

# 基于 FreeRTOS 的嵌入式智能骑行台 \*

禹鑫焱,赵嘉楠,应皓哲,欧林林,冯远静

(浙江工业大学 信息工程学院,浙江 杭州 310023)

**摘要:**为了解决传统的非智能骑行台功能单一,不能与骑行台客户端进行数据交互,且阻力调节不均匀,骑行体验一般等问题,设计了基于 FreeRTOS 实时操作系统的嵌入式智能骑行台。骑行阻力的设计方案选用磁阻式,目的在于降低噪声,提高骑行体验。硬件电路方面根据系统的功能需要设计了主控模块、电源模块、速度测算模块以及磁阻控制模块。程序设计部分包括蓝牙通信、ANT+通信、速度计算、功率拟合、休眠与唤醒以及磁阻控制等功能程序。最后,制作实验装置对系统的无线通信功能、挡位控制功能、骑行台客户端适配功能等进行测试。实验结果表明,测试效果良好,系统具有较好的实时性和较高的可靠性,满足预设的功能需求。

**关键词:**骑行台;FreeRTOS;磁阻式;无线通信;蓝牙;ANT+

中图分类号: TN709

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.211972

中文引用格式:禹鑫焱,赵嘉楠,应皓哲,等.基于 FreeRTOS 的嵌入式智能骑行台[J].电子技术应用,2022,48(2):84-90.

英文引用格式:Yu Xinyi,Zhao Jianan,Ying Haozhe,et al. Embedded intelligent riding platform based on FreeRTOS[J]. Application of Electronic Technique,2022,48(2):84-90.

## Embedded intelligent riding platform based on FreeRTOS

Yu Xinyi, Zhao Jianan, Ying Haozhe, Ou Linlin, Feng Yuanjing

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of the traditional non-intelligent cycling platform with single function, no data interaction with the cycling platform client, uneven resistance adjustment, general riding experience, an embedded intelligent riding platform based on FreeRTOS real-time operating system is designed. The design scheme of riding resistance selects the magnetoresistive type, which aims to reduce the noise and improve the riding experience. In terms of hardware circuit, the main control module, power supply module, speed measurement module and magnetoresistance control module are designed according to the functional needs of the system. The program design part includes Bluetooth communication, ANT+ communication, speed calculation, power fitting, sleep and wake-up, and magnetoresistance control. Finally, an experimental device is made to test the wireless communication function, gear control function, and client adaptation function of the riding platform. The experimental results show that, the system has good real-time performance and high reliability, which can meet the preset functional requirements.

**Key words:** riding platform; FreeRTOS; magnetoresistive type; wireless communication; Bluetooth; ANT+

## 0 引言

室内骑行<sup>[1]</sup>运动作为一项常规的室内健身活动,配合使用骑行台,可满足人们对于日常自行车骑行运动的需要。

骑行台是一种附带阻尼系统的骑行训练设备,可将室外的骑行运动转移到室内进行,通过骑行者消耗自身的体力来达到健身的目的,是一种常规的有氧健身器材。现在市面上的骑行台,根据智能程度可分为智能型骑行台和非智能型骑行台;按照阻尼系统的划分,可分为重力阻式骑行台、磁阻式骑行台、风阻式骑行台以及液阻式骑行台<sup>[2]</sup>等。

因为国外自行车运动的普及、参与程度高,所以诞生了一大批家喻户晓的骑行台品牌,如德国品牌 Elite、美国品牌 Kinetic、荷兰品牌 Tacx 等。国外主要有滚筒式骑行台、液阻式骑行台、磁阻式骑行台等种类。比如 Tacx 的 Galaxia-T1100<sup>[3]</sup>滚筒式骑行台,Cycleops 的 Fluid 2<sup>[4]</sup>液阻式骑行台等。

和国外相比较,国内对骑行台的研究开发起步比较晚,目前有青岛迈金、杭州优趣体育等少数公司在推出自己的骑行台产品。例如,迈金的 T300<sup>[5]</sup>直驱式磁阻骑行台,优趣体育的 U5 SMART<sup>[6]</sup>智能骑行台等。

从目前的产品设计和用户体验来看,传统的非智能骑行台存在骑行环境单一,不能较为准确地控制阻力等一系列影响运动体验的问题。并且在运动过程中无法实

\* 基金项目:浙江省自然科学基金(LY21F030018)

时得到骑行速度和骑行者的消耗功率,只能根据骑行者自身的感受进行粗略判断。所以,一种能实时得知骑行速度和功率,实现与骑行台客户端数据交互,丰富骑行者骑行体验的智能骑行系统具有较高的研究价值。

为了解决上述传统非智能骑行系统存在的问题,设计了基于蓝牙 SoC 的嵌入式智能骑行系统。该系统可实现如下功能:(1)对骑行速度的实时采集,并根据速度-功率计算公式得到骑行者的骑行消耗功率;(2)将速度和功率数据按照事先设定的数据格式,使用蓝牙协议<sup>[7-9]</sup>以及 ANT+ 协议<sup>[10-12]</sup>发送给骑行台客户端实现数据发送;(3)接收并解析骑行台客户端下发的坡度数据来调节骑行时的阻力数据,实现上下坡和平路的骑行模拟;(4)该装置还适配多个骑行台客户端,包括国外的 Zwift、国内的 UH Fitness 等。并且在此基础上设计了硬件电路与实验装置,通过一系列实验测试验证了系统的可行性。

## 1 系统需求及总体框架设计

本文设计的嵌入式智能骑行系统主要用来解决传统的非智能骑行台功能单一、骑行体验一般的问题。系统采用了磁阻式的设计方案,从系统硬件结构和系统软件结构两方面对系统进行总体方案设计与实现,系统总体功能框架如图 1 所示。

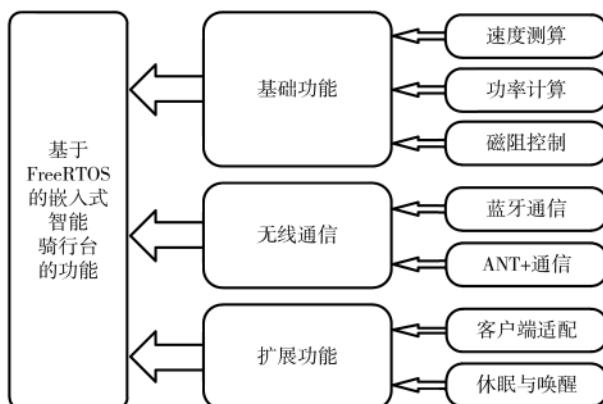


图 1 系统总体功能框架图

系统硬件结构部分,设计选用 NRF52832 低功耗蓝牙 SoC 作为主控芯片,设计了最小系统电路以及射频电路构成主控模块。根据整个系统的功能需要分别设计了电源模块、速度测算模块、磁阻控制模块等。

系统的软件结构部分,为了提高系统处理任务的实时性和可靠性,控制系统移植了开源的实时操作系统 FreeRTOS<sup>[13-15]</sup>。FreeRTOS 实时操作系统目标代码小、简单易用,被广泛应用于各种各样的物联网智能产品中。系统的基本软件功能模块包括速度测算和功率计算程序、磁阻控制程序、蓝牙数据通信程序、ANT+ 无线数据通信程序等。还包括多款骑行台客户端的适配程序、休眠与唤醒机制等一些提升使用体验的模块程序。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 系统硬件总体方案设计

本系统硬件总体架构如图 2 所示。整个系统主要由主控模块、电源模块、磁阻控制模块以及速度测算模块等电路模块构成。电源模块负责把输入电压降压处理得到合适的工作电压,提供给系统中其他的电路模块使用;主控模块与速度测算模块、磁阻控制模块相连接,实现速度的输入捕获与计算、功率计算、阻力大小的控制以及无线数据通信等功能;速度测算模块利用霍尔传感器实现脉冲检测与信号整形;磁阻控制模块根据主控模块引脚输出的不同占空比的 PWM 波实现对 H 桥芯片的输出电压调节,从而实现挡位的控制。

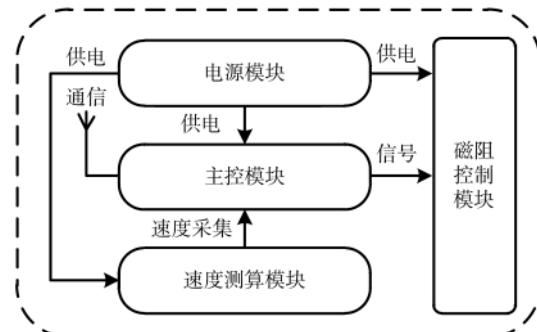


图 2 硬件总体架构图

### 2.2 系统硬件设计与分析

#### 2.2.1 电源模块

系统的输入电压是 36 V,主要提供给磁阻控制模块中的 H 桥芯片和电源模块使用。综合考虑系统正常工作时所需的电流大小后,采用了两级降压电路的方案。第一级降压电路选用 LM2596 降压开关电源芯片,将 36 V 的输入电压降压到 5 V,提供给速度测算模块以及磁阻控制模块中的光耦器件使用。第二级降压电路采用 AMS1117 芯片以及外围电路组成的稳压电路方案,将 5 V 电压稳压到 3.3 V,提供给主控模块使用。

#### 2.2.2 主控模块

主控模块是整个系统的控制核心,由 NRF52832 芯片的最小系统电路和射频电路构成,电路原理图如图 3 所示。

NRF52832 蓝牙芯片内部有 512 KB 的 Flash 和 64 KB 的 RAM,有着强大的浮点运算能力。它是一款相比较同系列其他蓝牙 SoC 具有更高性能、更低功耗的多协议 SoC<sup>[16]</sup>,有着良好的抗干扰能力,并且设计灵活性高。其优良的性能满足了本文所需的数据处理能力以及无线通信数据传输性能。

#### 2.2.3 速度测算模块

速度测算模块将霍尔元件切割磁场的周期运动转换为脉冲电信号<sup>[17]</sup>,并将输出信号传输给主控模块进行速度值的计算。

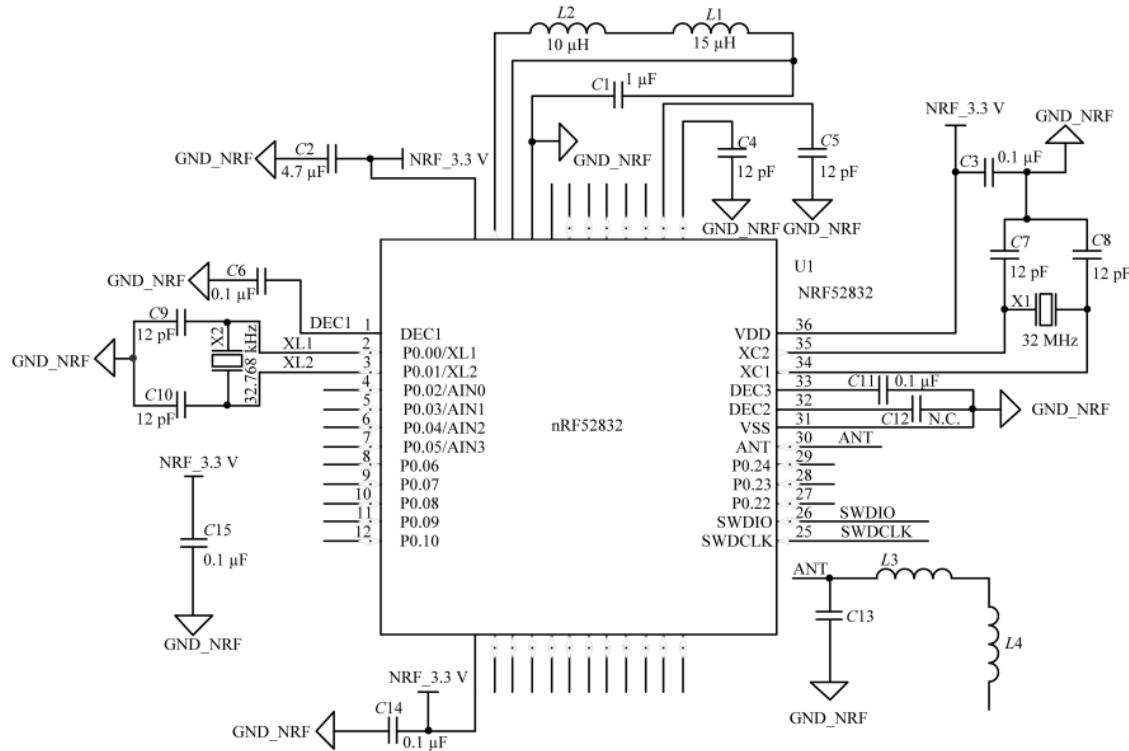


图 3 主控模块

为了进一步降低系统工作时的功耗,速度测算模块选用了型号为 A3144E 的霍尔元件。该型号的霍尔元件具有功耗低、灵敏度高、温度特性稳定等特点<sup>[18-19]</sup>,被广泛应用于各种转速检测装置中。模块使用 LM393 比较器芯片将霍尔传感器的输出脉冲信号处理成更加接近矩形波的波形,进一步降低霍尔传感器输出脉冲信号对测量结果的影响,从而提高主控芯片计算速度的精确度。

#### 2.2.4 磁阻控制模块

磁阻控制模块是整个系统实现上下坡骑行模拟的关键硬件电路。模块的输出电压通过主控芯片输出的 PWM 波的占空比大小来调节。输出电压不同,阻力的大小就不同,从而实现了骑行上下坡的模拟效果。主控芯片与磁阻模块之间用光耦器隔离。模块选用了 LMD18200 直流电机驱动 H 桥芯片。

### 3 系统软件设计

#### 3.1 系统软件总体方案设计

本系统的软件总体结构图如图 4 所示,主要分为硬件驱动层、业务实现层以及应用层。硬件驱动层用来实现对系统所用硬件外设的逻辑控制,并封装成相应的控制函数供业务实现层调用。业务实现层负责调用硬件驱动层的封装函数来一一实现对应的外设功能,并封装成业务函数模块供应用层调用。应用层负责调用每个业务模块的接口函数,来实现整个系统的功能。

根据系统的总体软件架构图可知,硬件驱动层主要包括实时操作系统 FreeRTOS 的内核,用于输入速度捕获的 GPIO,用于控制磁阻控制模块输出电压的 PWM 以

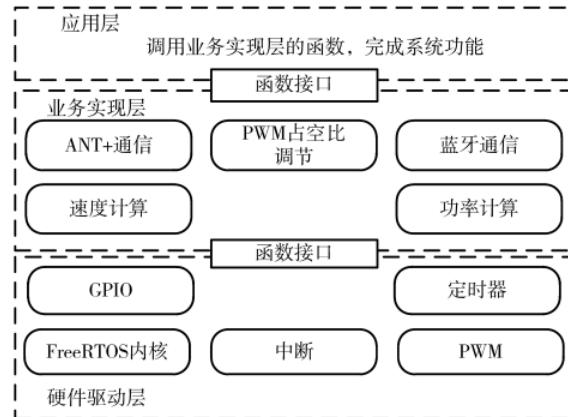


图 4 软件功能结构图

及中断、定时器等组件。业务实现层包含的业务有蓝牙通信业务、ANT+通信业务、速度计算业务、功率计算业务以及 PWM 占空比控制业务等。应用层将根据系统的功能以及运行时的任务需要调用业务实现层的相关业务,并调用故障处理函数处理运行过程中的问题。

#### 3.2 磁阻控制模块程序设计

磁阻控制模块程序用来实现对骑行台客户端下发的坡度数据进行分析来自动调节阻力的大小,从而实现骑行上下坡、平路的模拟。系统一共设计了 17 个挡位的阻力控制,其中 1~8 挡模拟上坡,9 挡模拟平路,10~17 挡模拟下坡,1~8 挡的 PWM 占空比与 10~17 挡的 PWM 占空比一一对应。挡位所对应的 PWM 占空比的确定使用了文献[20]提出的挡位调节方法。软件流程图如图 5 所示。

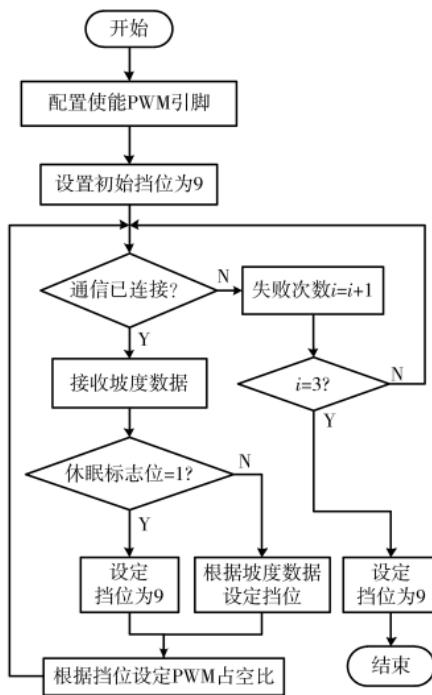


图 5 磁阻控制程序

未建立起通信连接前,系统为了降低功耗,程序便设置初始挡位为9。在与骑行台客户端建立连接后,下位机开始接收骑行台客户端下发的坡度数据,并判断系统是否处于休眠状态。当且仅当系统没有休眠,才能按照事先设定的占空比根据下发的数据进行挡位的调节。

### 3.3 速度功率计算与休眠机制程序设计

实时操作系统通过对速度测算模块输出波形的下降沿捕获,并计算出当前的速度值,再根据速度拟合出功率值。速度计算和功率拟合方法使用了文献[20]中提出的方法。

在系统计算输入脉冲个数小于5个并持续3 min(每1.5 s捕获一次,120次捕获)后,系统会进入休眠状态。在休眠状态时,磁阻控制程序仍然会把挡位设置为9,此时,磁阻控制电路中的H桥芯片的输出电压为0。

当输入脉冲个数大于等于5个时,系统会退出休眠状态,并计算当前的速度值,根据功率拟合方法计算出功率值,软件流程图如图6所示(图中的gpioCurrent代表捕获到的脉冲个数,stateCount用来计算当前状态保持的时间,curSpeed代表当前速度值)。

### 3.4 通信模块程序设计

NRF52832低功耗蓝牙SoC芯片支持ANT+和蓝牙两种通信协议来进行数据传输,所以方案设计时确定在系统中同时使用两种协议。

无线通信程序模块主要将计算得到的速度和功率数据发送给骑行台客户端,并接收骑行台客户端下发的坡度数据,传送给磁阻控制程序来控制主控引脚输出PWM波的占空比,进而调节H桥芯片的输出电压。接下

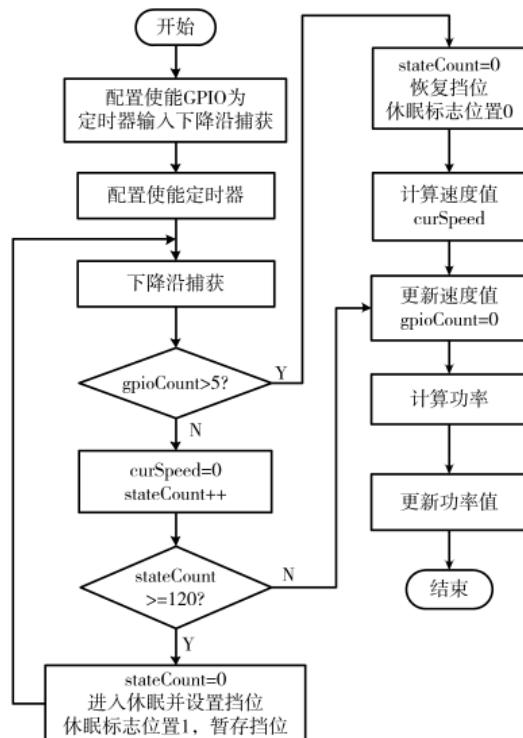


图 6 速度功率计算与休眠机制

来介绍系统中蓝牙通信和ANT+通信的程序设计。

#### 3.4.1 蓝牙通信程序设计

蓝牙通信程序由蓝牙发送数据和蓝牙接收数据两部分组成,软件流程图如图7所示。蓝牙透传初始化程序的设计,目的在于把蓝牙的初始状态逐步设置到系统需要的工作状态。设备与骑行台客户端建立蓝牙连接后,会向骑行台客户端发送速度和功率数据。在发送完一次数据后,只有确保协议栈返回的事件是“发送成功”,发送函数才会进行下一次数据发送,这样就保证了蓝牙数据传输的可靠性。

#### 3.4.2 ANT+通信程序设计

为了更加直观地表示ANT+通信的稳定性,在发送数据和接收数据之前系统会对ANT+进行连接性检查。LED灯点亮的状态表示设备与骑行台之间ANT+保持连接,LED灯熄灭的状态表示设备与骑行台客户端之间ANT+断开连接。若连接性测试没有通过,会上报故障信息。

ANT+通信协议发送数据与接收数据的流程图与蓝牙通信的相类似,软件流程图如图8所示。与蓝牙通信不同的地方在于,ANT+通信不是通过协议栈返回事件来确定上一次数据是否发送成功,而是确认发送函数的返回事件是“没有错误”后,再进行下一次的数据发送。

## 4 实验验证

### 4.1 测试设备说明

基于本文的硬件电路设计制作了印制电路板,并根据硬件和软件的设计搭建了实验平台。整个实验平台包括系统电路板、电源适配器、ANT+接收器、磁铁(通过手

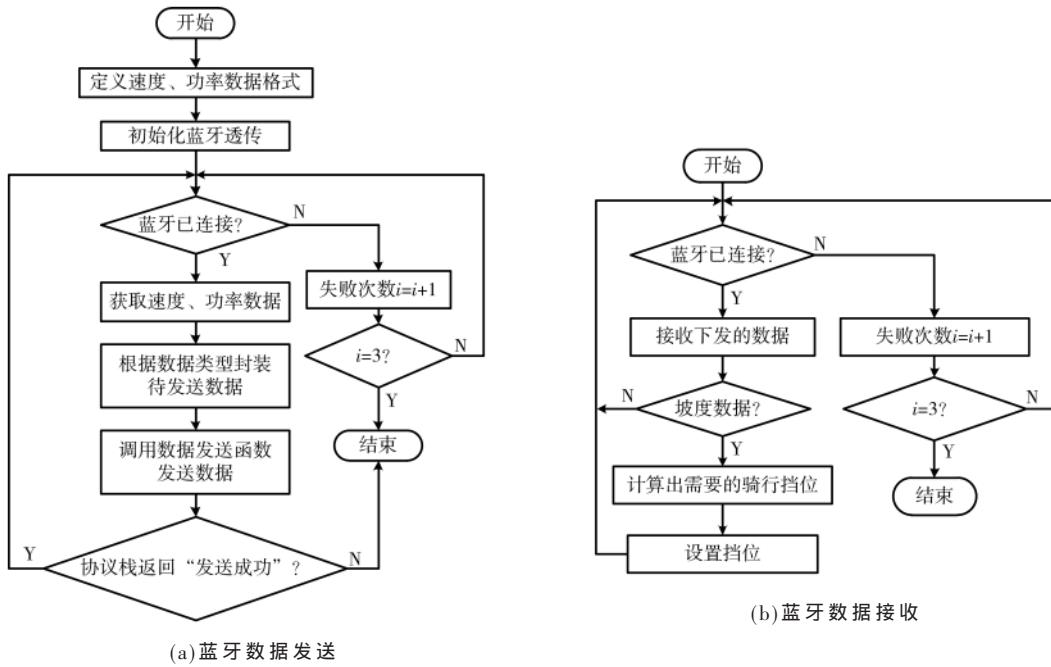


图 7 蓝牙通信程序

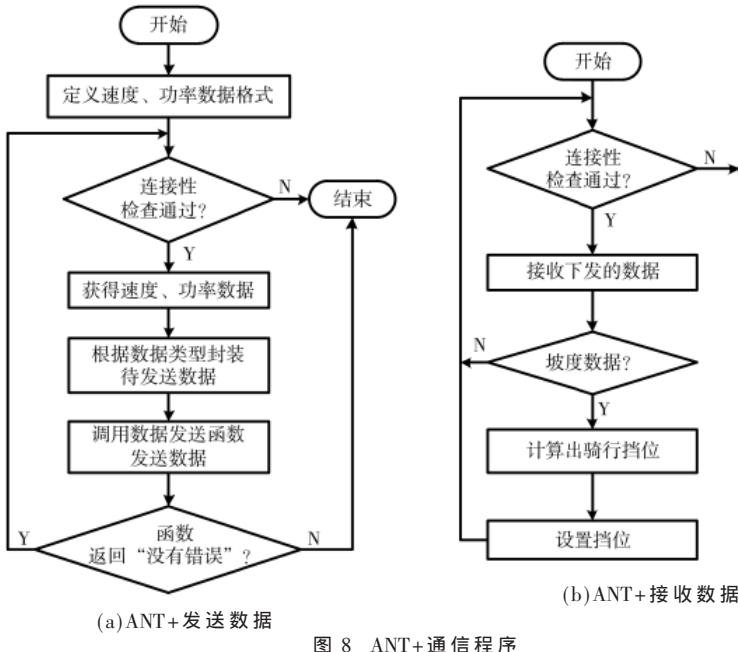


图 8 ANT+ 通信程序

动控制磁铁的运动来达到霍尔传感器切割磁感线的目的)以及第三方骑行台客户端等,设备如图 9 所示。

#### 4.2 蓝牙和 ANT+ 数据传输测试

蓝牙数据传输测试的方法:将电路板上电后,与手机端的 UH Fitness APP 建立蓝牙通信连接,并手动控制磁铁的运动,通过查看手机 APP 上的速度数据与功率数据来判断蓝牙的数据传输是否符合设计要求。

ANT+数据传输测试方法:将电路板上电后,用 ANT+适配器将电路板与 PC 端一款 ANT+ 测试软件之间建立连接。手动控制磁铁的运动,通过查看测试软件上的数据判断 ANT+ 数据传输是否符合设计要求。

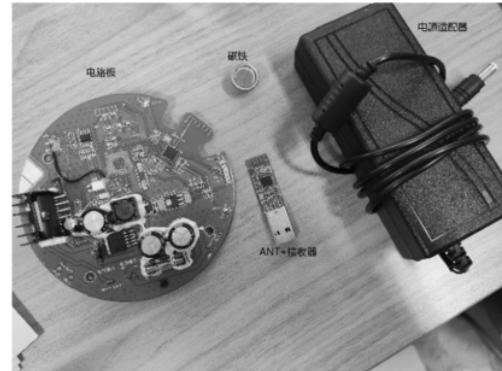


图 9 测试所用设备

#### 4.2.1 蓝牙数据传输测试

蓝牙数据传输测试的实验结果如图 10 所示,从图中可以看到,手机 APP 与电路板之间建立了蓝牙连接。手机 APP 接收到了电路板通过

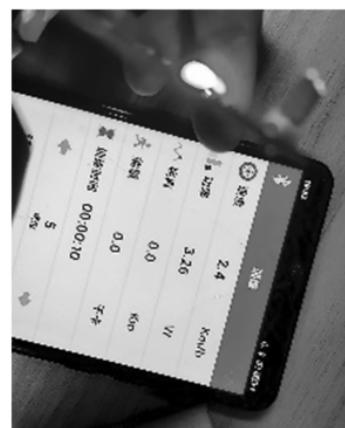


图 10 蓝牙数据传输测试

蓝牙协议发送的实时速度和功率数据。

#### 4.2.2 ANT+数据传输测试

ANT+数据传输测试的实验结果如图 11 所示, 从图中可以看到, PC 端的测试软件与电路板建立了 ANT+ 连接。测试软件接收到了电路板通过 ANT+ 协议发送的速度和功率数据。



图 11 ANT+ 数据传输测试

#### 4.3 骑行台客户端适配验证

骑行台客户端的适配测试选用了两款软件, 分别是 Zwift 和 UH Fitness 的联网版。测试方法如下: 用 ANT+ 适配器与上电的电路板之间建立 ANT+ 通信连接。打开骑行台客户端的虚拟/实景骑行界面, 每隔一段时间手动控制磁铁的运动, 观察客户端界面上显示的数据, 从而确定是否符合设计的要求。

##### 4.3.1 Zwift 软件

从图 12 中可以看到, Zwift 中的虚拟人物处于骑行的状态, 而且画面的左上方也有对应的消耗功率, 中间部分有骑行速度, 该系统适配 Zwift 软件。



图 12 Zwift 软件适配(ANT+)

##### 4.3.2 UH Fitness 软件联网版

从图 13 中可以看到, UH Fitness 联网版中的中间画面的下方也有对应的消耗功率和骑行速度。说明系统适

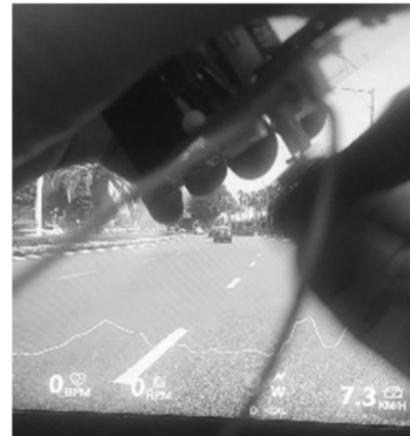


图 13 UH Fitness 软件适配(ANT+)

配 UH Fitness 软件。

#### 4.4 挡位调节验证

挡位调节测试主要是通过万用表量取 H 桥芯片的输出电压来确定是否符合设计要求。测试方法如下: 将电路板上电, 与 UH Fitness 手机端 APP 建立连接后, 由手机 APP 下发挡位信息, 再用万用表量取电压, 从而确定是否符合设计要求。测量结果如表 1 所示。

表 1 挡位调节测试结果

挡位	电压/V	挡位	电压/V
1	36.0	10	-1.5
2	26.0	11	-3.7
3	16.3	12	-5.5
4	13.4	13	-8.7
5	10.2	14	-12.3
6	6.9	15	-19.2
7	4.7	16	-26.4
8	2.6	17	-36.0
9	0.0		

#### 4.5 实验结论

从上述一系列的测试结果可以看出, 蓝牙通信与 ANT+ 数据通信符合预设的设计要求, 而且连接的可靠性和稳定性较高。与不同的骑行台客户端适配性比较好, 磁阻控制模块的输出电压符合预期的设计要求。测试一段时间后, 系统的实时性和可靠性良好, 符合预期的设计。整个设计有效地解决了传统的非智能骑行台骑行功能单一、骑行体验一般的问题。

#### 5 结论

本文设计并实现了基于 FreeRTOS 实时操作系统的嵌入式智能骑行台装置。本骑行系统的设计解决了传统非智能骑行台的功能单一、不能与骑行台客户端进行任何的数据交互的问题。系统在实现基本的骑行功能前提下, 还加入了速度测算与功率拟合程序、蓝牙无线通信程序、ANT+ 无线通信程序、休眠与唤醒程序等功能程

序。下位机与骑行台客户端建立通信连接并分析骑行数据,骑行者可以在虚拟场景中获得与真实场景接近的骑行体验。本系统同时兼容 Zwift 虚拟场景骑行客户端和 UH Fitness 实景骑行客户端,提升了骑行体验。

#### 参考文献

- [1] 王子鑫,许一凡,陈海健,等.沉浸式动感单车系统设计与实现[J].福建电脑,2020,36(6):136-137.
- [2] 单车志.关于骑行台的那些事[EB/OL].[2021-07-22].  
[https://www.sohu.com/a/341578523\\_402114/](https://www.sohu.com/a/341578523_402114/).
- [3] Tacx.Tacx Galaxia-T1100[EB/OL].[2021-07-22].  
<https://tacx.ru/products/velosipednyj-stanok-rollernyj-tacx-galaxia-t1100/>.
- [4] Cycleops.Cycleops fluid2[EB/OL].[2021-07-22].  
<https://www.cycleops.com/product/fluid2/>.
- [5] MAGENE.MAGENE T300[EB/OL].[2021-07-22].  
[http://www.magene.cn/T300.html/](http://www.magene.cn/T300.html).
- [6] UHfitness.UHfitness U5 SMART[EB/OL].[2021-07-22].  
<http://uhfitness.com/more.php?id=6&lm=7/>.
- [7] REHMAN M,MUHAMMAD A B S,ATEEQ U R,et al.Comparative performance analysis of short-range wireless protocols for wireless personal area network[J].Iran Journal of Computer Science,2021,1-10.
- [8] 张琥石,林伟龙,黄向军,等.基于蓝牙的物联网多生理参数监测系统[J].物联网技术,2021,11(3):10-13.
- [9] HAWELIKAR M,TAMHANKAR S.A design of Linux based ZigBee and Bluetooth low energy wireless gateway for remote parameter monitoring[C]//IEEE International Conference on Circuits,Power and Computing Technologies,2015:1-4.
- [10] NADEEM Q M,ROSARIO C,LEONARDO M.An ontology driven software framework for the healthcare applications based on ANT+ protocol[C]//IEEE Internation Conference on Advanced Information Networking and Application Work-
- shops,2014,48(1):245-250.
- [11] 赵威,孙绍辉,曹勇.基于超低功耗无线通信技术的电子墨水标签显示系统研究[J].电力信息与通信技术,2018,16(4):54-58.
- [12] 李立,朱秋君,单志林,等.ANT 低功耗无线网络设计[J].物联网技术,2013,3(6):57-61.
- [13] FEI G, LONG P, LUC P, et al. Open source FreeRTOS as a case study in real-time operating system evolution[J]. The Journal of Systems and Software, 2016, 118: 19-35.
- [14] 张文亮,田沛,刘晖,等.基于 FreeRTOS 的 lwip 协议栈的移植与测试[J].自动化技术与应用,2015,34(11):25-29.
- [15] 刘迎澍,杨珂,丁纬航.基于 FreeRTOS 的智能用电监控系统[J].电子设计工程,2017,25(21):157-160.
- [16] 李韩军,张宜军,赵行明,等.基于蓝牙 4.0 技术的智慧门禁系统的研究[J].自动化与仪器仪表,2019(6):65-68.
- [17] 李锋.磁敏传感器发展综述[J].黑龙江科学,2021,12(2):30-31.
- [18] 刘国兰.基于霍尔元件的测速装置设计[J].电子技术,2017,46(6):40-42.
- [19] 赵丹丹,陆剑.基于 A3144E 无线测速系统设计与开发[J].自动化技术与应用,2014,33(10):70-74.
- [20] 张强.智能骑行台嵌入式实时控制系统的应用与实现[D].杭州:浙江工业大学,2019.

(收稿日期:2021-07-22)

#### 作者简介:

禹鑫焱(1979-),男,博士,副教授,主要研究方向:嵌入式、工业机器人控制。

赵嘉楠(1996-),男,在读研究生,主要研究方向:嵌入式、工业物联网。

应皓哲(1996-),男,在读研究生,主要研究方向:嵌入式、工业物联网。



扫码下载电子文档

(上接第 83 页)

- [8] 杨春玲,左令.基于 FPGA 的通用光纤通信系统设计[J].电子技术应用,2020,46(9):110-113,117.
- [9] 陈勇.一款高性能数字音频处理器的设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2018.

(收稿日期:2021-07-27)

#### 作者简介:

张皓然(1993-),男,硕士研究生,工程师,主要研究方向:FPGA 设计。

万书芹(1977-),女,博士研究生,高级工程师,主要研究方向:数字算法研究。

蒋颖丹(1983-),女,博士研究生,高级工程师,主要研究方向:射频电路设计。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所