例的基础上,嵌入式电脑用于根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号时,具体用于:

[0141] S11、根据行驶目标数据,计算得到驾驶人的意愿路径;

[0142] 具体的,根据行驶目标数据,嵌入式电脑能够推测出车辆的驾驶人的意愿路径,即能够推测出用户的下一行驶位置。其中,意愿路径可以是下一10s所行驶的路径。

[0143] 其中,行驶目标数据包括驾驶人输入的方向盘信息、刹车踏板信息和油门踏板信息;

[0144] 本实施例适用于人工驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆,人工驾驶时,人工会控制电子刹车踏板、电子加速踏板和电子方向盘。嵌入式电脑能够接收到人工输入的电子刹车踏板的深度值、电子加速踏板的深度值和电子方向盘的转动值。

[0145] S12、根据传感器子系统采集的车辆行驶状态以及意愿路径,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

[0146] 具体的,将车辆行驶状态、以及意愿路径代入到非线性变系统动力学模型和非线性控制模型,即可计算出前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器的控制信号、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。此外,还可以计算得到车身滚动角、车身偏航角、前轮转向角、后轮转向角随时间变化的曲线,其中,前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器的控制信号、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号也为随时间变化的曲线。

[0147] 其中,本实施例中,意愿路径只是当前时间的下一个预设时间内的意愿路径,其中,预设时间可以是10s,具体的,假设车辆从起始地A行驶到目的地B,此时,如果计算出整个路程的意愿路径,由于车辆在整个行驶路程中可能会遇到石头等障碍物或者其他路况,进而就导致车辆不能按照意愿路径进行行驶,此时得到的意愿路径就不再有意义,需要重新计算得到新的意愿路径,所以计算出整个路程的意愿路径是不可取的,因此,本实施例采用仅计算10s的意愿路径,当这个10s的意愿路径行走完时,再计算下一个10s的意愿路径。

[0148] 需要说明的是,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号后,由于车辆的实际运行状态与目标行驶状态是有差距的,如行驶目标数据中的转向角为30度,而车

辆的实际运行状态信息中的转向角为28度,由于行驶目标数据中的数值是车辆在保持平衡下的最优的行驶状态,即需要对二轮转向、二轮驱动单轨车辆的状态和目标数据进行线性修正。即,虽然按照意愿路径进行控制,但是由于车辆受到外界环境的影响,如遇到石头等障碍物,或者遇到大风等情况,会使车辆的行驶状态改变,进而需要对车辆的行驶状态进行修正。

[0149] 即嵌入式电脑用于对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号时,具体用于:

[0150] 通过传感器子系统实时采集的二轮单轨车辆的车辆行驶状态和行驶目标数据的比对结果,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号。

[0151] 将传感器子系统实时采集的二轮单轨车辆的车辆行驶状态和行驶目标数据根据公式8-12、非线性变系统动力学模型和非线性控制模型,即得到修正后的电机驱动信号。

[0152] 其中,修正后的电机驱动信号包括:

[0153] 前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号的修正值。

[0154] 进而按照前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号的修正值,调整前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器和前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的输出信号,以使车辆按照意愿路径动态平衡行驶。

[0155] 本实施例中,提供了一种人工驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆的控制方式,进而能够按照本方式对二轮转向、二轮驱动单轨车辆进行控制,以达到动态平衡。

[0156] 可选的,在图2对应实施例的基础上,嵌入式电脑用于根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号时,具体用于:

[0157] 根据行驶目标数据以及传感器子系统采集的车辆行驶状态,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

[0158] 具体的,本发明既适用于自动驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆,也适用于人工驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆。本实施例中介绍的是将本发明应用于自动驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆。

[0159] 行驶目标数据可以是外接设备输入的,其中,行驶目标数据可以是10s的一段路程的行驶目标数据。此外,还可以采用人工语音输入行驶目标数据的方式输入行驶目标数据。

[0160] 然后,将行驶目标数据以及传感器子系统采集的车辆行驶状态代入到非线性变系统动力学模型和非线性控制模型中,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。此外,还可以计算到车身滚动角、车身偏航角、前轮转向角、后轮转向角的变化曲线,其中,前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器和前轮驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号也为随时间变化的曲线。

[0161] 需要说明的是,本实施例中,也需要对前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器和前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号进行修正,具体修正过程参照人工驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆中的修正过程,在

此不再赘述。

[0162] 本实施例中,提供了一种自动驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆的控制方式,进而能够按照本方式对二轮转向、二轮驱动单轨车辆进行控制,以达到动态平衡。

[0163] 本发明中,车辆在非零速度行驶时,本控制系统自动加强车辆前轮和后轮转向电机力矩 τ_2 和 τ_3 的控制,使得前轮和者后轮车轮转向角可以有效地调节车身重心相对前后轮横向位置。在正常行驶时,可以实现有效实现车辆的稳定平衡。

[0164] 在车辆处于低速度或者是停止不动时,车辆前轮或者后轮车轮转向角不能调节车辆重心相对位置。但是前后轮同时驱动时,在固定的大前后轮转向角下,前后移动车辆可以调节车辆重心相当于车轮支撑点的相对位置。本发明的控制系统自动加强对前轮和后轮的驱动电机力矩控制,调节的前轮和/或后轮驱动电机力矩 τ_1, τ_3 实现车辆的稳定平衡。通常车辆是在大车轮转向角下(比如 $\pm 45^\circ$ 以上,甚至 $\pm 90^\circ$),车辆前轮或者后轮驱动电机快速前后微小调节车辆的位置。本发明的非线性动力学模型计算表明,当车轮转向角等于 90° 时, $K_{33}=0$ 。这是因为车轮转向角在 90° 时,如果前轮不打滑,后轮是不能驱动车辆前进的,因而不能用来控制车辆的平衡。当使用前轮和后轮来控制车辆平衡,嵌入式电脑必须可以指令前轮和后轮驱动电机正向和反向的快速切换。这个指令是在非零速度行驶的单轨车辆自动控制中没有的。电脑控制的自动平衡系统把前轮转向和后轮转向角固定在 90° 或者是 -90° ,根据传感器测量的信息和控制算法,快速调节前轮驱动电机和后轮驱动电机使得车身做微小的左右移动,达到自动平衡的目的。

[0165] 在车辆起步或者是停车时,本发明的控制方法平稳地在两个控制模式上切换。安装非线性控制模型的嵌入式电脑,只要可以控制前轮转向电机和后轮转向电机,就可以在车辆行驶时,保持车辆平衡。同时,只要可以控制安装在前轮,或者后轮上的驱动电机,就可以在车辆停止的状态下保持车辆的稳定平衡。即使是在外界扰动的,比如阵风或者是外力的冲击车辆,偏离平衡状态下,嵌入式电脑依然可以调节车辆驱动电机,修正车辆的车身滚动角,把车辆带到平衡状态下。

[0166] 前轮或者后轮驱动的单轨车辆容易在潮湿的地面上打滑、安全性不能保障。它也不能越野,限制了它的应用范围。前轮转向的单轨车辆静态和动态的稳定性也比较差。在外力横向冲击下,前轮驱动、前轮转向的单轨车辆只能通过前轮驱动电机和前轮转向电机调节。后轮由于没有转向电机,不能有效参与抗冲击的控制。前轮转向的单轨车辆转弯半径也比较大、不合适在狭小的空间转弯。本发明提供的二轮转向、二轮驱动的自动平衡单轨车辆还可以大大提高防滑、越野和抗冲击能力。本发明的二轮转向车辆,可以在很窄的空间转向和调头。本发明可以大大提高单轨车辆的安全性、实用性和应用范围。

[0167] 为了本领域的技术人员清楚明白的了解本发明,现以人工驾驶和自动驾驶车辆两个例子进行解释说明。

[0168] (1) 人工驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆

[0169] 本实施例提供的二轮转向、二轮驱动单轨车辆的主要组成部分包括:斜长的车身,安装在车身前部的带转向电机、驱动电机和刹车的前轮,安装在车后部的带转向电机、驱动电机和刹车的后轮,多个传感器(包括光编码器和惯性传感器),电子记录仪,带控制软件的嵌入式电脑,和控制转向电机,驱动电机、前后轮刹车的驱动器构成。车身可以是带门,座椅的全封闭式的单元,以及车体内驾驶人电子控制输入、和显示车辆实际行驶状态信息的电

子显示单元。

[0170] 驾驶人可以加入车辆内部,在座椅上坐下以后,启动控制系统。嵌入式电脑启动后,传感器开始采集车辆的车辆行驶状态,驾驶人踩下电子加速踏板,嵌入式电脑根据驾驶人输入的油门和方向盘数据,计算出前轮驱动电机、前轮转向电机、后轮驱动电机和后轮转向电机的控制信号,指令电机的转矩和转动方向,在平衡车辆的同时,达到驾驶人需要的车辆速度和车辆行驶方向。嵌入式电脑持续利用传感器采集的车辆行驶状态和驾驶人的输入信号,重复修正车辆需要到达的状态和位置,连续调整前轮和后轮转向电机的力矩,让车辆稳定行驶。

[0171] 当驾驶人踩下电子刹车踏板时,嵌入式电脑及时更新车辆的状态,利用非线性变系统动力学模型和非线性控制模型,计算出最优的前后轮刹车力矩,和转向电机力矩,在保持车辆平衡的条件下,安全快捷的减低车辆速度。当速度减低到一个阈值时,嵌入式电脑自动切换到准静态控制模式,在固定一个非0的前轮转向角和后轮转向角下,放松电子刹车,调节前轮驱动电机和后轮驱动的力矩和转动方向,达到准静态平衡。这种控制方法适用于暂时停车。

[0172] 当驾驶人踩下电子加速踏板后,嵌入式电脑更新车辆的状态,调节前轮转向和后轮转向电机,不再调节驱动力矩的方向,增加驱动电机的正向力矩,驱动车辆前进。

[0173] 驾驶人可以通过电子LCD显示屏,了解车辆的行驶状态。利用电子方向盘控制车辆的方向,利用电子刹车踏板和电子油门踏板控制车辆的速度。

[0174] (2) 自动驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆

[0175] 可以采用机器自动驾驶二轮转向、二轮驱动单轨车辆。车辆平衡的控制系统的组成部分包括:斜长的车身,安装在车身前部的带转向电机和驱动电机的前轮,安装在车后部的带转向电机和驱动电机的后轮,通信模块,导航模块,多个传感器(包括光编码器、惯性传感器和视频采集传感器),电子记录仪,带控制软件的嵌入式电脑,和控制转向电机,驱动电机的输出构成。斜长的车身可以运送人员或者货物。

[0176] 自动驾驶单轨车辆,根据用户输入信息,或者是远端自动驾驶服务器通过通信模块发来的目的地和路径信息,规划出最佳路径,车辆传感器测量车辆的车辆行驶状态,嵌入式电脑计算出前轮转向电机、前轮驱动电机的控制信号、后轮转向电机和后轮驱动电机的控制信号,指令车辆运行。视频采集传感器提供路况3D实时信息,时刻发现规划路径上的障碍物信息。嵌入式电脑根据这些信息,重新规划路径,或者命令车辆停止运行,通信模块发送车辆和路况信息给远端自动驾驶服务器。当视频采集传感器探测到障碍物消失已经,嵌入式电脑再重新启动车辆,驶向目的地。

[0177] 可选的,本发明的另一实施例中提供了一种二轮单轨车辆平衡的控制方法,应用于二轮单轨车辆,参照图4,包括:

[0178] S21、传感器子系统采集二轮单轨车辆的车辆行驶状态和行驶目标数据;

[0179] S22、嵌入式电脑根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统;

[0180] S23、电机驱动子系统根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,使得二轮单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。

[0181] 可选的,在本实施例的基础上,嵌入式电脑根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,包括:

[0182] 根据车辆行驶状态和行驶目标数据,基于非线性变系统动力学模型和非线性控制模型,计算得到协同的电机驱动信号。

[0183] 可选的,在本实施例的基础上,电机驱动子系统根据修正后的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,包括:

[0184] 前轮转向电机驱动器根据修正后的电机驱动信号中的前轮转向驱动信号,控制前轮转向电机的力矩输出;

[0185] 前轮驱动电机驱动器根据修正后的电机驱动信号中的前轮驱动信号,控制前轮驱动电机的力矩输出;

[0186] 前轮刹车驱动器根据修正后的电机驱动信号中的前轮刹车驱动信号,控制前轮刹车电机的力矩输出;

[0187] 后轮转向电机驱动器根据修正后的电机驱动信号中的后轮转向驱动信号,控制后轮转向电机的力矩输出;

[0188] 后轮驱动电机驱动器根据修正后的电机驱动信号中的后轮驱动信号,控制后轮驱动电机的力矩输出;

[0189] 后轮刹车驱动器根据修正后的电机驱动信号中的后轮刹车驱动信号,控制后轮刹车电机的力矩输出。

[0190] 可选的,在本实施例的基础上,嵌入式电脑对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,包括:

[0191] 通过传感器子系统实时采集的二轮单轨车辆的车辆行驶状态和行驶目标数据的比对结果,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号。

[0192] 本实施例中,嵌入式电脑根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,对计算得到的协同的电机驱动信号进行修正,得到修正后的电机驱动信号,输出修正后的电机驱动信号到电机驱动子系统后,电机驱动子系统,用于根据协同的电机驱动信号中的每个信号控制相应的电机的力矩输出,使得二轮单轨车辆达到动态平衡、并按照行驶目标数据规划行驶。这种方法不对车辆的状态进行限定,即车辆无论是处于停止状态,行驶状态,或者是停车状态和行驶状态之间的相互切换状态时,均能够保证车辆动态平衡行驶,解决了现有的自动控制平衡的二轮单轨车辆,在车辆从停车状态到行驶状态或者是从行驶状态到停车状态时,不能自动保持动态平衡的问题。

[0193] 需要说明的是,本实施例中的步骤的具体解释说明,请参照上述实施例中的相应说明。

[0194] 可选的,在上述任一控制方法的实施例的基础上,嵌入式电脑根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,包括:

[0195] 根据行驶目标数据,计算得到驾驶人的意愿路径;其中,行驶目标数据包括驾驶人输入的方向盘信息、刹车踏板信息和油门踏板信息;

[0196] 根据传感器子系统采集的车辆行驶状态以及意愿路径,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

[0197] 本实施例中,提供了一种人工驾驶二轮单轨车辆的控制方式,进而能够按照本方式对二轮单轨车辆进行控制,以达到动态平衡。

[0198] 需要说明的是,本实施例中的步骤的具体解释说明,请参照上述实施例中的相应说明。

[0199] 可选的,在上述图4对应的实施例的基础上,嵌入式电脑根据车辆行驶状态和行驶目标数据,计算得到协同的电机驱动信号,包括:

[0200] 根据行驶目标数据以及传感器子系统采集的车辆行驶状态,计算得到前轮转向电机驱动器、前轮驱动电机驱动器、前轮刹车驱动器、后轮转向电机驱动器、后轮驱动电机驱动器和后轮刹车驱动器的控制信号。

[0201] 本实施例中,提供了一种自动驾驶二轮单轨车辆的控制方式,进而能够按照本方式对二轮单轨车辆进行控制,以达到动态平衡。

[0202] 需要说明的是,本实施例中的步骤的具体解释说明,请参照上述实施例中的相应说明。

[0203] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

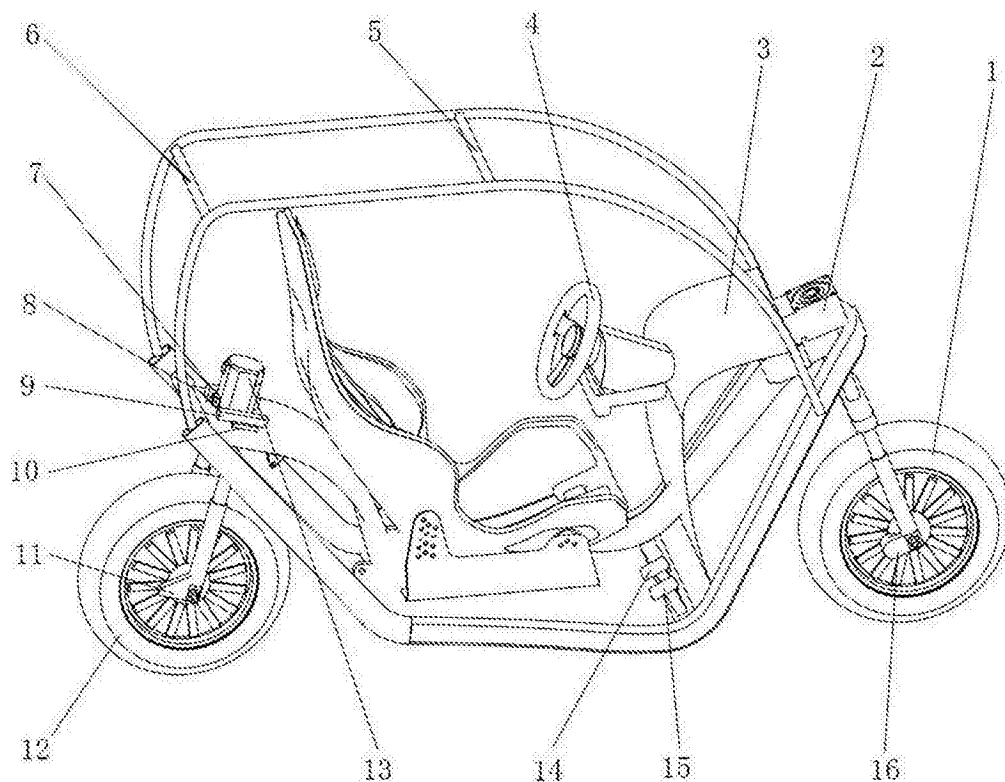


图1

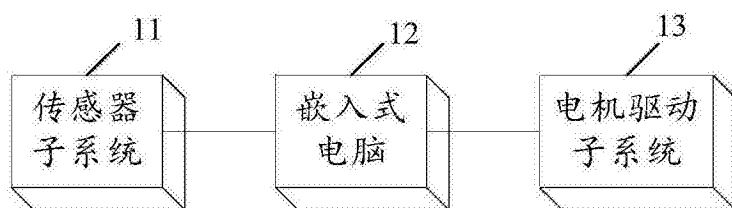


图2

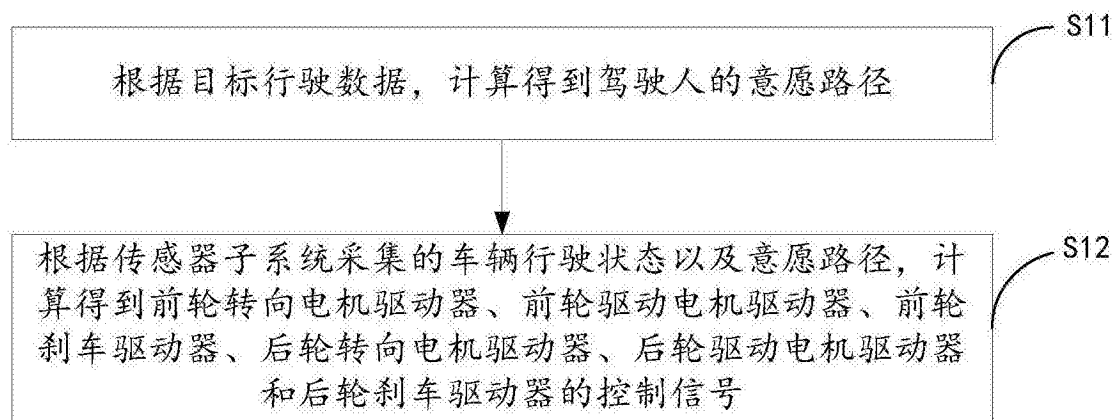


图3

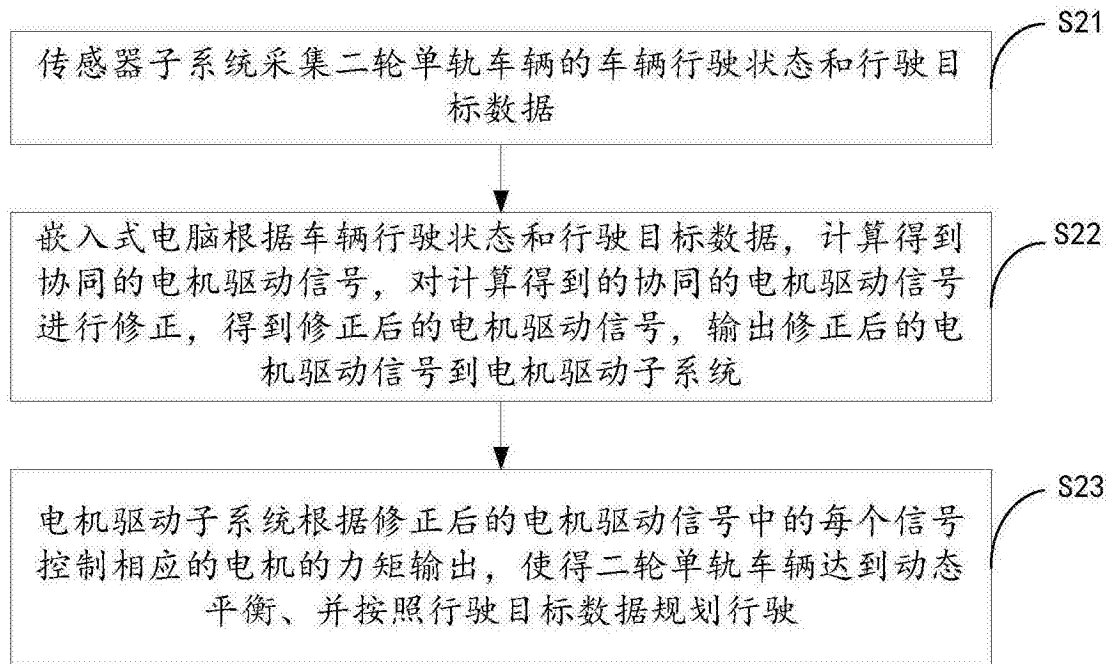


图4