

船模控制实验系统设计与实现

李真, 余善恩, 孙伟华

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 目前自动化相关专业的课程实验大部分为课内实验且相互独立,不利于学生综合的掌握系统的架构、工作原理、指令、编程技术和实际应用。为此,设计了一套遥控船模控制实验系统。该系统包括上位机软件和船模两部分。上位机通过手机 APP 来远程发送控制指令,船模接收信号发给单片机,通过单片机的处理,控制电机等器件的工作来控制船模前进,后退和转弯等。该系统是一个综合性的实践平台,通过其设计与使用,学生可以更好的了解自动控制原理、单片机、无线通信、程序开发等相关方面的课程。

关键字: STM32F103 单片机;无线通讯;自动控制

Design and implementation of ship model control system

Li Zhen , Yu Shanen, Sun Weihua

(College of automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018,China)

Abstract: At present, most of the course experiments of automation related majors are in class experiments and independent of each other, which is not conducive to students' comprehensive mastery of the system architecture, working principle, instructions, programming technology and practical application. Therefore, a set of remote control ship model control experimental system is designed. The system consists of upper computer software and ship model. The upper computer sends the control command remotely through the mobile phone app, and the ship model receives the signal and sends it to the single chip microcomputer. Through the processing of the single chip microcomputer, it controls the work of the motor and other devices to control the forward, backward and turning of the ship model. The system is a comprehensive practice platform. Through its design and use, students can better understand the courses of automatic control principle, single chip microcomputer, wireless communication, program development and so on.

Keywords: STM32F103 single chip microcomputer; wireless communication; automatic control

1 引言

自动化专业是信息行业的宽口径专业,理论知识抽象,实践操作能力的要求高。目前自动化等相关专业的实验大部分为课内实验,占比学时较少,并且实验课之间相互独立,学生不能将各门课程衔接起来,综合掌握所需要的专业知识,不能达到专业课程之间融会贯通、综合应用的教学目标。不利于对控制原理的全面理解与掌握,实验效果并不理想。为解决以上问题,设计了一个船模控制实验系统,该系统以传感器检测、运动控制、自动控制等课程为基础,将自动化专业基础课程里所包含的实践知识相融合,为学生将来在工作中,能够解决复杂工程问题打下实践基础^[1]。

在设计过程中,考虑到目前智能设备使用率十分高,而且已经有公司将手机端与自动化产品相结合并有不错的社会反响,比如深圳市大疆创新科技有限公司开发的智能无人机便将无人机与手机端结合,自行开发手机 APP 来控制无人机的飞行,而且用户体验十分好。因此本设计也考虑将船模与手机端结合,利用手机来控制船模的状态,使自动化产业与手机开发相融合,以此来激发学生对于自动控制原理、程序开发等课程的兴趣^[2]。

2 系统总体设计

本设计采用手机端远程遥控的方式来控制船模的具体状态,包括前进、后退、加速、减速、左转、右转。整个系统分为两个部分。第一部分为上位机,也就是手机端,在 Android 平台开发一个简易 APP,利用手机蓝牙与下位机船模进行通信,发送控制指令。当船模上的单片机接受到来自手机端的控制指令时,会进行判断其功能,然后改变输出的 PWM 波,进而控制船速达到效果。船模是由船身、主控板、电机驱动、两个电机以及船桨构成。组成方式则是将主控板、电机驱动板和电机固定在船身上,然后引出船桨,便可以下水航行,如图 1 所示。第二部分为下位机,即船模。在船模上采用 STM32F103RB 芯片来作为主控的芯片,通过电机驱动来控制电机,带动船桨工作,并通过蓝牙模块来接收并实现手机端发送的控制命令^[3]。

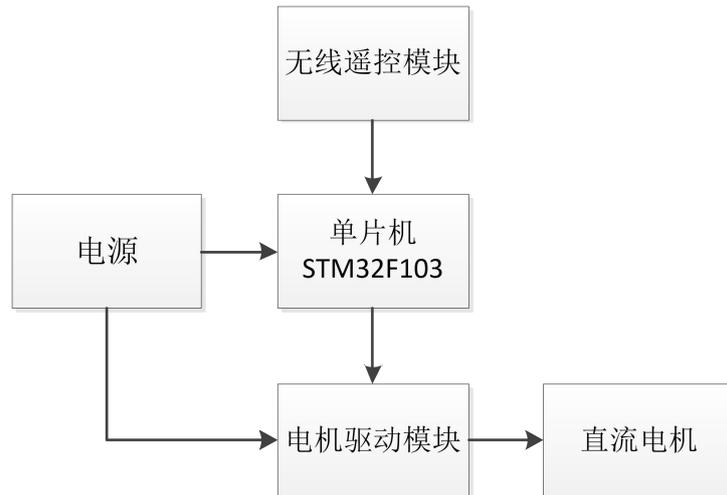


图1 船模实验系统结构图

3 船模硬件设计

硬件设计中主要包括 MCU、电机驱动模块、蓝牙模块和电源模块。其中下位机将采用 STM32F103 来作为 MCU，用来控制船模上电机的转速。而整个单片机系统需要稳定的电源供电，所以采用 AMS1117 稳压芯片使其稳定输出 3.3V，为 STM32 提供的稳定电压。蓝牙模块采用 HC-05，该模块功耗低，性能高，成本低，优势明显^[4]。

(1) 主控芯片模块设计

本次设计要用到 STM32 单片机，决定采用 STM32 的最小系统。STM32 的最小系统结构简单，性能稳定，工作电压为 3.3V。它的工作频率最高为 72MHz，内部为拥有的资源包括 64KB SRAM、512KB FLASH、2 个基本定时器、4 个通用定时器、2 个高级定时器、3 个 SPI、2 个 IIC、5 个串口、1 个 USB、1 个 CAN 和 112 个通用 I/O 口。

采用 AltiumDesignerSummer9 软件画出其原理图如 2 所示，包括：STM32 芯片电路，晶振电路，下载器、OLED、串口通信和电源电路。芯片、电源和晶振电路是最基本的单片机组成。下载器电路是方便使用 J-LINK 来下载和调试。OLED 电路的设计是为了便利调试，可以直接观看信息。串口电路则是无线通讯的重要电路，保证单片机可以受远距离无线通信。本次实验要用到 ISP 下载模块，PWM 模块，USART 模块，TIMER 模块，也全部都可以在 STM32 的最小系统板上实现^[5]。

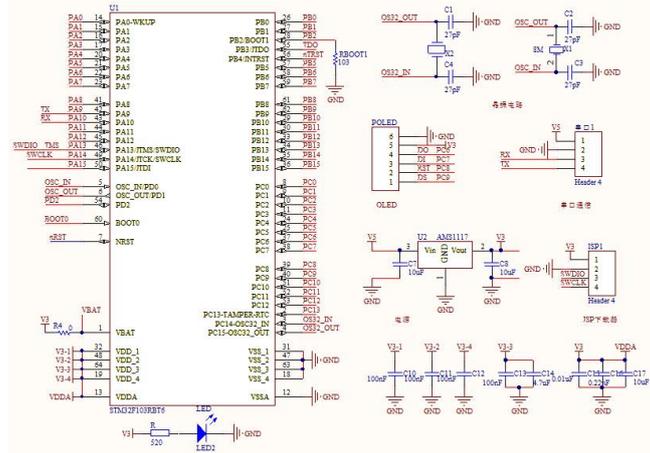


图 2 STM32 原理图

(2) 电机驱动模块

驱动是整个遥控船模的核心。实验要想成功，必须有着一个强劲的驱动，这样的话，才能带动整个重量不轻的船模。最重要的是，必须带动两个大的直流电机，才能控制船模的运动。因此，驱动的设计尤为重要。电机驱动采用 MOS 管搭建 H 桥电路。MOS 管是用栅极电压来进行控制漏极电流的，因此它的明显的特点就是驱动电路不难，所需的驱动功率不大。其次，它的工作频率高，开关速度快，电流容量小，耐压低。驱动电路的设计参考了电力电子中的桥式可逆斩波电路。本次实验需要电动机进行正反转，所以要将两个可逆斩波电路组合起来，分别给电动机提供正向和反向电压，即为桥式可逆斩波电路^[6]。

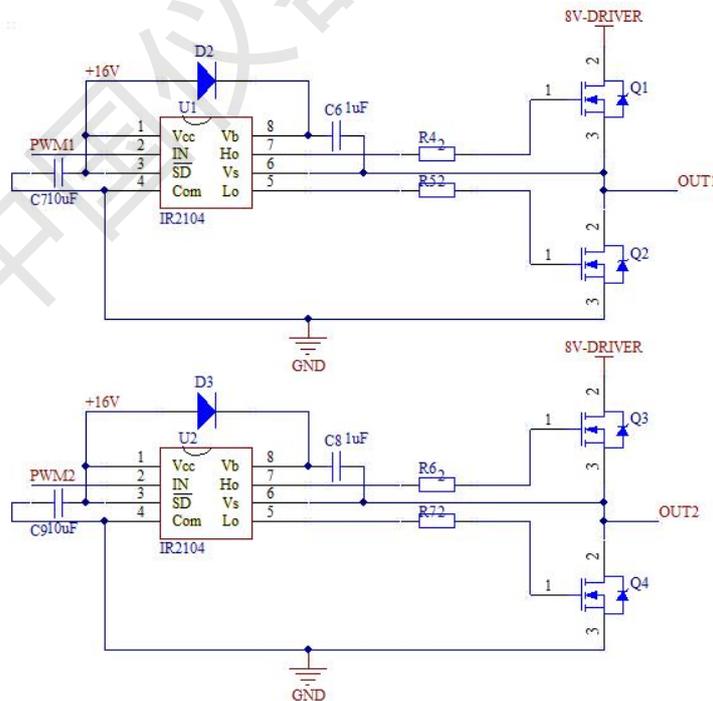


图 3 单 MOS 管驱动电路

根据 H 桥电路原理，本次实验驱动模块选用 4 个 MOS 管搭建。MOS 管的导通与关断需要根据电机的转动方向来进行控制，所以需要选择驱动器来根据 PWM 进行相应的控制。电路原理图如图 3 所示，本次实验需要两个电机来进行控制，因此需要两个图 3 所示电路，设计的思路是相同的。本设计 MOS 的驱动芯片为 IR2104，MOS 的型号采用的是 F2804S。如图 3 所示，PWM1 和 PWM2 为两个输入端，本设计给 PWM1 端提供 PWM 波，PWM2 端接地，可以驱动电机的运作。因为是 H 桥电路，所以改变两个输入端的电压极性，相互交换即可改变电机的运作方向。这种驱动电路方便改变电机的运转方向，适合进行各种调速任务。

(3) 电源模块设计

船模遥控系统能否运行的关键就在于电源模块。因此，电源模块的设计至关重要。遥控船模需要在水中航行，因此电源的容量要大，或者充电速度要快。同时本设计的电机采用的是大电流电机，水中航行阻力也比较大，需要给负载提供大电流大功率。因此选择镍镉电池作为船模的总供电电源。镍镉电池可以进行 500 次以上的充放电，使用次数多，价格便宜。同时它的内阻比较小，可以快速充电，且可为负载提供大电流，同时放电时电压变化很小。因此选为直流供电电源。本次实验，本设计有两处地方需要供电，因此所需的电源模块有两处：分别为单片机的 5V 供电和驱动电路的 16V 电压供电。所选镍镉电池提供电压为 8V 左右，所以本设计需要分别设计一个降压稳压电路和升压电路来满足毕业设计的电源供给需要^[7]。

如图 4 原理图所示，STM32 需要 5V 进行单独供电，因此本设计选择采用 LM1117 芯片进行稳压，其可以稳定输出 5V 电压。LM1117 是一种三端可调或固定电压的线性电源芯片，输出电流最大可达 800mA，输入输出端的最小压差为 1.2V，广泛应用于电池充电管理系统、笔记本电源管理、电池供电仪表等设备上。本设计的 LM1117 芯片电路可以设计在一块主板上，同时设计将 STM32 最小系统插在此块主板上进行供电和引出引脚。镍镉电池将直接对此主板进行供电。

如图 5 所示驱动升压电路，将使用 LM2577 作为升压芯片，将镍镉电池提供的 8V 电压升压到 16V 左右，保证 MOS 管彻底导通，带动驱动运行。LM2577 是一个集成芯片电路，能够提供所有的电源和控制的功能：升压，反激式和正激变换器的开关稳压器。LM2577 有着广泛的输入电压范围：3.5V 到 40V。拥有着 52KHz 的内部振荡器。同时它的输出还有着保护电流限制，欠压锁定和过热保护，因此安全性能有保证。如图 4 所示，升压电路的计算公式为：

$$(1) \quad V_{OUT} = \left(\frac{R1}{R3} + 1 \right) \times 1.23$$

由式（1）可见，计算得本设计选择 R1 和 R3 分别为 120K 欧姆和 10K 欧姆，这样得到的稳压值大概为 16V 左右，符合本次设计的要求，可以为驱动电路供电。至此，本设计的电源模块两大部分设计完毕。

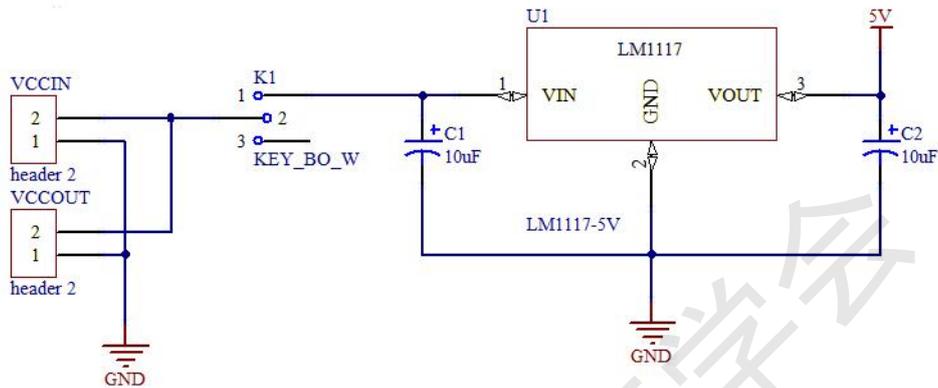


图 4 STM32 供电电路

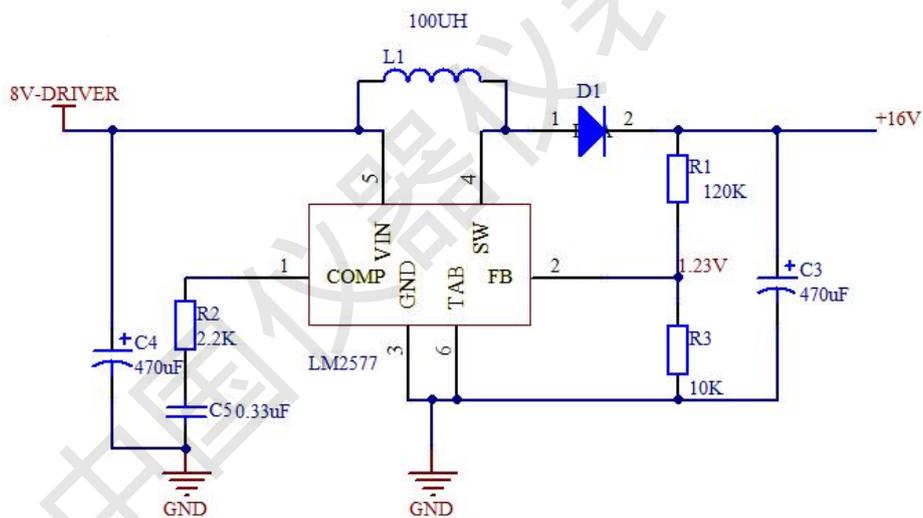


图 5 驱动升压电路

(4) 无线通讯模块

由于所设计的船模是不停的在水中运动着，并且船模和遥控者相距的比较远。所以船模和手机上位机之间，选择采用无线通讯的方式来传递控制信号和操作指令。本次设计选用的是 HC-05 蓝牙模块。此模块自带 2.4GHz 天线，工作电压为 3.6V-6V。本模块引出 6 个引脚：分别为 EN/VCC/GND/RXD/TXD/STATE。本次试验中，只需要使用 4 个引脚即可。其中 VCC 和 GND 引脚由 STM32 最小系统来进行供电，蓝牙模块的 RXD 和 TXD 引脚分别接 STM32 最小系统的 TXD 和 RXD 引脚，即可实现数据无线传输。连接方式如图 6 所示。此模块在

配对成功后，是作为全双工串口使用，支持 8 位数据位、1 位停止位、无奇偶校验^[8]。

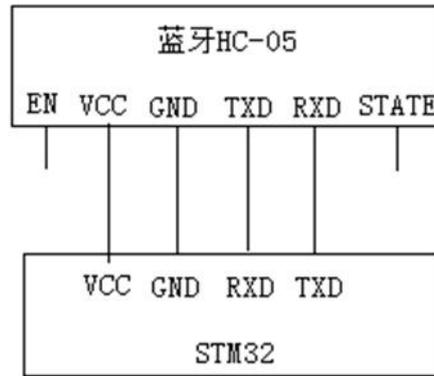


图 6 蓝牙连接图

4 软件设计

4.1 船模软件设计

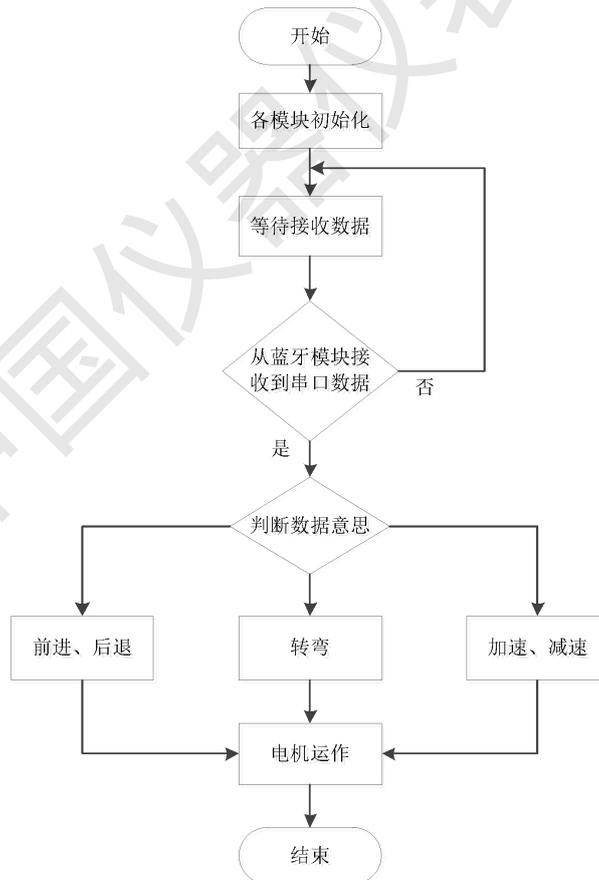


图 7 船模软件设计流程图

STM32F103 需要程序编写才能进行控制，该程序编写是在 KEIL4 的编程环境下完成的，程

序中需要让单片机接受到手机端发送的数据并对这些数据进行判断，然后执行操作，还有针对不同的操作输出不同 PWM 波给电机驱动，令电机产生不同的动作，达到控制目的，同时在调速过程中还需要 PID 的整定来更好的达到要求效果。

具体的软件设计流程如图 7 所示，主函数里要调用本设计编写好的各个模块（如通信模块，PWM 输出模块等）的初始化函数。同时还要编写程序运行的主体函数，包括蓝牙指令接收等待函数，指令选择函数，根据不同的指令 PWM 波占空比配置函数，包括在调试阶段所要使用 OLED 显示函数等等。本设计首先在主函数里初始化系统时钟、延时函数、串口、GPIO 和 PWM 等。紧接着进入到循环函数，在这个函数里需要不停的检测单片机的蓝牙是否收到了数据，如果收到了数据，需要对收到的数据进行判断。判断数据所代表的指令意义是什么，然后选择事先设定好的 PWM 输出函数来改变占空比，控制电机的正反转，实现前进后退转弯加减速等一系列的动作，直到发送停止命令，电机停止运转，程序回到等待接收函数处继续循环等待。另外还可以在 OLED 上进行显示 PWM 波数据，方便本次设计的调试^[9]。

4.2 手机软件设计

本设计上位机采用 JAVA 语言设计，利用 Android Studio 编程环境进行构建手机 APP，使其完成其控制功能，通过蓝牙模块来向下位机发送控制命令并执行，最终实现船模的前进、左转、右转等功能。手机 APP 整体流程图如图 8 所示。

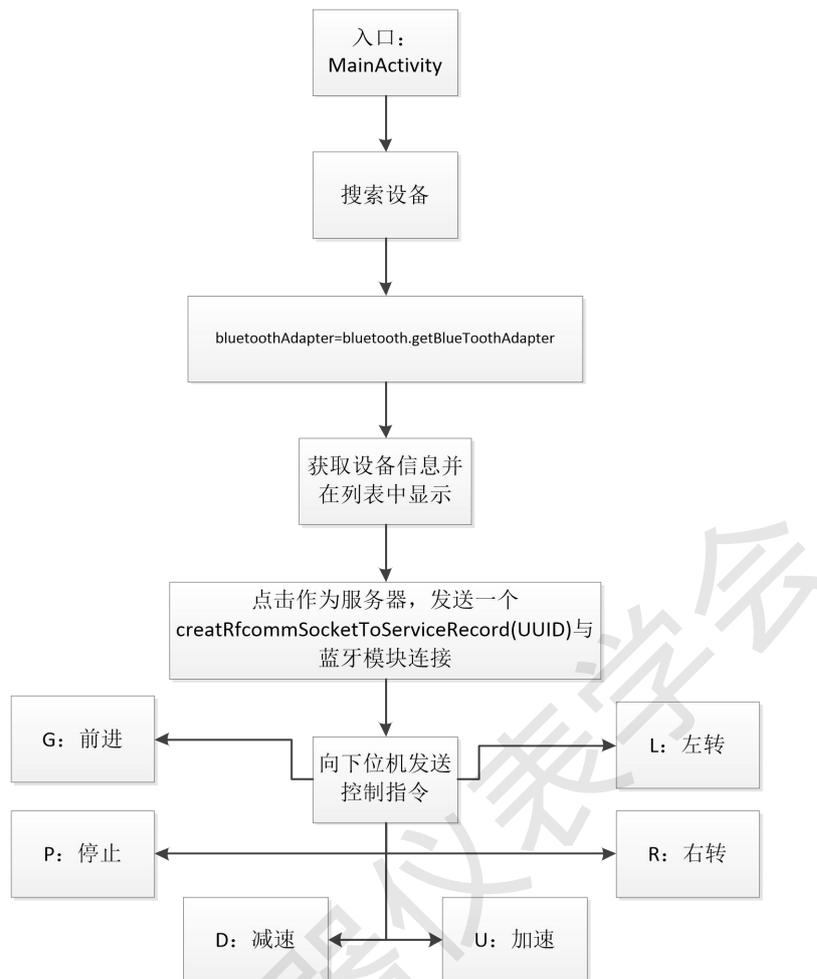


图8 手机APP整体设计流程图

5 系统调试

完成遥控船模系统的硬件和软件设计后，将硬件设备组装到了船模型上面，并且下载了调试所需的程序之后，准备进行调试。在组装之前，首先对于硬件的稳定性进行了试验。通过编写的蓝牙测试通信程序，确保蓝牙模块可以和手机的APP上位机互相发送数据。紧接着测试了单片机的最小系统是可以正常下载和运行程序的。然后通过电源和方波产生器测试了电机驱动的性能。通过对驱动提供7.2V的稳定直流电，驱动控制端输入占空比20%的方波，发现电机可以正常运转。同时改变方波的占空比，发现电机可以相应的改变转速，同时显示的电流值在允许范围内，驱动MOS管发热不明显，硬件基本正常，可以使用。最后将几个硬件模块连接在一起，通过镍镉电池对主板供电，发现所有模块使用正常，整体实物图如图9所示。手机上位机APP设计页面如图10所示。



图9 船模最终实物图



图10 手机软件界面

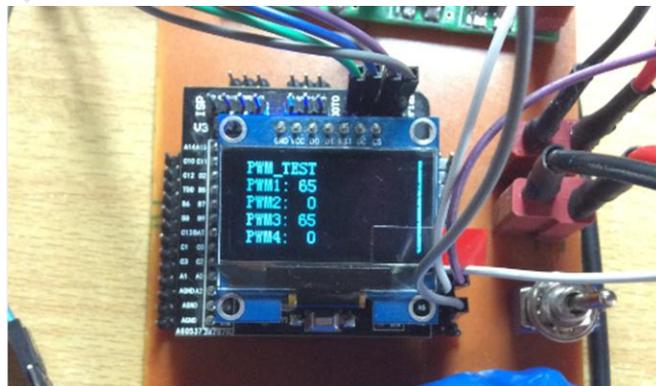


图11 OLED显示

如图11所示，为了方便调试，在程序中编写了OLED的显示程序，来显示当前所设置

的 PWM 波的占空比。通过 OLED 来显示占空比，可以方便对于船模实时电机的运转速度和情况进行直观的了解，便于调试。在调试过程中总共需要 4 路 PWM 波来控制两个电机的正反转，所以显示这四路 PWM 波的占空比值。其中，PWM1 和 2 控制一个电机，PWM3 和 4 控制另一个电机。交换 1 和 2、3 和 4 的 PWM 输出，即可以改变电机的运转方向。调试阶段，通过手机的 APP 软件向单片机发送数据“G/n”，单片机接收到数据后，OLED 显示屏将会显示“PWM1=65, PWM3=65”，此时船模的两个电机将会同时启动，并且保持运转。此时发送的命令就是控制船模前进。同理，当发送命令行“P/n”时，单片机接收到后将会显示“PWM1=0, PWM3=0”，此时两个电机将会立即停止。发送的指令意思为停止前进。用手机依次向单片机发送了指令“R/n, L/n, B/n, U/n 和 D/n”，单片机都接收到了数据，并且都产生了相应的动作：右转，左转，后退，加速和减速。调试基本完成，并且达到了设计的目的^[10]。

6 结语

设计了一个船模控制实验系统，该实验系统的使用能够帮助学生建立完整的控制基础实验应用体系，有效地锻炼了学生解决自动化领域中所涉及的复杂工程问题的能力。本设计通过手机的 APP 发送数据字符，通过船模和手机的蓝牙无线通讯，单片机可以接收到手机发送的数据，并且能够根据手机发送的指令来前进、后退以及转弯，完成相应的动作。同时船模还能与手机进行交互，实现手机发送的停止、加速和减速的指令。通过本设计的陆上调试以及水中的实际测试结果表明：船模可以在水中比较稳定的漂浮和运行，实现了控制目标。通过本系统的使用，使学生能够较为综合的掌握控制系统的架构、原理、指令、以及软件编程等知识。

参考文献:

- [1] 袁野. 无人船试验平台设计与实现[D].上海: 上海交通大学,2018.
- [2] 吕强,王平,张皓洁.独轮车自平衡控制系统实验平台设计[J].实验室研究与探索,2017,36(07):35-38.
- [3] 张国胜. 基于蓝牙自配对的 Android 遥控系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [4] 管玉龙. 船模航行参数测试系统设计[D]. 上海: 华东理工大学, 2012.
- [5] 张凤花. 水上环境监测中的移动平台控制系统设计[D].大连: 大连海事大学,2016.

- [6] 余善恩,李真.气浮球控制实验系统的设计与应用[J].实验室研究与探索,2017,36(06):84-87.
- [7] 王飞,吴小峰.风洞舰船模型运动控制系统设计与开发[J].实验室研究与探索,2019,38(12):89-93.
- [8] 谈敏,刘高平,陈红良.基于手机蓝牙接口的小车遥控系统[J].浙江万里学院学报,2012,25(4):77-80.
- [9] 黄丽雯,韩荣荣,宋江敏.基于 Arduino/Android 的语音控制小车设计[J].实验室研究与探索,2015,34(12):53-56.
- [10] 王喜平.小型无人艇自航自控船模试验[J].水雷战与舰船防护,2015,23(2):39-50.

中国仪器仪表学会