

基于电动自行车巡航过程中驾驶员意图的车速控制

杨智宇¹, 韩燊睿², 文浩宇³, 梅万丹⁴

1. 重庆工商大学 制造装备机构设计与控制重庆市重点实验室, 重庆 400067

2. 吉林师范大学 环境科学与工程学院, 吉林 四平 136000

3. 延边大学 经济管理学院旅游管理专业, 吉林 延边 133002

4. 吉林大学 重庆研究院, 重庆 401123

摘要:在电动自行车上应用定速巡航功能可以有效提高电动自行车的骑行舒适性和安全性,然而,现有电动自行车定速巡航功能应对不同路况调整能力较弱,为解决上述问题,针对电动自行车巡航工况开展研究,提出基于电动自行车巡航过程中驾驶员意图的车速控制系统,在保证安全性的前提下通过设置变速开关及调速控制阈值,实现巡航过程中电动自行车速度的可调及调速过程的平稳;设定转速变化斜率,抑制巡航退出过程中车辆速度的波动,提高车辆的舒适性;设置转速及转矩波动阈值来判断车辆巡航过程中发生的意外情况,避免发生二次伤害;搭建硬件实验平台,对相应控制策略进行实车测试,实验显示:巡航过程中车速从 15 km/h 过渡到 22 km/h,整个过程车辆的动力没有切断,车速无明显冲击,符合预期目标,表明所设计的控制系统操作简单,响应速度快,提高了巡航过程中电动自行车的安全性、可操作性、舒适性等。

关键词:电动自行车;控制策略;巡航变速;调速控制;急停控制

中图分类号:TP273 **文献标识码:**A **doi:**10.16055/j.issn.1672-058X.2023.0002.003

Speed Control Based on Driver's Intention in the Course of Electric Bicycle Cruising

YANG Zhiyu¹, HAN Shenrui², WEN Haoyu³, MEI Wandan⁴

1. Chongqing Key Laboratory of Manufacturing Equipment Mechanism Design and Control, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;

2. School of Environmental Science and Engineering, Jilin Normal University, Jilin Siping 136000, China;

3. Major of Tourism Management, School of Economics and Management, Yanbian University, Jilin Yanbian 133002, China;

4. Chongqing Research Institute, Jilin University, Chongqing 401123, China

Abstract: The application of the constant speed cruise function on the electric bicycle can effectively improve the riding comfort and safety of electric bicycles. However, the existing constant speed cruise function of electric bicycles has a weak ability to adjust to different road conditions. In order to solve the above problem, this paper studied the cruise condition of electric bicycle, and proposed a speed control system based on the driver's intention during electric bicycle cruising. Under the premise of ensuring safety, by setting the variable speed switch and the speed control threshold, the speed of the electric bicycle under cruising conditions was adjustable and the speed regulation process was smooth. The slope of the speed change was set to suppress the fluctuation of the bicycle speed during the cruise exit, so as to improve the comfort of riding the

收稿日期:2022-03-05 **修回日期:**2022-05-18 **文章编号:**1672-058X(2023)02-0015-06

基金项目:重庆市自然科学基金面上项目(CSTC2020JCYJ-MSXMX0803).

作者简介:杨智宇(1985—),男,吉林长春人,讲师,博士,从事智能工程车辆动力学控制、智能汽车行驶轨迹预测研究.

引用格式:杨智宇,韩燊睿,文浩宇,等.基于电动自行车巡航过程中驾驶员意图的车速控制[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2023,40(2):15—20.

YANG Zhiyu, HAN Shenrui, WEN Haoyu, et al. Speed control based on driver's intention in the course of electric bicycle cruising[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2023, 40(2): 15—20.

bicycle. The thresholds of rotational speed and torque fluctuations were set to judge unexpected situations during the cruising process of the bicycle to avoid secondary injuries. A hardware experiment platform was built to test the corresponding control strategy on bicycles. The experiment showed that the bicycle speed transited from 15 km/h to 22 km/h during the cruise, the bicycle power was not cut off during the whole process, and the bicycle speed had no obvious impact, which was in line with the expected goal. The results show that the designed control system is simple in operation and fast in response, which improves the safety, operability and comfort requirements of electric bicycles during cruising.

Keywords: electric bicycle; control strategy; cruise transmission; speed control; emergency stop control

1 引言

电动化是新能源技术发展与应用的关键一环,其重要性和必要性被广泛提及。电动自行车已经深入到当今社会的每个角落,给百姓生活带来了极大的便利。随着电子信息技术和自动控制技术的发展,智能控制在各个领域得到了广泛应用,各种先进控制技术在电动自行车领域也开始出现^[1-4]。

目前,电动车控制领域的研究主要集中在电动自行车控制器的设计,很少对控制算法进行研究^[5-6]。如刘锴^[7]等基于单片机 STM32F031C6T6,设计了一套针对永磁同步电机的低成本矢量控制系统,具有噪声小、能效低等优点,对电动自行车传动系统性能有较大提升;赵贵等^[8]结合企业利用陀螺仪、霍尔元件等多传感器测量踏频、车速等信息控制骑行驱动策略,设计研制了一种新型电动助力自行车后置轮毂驱动系统,较好地实现了自行车骑行的人机交互,提升了骑行舒适度。

近年来,电动自行车也装备了定速巡航功能,但只简单地应用了汽车定速巡航的概念,没有考虑到自行车骑行的特点。陈涛等^[9]针对汽车自适应巡航对驾驶人的适应性问题,将驾驶人风格因素融入系统设计中,提出了适应驾驶人的个性化自适应巡航控制;Padmagirisan^[10]为人-电混合动力自行车提出 3 种控制器(动力辅助、巡航控制、再生制动),基于 DOB 和 PI 控制器设计了巡航控制,使车辆的速度变化通过改变电动机的控制输入来实现;扈先勤等^[11]提出以 S3C2440 芯片作为电动自行车恒速控制系统的核心,以 Linux 作为操作系统,通过传统 PID 算法自动实现电动自行车的恒速行驶;Rowe 等^[12]通过研究对无刷直流电机的控制,进一步增强低功率车辆(轻便摩托车、电动助力自行车、机动踏板车)的 LCD 屏幕输出、再生制动、定时提前、巡航控制和软启动功能;周传运等^[13]采用单片微处理器 W79E823A 为主控芯片,对有刷无齿永磁电机进行设计,控制定速巡航的电动自行车车速;廖成喜^[14]以单片机 ATmega48 为核心,对无刷直流电机设

计,通过 PWM 调制方法控制电枢电压进行调速,以提高电动自行车的骑行舒适性和安全性。

电动自行车恒速行驶工况较多,在正常行驶过程中要求驾驶员始终握住车把并保持角度不变,较不方便。虽然定速巡航功能能够解决这个问题,但应对不同路况对车速调整需求也较多,因此需要开发一种符合自己特点的巡航控制技术。

为此,本文着力于解决现有电动自行车领域之瓶颈,提出保证电动车巡航模式下安全性和舒适性的控制策略。首先提出一种安全性高、操作简单的电动自行车巡航变速控制系统及控制方法,在尽可能小的改动下实现电动自行车行驶过程中的变速巡航^[15-16];接着提出一种可有效抑制退出巡航状态时车速波动的电动自行车调速控制系统及方法^[17];最后提出一种可避免巡航过程中车辆发生意外造成二次伤害的急停控制方法。

2 控制系统设计与控制策略分析

2.1 电动自行车巡航控制系统结构

本研究所提出的电动自行车调速控制系统,主要包括车辆的控制器、传感器、驾驶员的操作手柄等,具体结构如图 1 所示。

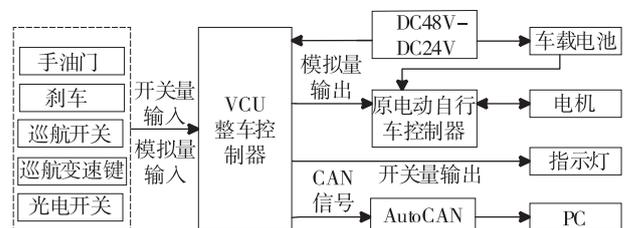


图 1 控制系统结构图

Fig. 1 Structure diagram of control system

与原车相比,总控制器与刹车、手油门、巡航开关、巡航变速键、光电开关、车载电池、原车控制器、指示灯及 AutoCAN 相连,用于接收驾驶员指令,运算相应控制策略,对自行车执行机构发出动作指令;DCDC 用于控制器与车载电池间的电压力转换;原车控制器在这里仅起到电机控制器的作用,不做任何逻辑运算;

AutoCAN 用于信号的接收和采集;PC 机则用于信号的分析 and 处理;光电开关用于车轮转速的采集。

2.2 基于驾驶员意图的控制策略

将现有电动自行车的行驶工况分为手动状态、待巡航状态(巡航进入过程)、巡航状态、刹车状态和急停状态 5 种工作模式。其中刹车状态、待巡航状态、手动状态的控制策略保持原有策略不变。本课题主要根据驾驶员的主观意图对巡航过程中的速度调整、巡航退出过程的力矩控制及急停状态进行研究。

2.2.1 巡航过程中的速度控制策略

因行驶路况不同,驾驶员对巡航速度的期望也会有相应的调整。目前电动自行车巡航控制策略仅为恒速控制,巡航过程中车速不能调整,且当驾驶退出巡航过程时,油门必须从零开始,因此车辆巡航退出过程会出现动力的短时中断,造成车辆速度的冲击,影响车辆的舒适性,同时动力中断也会影响行车速度。为方便巡航过程中驾驶员对车速的调整,提出电动自行车巡航过程中速度控制策略,如式 1 所示。

$$V_{\text{cmd}}(i) = \begin{cases} V_{\text{red}} & ((A_{\text{cc-change}} = 0) \& (A_{\text{cc-on}} = 1)) \\ V_{\text{Acc}} & ((A_{\text{cc-change}} = 1) \& (V_{\text{red}} - V_{\text{Acc}} < b) \& \\ & (A_{\text{cc-on}} = 1)) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中: $V_{\text{cmd}}(i)$ 为车速命令值; V_{red} 为巡航车速; V_{Acc} 为手油门对应车速值; $A_{\text{cc-change}}$ 为巡航变速信号; $A_{\text{cc-on}}$ 为巡航开关信号; i 为时间变量; b 为常数;文中所有车速的单位为 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

当电动车处于巡航控制模式时,转速信号的大小仅取决于 V_{red} ,与油门命令无关。判断总控制器是否接收到变速键发来的变速信号,若无,则保持定速巡航模式;若接收到变速信号 $A_{\text{cc-change}}$ 为 1,则检测此时油门命令对应的车速 V_{Acc} ,驾驶员需调节手油门,直到 V_{Acc} 与 V_{red} 差的绝对值小于阈值 b ,令车速控制命令 V_{cmd} 等于油门对应的控制命令 V_{Acc} ,此后总控制器发送的转速命令仅取决于油门命令;当变速信号 $A_{\text{cc-change}}$ 为 0 时,电动车回到定速巡航模式,并令此时的车速 V_i 为新巡航车速 V_{red} 。

2.2.2 巡航退出过程的力矩控制策略

经调查,巡航退出有两种情况:一种是出现紧急情况驾驶员制动,此时驾驶员退出巡航状态的意图是明显减速,需要切断动力;另一种是工况变得复杂,驾驶员选择手动控制车速,为避免此过程出现动力中断,影响舒适性,本研究提出如式(2)所示的控制策略。

$$V_{\text{cmd}}(i) = \begin{cases} 0 & B_{\text{rake}} = 1 \\ V_{(i-1)} - k & ((B_{\text{rake}} = 0) \& (V_i - V_{\text{Acc}} \geq b) \& \\ & (A_{\text{cc-on}} = 0)) \\ V_{(i-1)} + k & ((B_{\text{rake}} = 0) \& (V_{\text{Acc}} - V_i \geq b) \& \\ & (A_{\text{cc-on}} = 0)) \\ V_{\text{Acc}} & ((B_{\text{rake}} = 0) \& (V_i - V_{\text{Acc}} \leq b) \& \\ & (A_{\text{cc-on}} = 0)) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中: B_{rake} 为制动信号命令。

在巡航状态下,当驾驶员发出的制动命令 B_{rake} 为 1 时,直接将车速命令 V_{cmd} 赋 0,退出巡航状态,并重新判断分配电动自行车状态。当巡航开关 $A_{\text{cc-on}}$ 变为 0,制动信号 B_{rake} 为 0 时,总控制器判断手油门对应的车速 V_{Acc} 与当前速度 V_i 的差值,当 $|V_{\text{Acc}} - V_i| \geq b$ 时,控制车速以 k 的变化量向手油门对应的车速 V_{Acc} 靠近,直到差值小于阈值 b 后,令车速控制命令 V_{cmd} 等于手油门对应的车速控制命令,并退出巡航状态。

2.2.3 急停控制策略

这里的急停指车辆巡航过程中发生某种意外(碰撞或摔倒),需第一时间将车速控制指令置零,避免发生二次伤害的控制过程,其策略如式 3 所示。

$$V_{\text{cmd}}(i) = \begin{cases} 0 & (B_{\text{rake}} = 0) \& (A_{\text{cc-on}} = 0) \& \\ & ((V_i - V_{i-1} \geq c) \parallel ((T_i - T_{i-1}) \geq d)) \\ V_{\text{red}} & ((B_{\text{rake}} = 0) \& (A_{\text{cc-on}} = 0) \& \\ & (V_i - V_{i-1} < c)) \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中: c 、 d 为常数; T_i 为电机反馈力矩。

在巡航状态下,当发生车速及电机反馈力矩突变的情况时,将车速命令 V_{cmd} 置 0,避免车辆骤停或摔倒的情况下,电机仍有驱动力矩,造成二次伤害。

3 模型建立与平台改进

3.1 控制模型的建立

本次实验在 MATLAB/Simulink 环境下开发控制算法模型,利用快速原型工具(RCP)生成控制软件代码,利用烧写器将程序烧写到整车控制器,进而对整个实验样机进行控制。

(1) 控制信号的选用及处理。根据控制策略,采集手油门信号、刹车信号、巡航开关信号和巡航变速信号;采集光电开关信号,经过处理后获得转速。

利用光电式接近开关检测车轮转速,通过控制模

型检测霍尔脉冲信号的个数,计算后转换为车速,计算公式如下:

$$V = \frac{3.6}{nT} \times \pi D \quad (4)$$

式(4)中: n 为一个周期内脉冲信号个数; T 为 VCU 采样周期, $T=0.01\text{ s}$; D 为后轮直径, $D=0.4\text{ m}$ 。

(2) 控制模型搭建。控制算法模型分为手动模式、待巡航模式、巡航模式、制动模式和急停模式,如图 2 所示。模型首先将采集的开关量、模拟量信号进行处理,其次根据信号进行模式的判断和选择,根据所选择的模式进行力矩计算,最后在动力输出模块再次对力矩进行变化率和幅值的限制并输出。依据上述结构基于 MATLAB/Simulink 软件进行控制程序的开发。

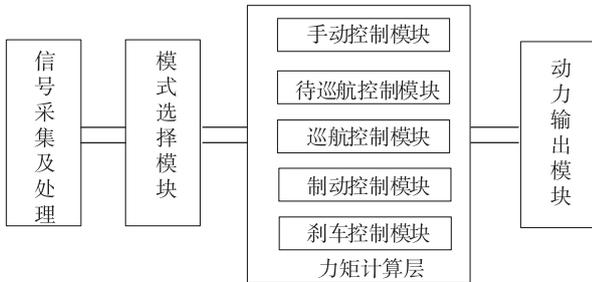


图 2 控制算法模型

Fig. 2 Control algorithm model

3.2 实验平台的改造

为验证相关控制策略,对一辆爱玛电动自行车进行改造。为不破坏原车,仅将原车控制器的所有输入信号断开,接入本研究所使用的整车控制器 VCU,将 VCU 输出信号作为输入发送给原车控制器;将车的后轮贴上绿色胶带纸,由于车轮橡胶和胶带纸的反光性能不一样,故光电开关照射到胶带纸时,就会发出脉冲信号;外接两个开关用来发出巡航命令和巡航变速命令。改装后的电动车如图 3 所示。



图 3 实验改装车

Fig. 3 Modified electric bicycle for the experiment

(1) 整车控制器。整车控制器 (VCU, Vehicle Control Unit),即车辆控制单元。是汽车控制领域的核心控制部件,包含嵌入式单片机、控制电路板、CAN 信号接口、模拟量信号接口、开关量信号接口,如图 4 所示,其具体参数如表 1 所示^[18]。本研究使用数字输入/输出、模拟输出接口用于采集数据和控制量的输出,CAN 接口用于数据采集。

表 1 整车控制器相关参数

Table 1 Related parameters of VCU

供电需求	CAN	模拟量输入	模拟量输出	开关量输入	开关量输出
9~36VDC	2 路	14 路	4 路	33 路	10 路(高边)



图 4 整车控制器

Fig. 4 VCU

(2) AutoCAN。AutoCAN 是一款功能强大的 CAN 总线开发环境,它贯穿于总线的设计、仿真和测试的整个过程。除了支持带信号的报文显示、信号波形显示等基本功能外,它支持完全离线仿真、半实物仿真、实物仿真以及基于报文记录文件的回放模式等。

4 实验仿真与数据分析

控制策略开发及试验平台改造完成后,对本研究所提出的相关策略进行了实车调试,下面以巡航过程的速度调整为例说明实验过程。

4.1 实验工况

在无人道路上进行巡航工况下的变速实验:驾驶员启动车辆,系统处于手动模式加速;当车速达到 $10\text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上时启动自主巡航模式;稳定行驶一段

时间过后,驾驶员按住变速键,进行调速;放开变速键,再次进入巡航工况;稳定行驶后,制动,退出自主巡航;停车,整车下电。

4.2 实验数据及分析

由图 5—图 7 可以看出:0~18 s 时间段内为手动模式,VCU 输出电压 (T_{hortle_1}) 与手油门电压 (T_{hortle}) 相同,车速随手油门信号增加而增加;18 s 时刻发出巡航开关信号 (A_{cc-on}),此时进入待巡航模式,开始记录 5 s 内车速波动;23 s 前 5 s 内车速波动小于 3 km/h,进入巡航模式,此时手油门松开,VCU 输出恒定电压信号,此时车速为 15 km/h;31.5 s 发出巡航变速信号 ($A_{cc-change}$),即开启巡航变速键,VCU 开始检测手油门信号;38 s 手油门对应车速与当前车速之差小于 2 km/h,出现指示灯信号 (L_{ight}),进入巡航变速模式,VCU 输出手油门电压;48 s 关闭巡航变速按钮,指示灯信号变为零,变速停止,VCU 输出变速后的恒定转速信号,此时车速为 22 km/h;51.5 s 松开手油门,VCU 仍输出恒定转速信号;62.5 s 发出刹车信号 (B_{rake}),此时进入制动模式,VCU 输出转速信号为零。

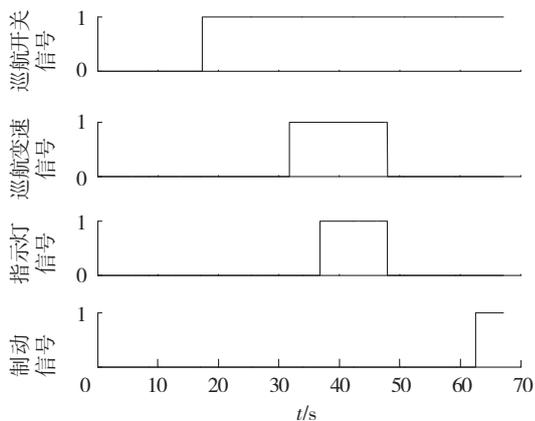


图 5 开关量信号

Fig. 5 Switch signal

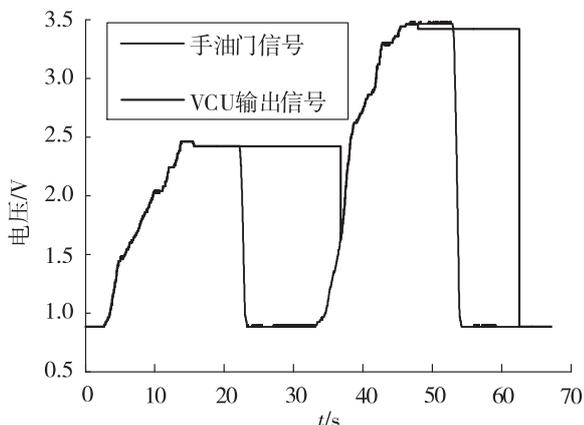


图 6 模拟量信号

Fig. 6 Analog signal

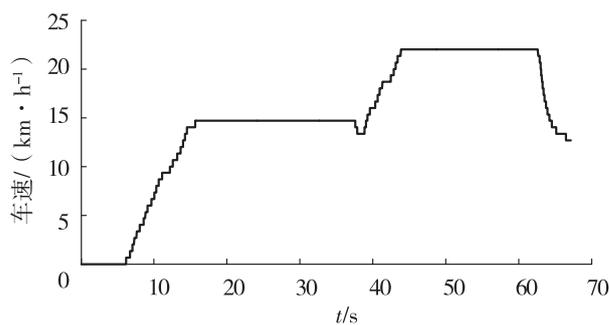


图 7 车速曲线图

Fig. 7 Speed curve

由实验数据可以看出:巡航过程中车速从 15 km · h⁻¹ 过渡到 22 km · h⁻¹,整个过程车辆的动力没有切断,车速无明显冲击,符合预期目标。

5 结 论

本研究阐述了电动自行车巡航过程中的车速控制方法,详细介绍了基于驾驶员意图的控制策略。该策略采集多个控制信号,通过逻辑判断及计算选择相应控制模式,实现了电动自行车巡航模式下调速、退出巡航时抑制转速波动、急停时驱动力矩置零等功能。通过搭建基于 VCU 为控制核心的电动自行车巡航变速控制实验平台并进行实车验证,证明了该控制系统能够良好地进行巡航模式下的变速控制,系统响应快,操作简单,可以满足使用者对电动自行车安全性、可靠性、舒适性等要求,具有较大推广价值。

参考文献 (References):

[1] 李昊,张静. 城市低碳经济发展路径的系统动力学模拟[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2017, 38(1): 108—112.
LI Hao, ZHANG Jing. System dynamics simulation of urban low carbon economic development path[J]. Journal of Jilin Normal University (Natural Science Edition), 2017, 38(1): 108—112.

[2] 武慧虹,钱淑渠. 改进的非传统遗传算法用于逆变器 PWM 控制[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2018, 39(3): 123—129.
WU Hui-hong, QIAN Shu-qu. An improved nontraditional genetic algorithm for PWM control of inverters[J]. Journal of Jilin Normal University (Natural Science Edition), 2018, 39(3): 123—129.

[3] 张朝阳. 基于 51 单片机的恒温控制系统的设计[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2017, 38(4): 96—100.
ZHANG Chao-yang. Design of temperature control system

- based on 51 single chip microcomputer[J]. Journal of Jilin Normal University (Natural Science Edition), 2017, 38(4): 96—100.
- [4] 彭长武, 崔建昆, 俞佳俊, 等. 中置电动助力自行车动力学及控制策略研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2020, 58(6): 107—111.
PENG Chang-wu, CUI Jian-kun, YU Jia-jun, et al. Research on dynamics and control strategy for mid-drive electric-assist bike[J]. Agricultural Equipment and Vehicle Engineering, 2020, 58(6): 107—111.
- [5] 祝龙. 基于永磁无刷直流电机的电动自行车控制器系统研究和设计[D]. 长沙: 湖南大学, 2017.
ZHU Long. Research and design of electric bicycle controller system based on permanent magnet brushless DC motor[D]. Changsha: Hunan University, 2017.
- [6] 陶梦江. 电动自行车控制器研究与设计[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
TAO Meng-Jiang. Research and design of electric bicycle controller[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2015.
- [7] 刘锴, 王宜怀, 徐达. 基于矢量控制的电动自行车控制器设计[J]. 现代电子技术, 2018, 41(2): 111—115.
LIU Kai, WANG Yi-huai, XU Da. Design of electric bicycle controller based on vector control [J]. Modern Electronic Technology, 2018, 41(2): 111—115.
- [8] 赵贲, 袁森, 吴兵, 等. 一种新型电动助力自行车轮毂驱动系统设计及实现[J]. 微电机, 2019, 52(8): 23—27, 54.
ZHAO Ben, YUAN Sen, WU Bing, et al. Design and implementation of a new wheel hub drive system for electric power assisted bicycle[J]. Micromotor, 2019, 52(8): 23—27, 54.
- [9] 陈涛, 郭丛帅, 李旭川, 等. 适应驾驶人的个性化自适应巡航控制策略[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2021, 35(7): 1—9.
CHEN Tao, GUO Cong-shuai, LI Xu-chuan, et al. Personalized adaptive cruise control strategy adapted to the driver [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 35(7): 1—9.
- [10] PADMAGIRISAN P. Power-assist control of a human-electric hybrid bicycle with energy regeneration and cruise control[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, 2019, 233(2): 179—191.
- [11] 扈先勤, 李巍巍. 智能电动自行车恒速巡航系统设计[J]. 中国高新技术企业, 2016(33): 1—2.
HU Xian-qin, LI Wei-wei. Intelligent electric bicycle constant speed cruise control system design[J]. China High Technology Enterprises, 2016(33): 1—2.
- [12] ROWE A, GUPTA G S, DEMIDENKO S. Instrumentation and control of a high power BLDC motor for small vehicle applications [C]//Instrumentation and Measurement Technology Conference. IEEE, 2012: 559—564.
- [13] 周传运, 曹秀海. 基于 W79E823A 的电动自行车控制系统设计[J]. 机电工程技术, 2013(5): 35—37.
ZHOU Chuan-yun, CAO Xiu-hai. Electric bicycle control system design based on W79E823A [J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2013(5): 35—37.
- [14] 廖承喜. 基于 ATmega48 单片机的电动自行车控制器的设计[D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
LIAO Cheng-xi. Design of electric bicycle controller based on MCU ATmega48[D]. Changsha: Hunan University, 2008.
- [15] 韩燊睿. 一种电动自行车巡航变速控制系统及控制方法: 中国, 201710263980. 8[P]. 2017—12—01.
HAN Shen-ru. An electric bicycle cruising speed control system and control method: China, 201710263980. 8 [P]. 2017—12—01.
- [16] 姜顺明, 吴陶然, 解建, 等. 适应行驶工况的节能自适应巡航模型预测控制[J]. 中国科技论文, 2020, 15(8): 900—905.
JIANG Shun-ming, WU Tao-ran, XIE Jian, et al. Energy-saving adaptive cruise model predictive control for driving conditions[J]. China Sciencepaper, 2020, 15(8): 900—905.
- [17] 韩燊睿, 冯熙源, 郑麒含, 等. 一种电动自行车调速控制系统及方法: 中国, 201710273321. 2[P]. 2017—12—01.
HAN Shen-ru, FENG Xi-yuan, ZHENG Qi-han, et al. An electric bicycle speed control system and method: China, 201710273321. 2[P]. 2017—12—01.
- [18] 李文礼, 陆宇, 汪杨凡, 等. 基于模型预测控制的电动汽车起步工况仿真与性能评价[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2021, 35(5): 18—25.
LI Wen-li, LU Yu, WANG Yang-fan, et al. Simulation and performance evaluation of electric vehicle starting condition based on model predictive control[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 35(5): 18—25.