

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)04-0069-05

基于树莓派的水下航行器通用遥控器设计

石杰,王帅,朱恩照,白俊,邓蕾

(昆明海威机电技术研究所(有限公司),云南昆明650200)

摘要:针对当前水下机器人控制系统普遍存在的专用性强、通信方式单一、扩展与移植困难等问题,设计并实现了一套基于树莓派4B硬件平台与Ubuntu Mate 20.04操作系统的通用型水下航行器通用遥控器,旨在解决现有自主水下机器人(autonomous underwater vehicles, AUV)与遥控水下机器人(remotely operated vehicles, ROV)在不同水域、不同通信方式及便携携带等方面的应用需求。系统采用了树莓派4B处理器及Ubuntu Mate 20.04操作系统,并整合了4G、Wi-Fi、北斗、短波、LAN口及RS485接口等多种通信模块,利用QT开发平台设计了灵活的用户交互方式,集成了任务规划、航行监控、数据回显与分析等多项功能。实现了AUV的航行参数预置、水面航行控制、水下航行控制、数据回放分析、产品调试及ROV的航行控制等功能。测试结果表明,该系统具有良好的硬件兼容性、通信适应性和操作友好性,能够为不同类型、不同任务要求的水下机器人提供一体化的控制解决方案,具有较高的实用价值与推广前景,为水下装备的智能化、通用化发展提供了有效的技术支撑。

关键词:机器人;水下航行器;QT开发平台;树莓派;遥控;航行

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-7241(2026)04-0069-05

Design of universal remote control for underwater vehicles based on Raspberry Pi

SHI Jie, WANG Shuai, ZHU Enzhao, BAI Jun, DENG Lei

(Kunming Haiwei Institute of Mechanical & Electrical Technology Co., Ltd., Kunming 650200, Yunnan, China)

Abstract: In response to the prevalent issues of strong specialization, single communication methods, and difficulties in expansion and portability in current underwater robot control systems, this paper designs and implements a universal remote controller for underwater vehicles based on the Raspberry Pi 4B hardware platform and the Ubuntu Mate 20.04 operating system. It aims to address the application requirements of existing autonomous underwater vehicles(AUVs) and remotely operated vehicles(ROVs) in different water environments, various communication methods, and portability. The system adopts the Raspberry Pi 4B processor and the Ubuntu Mate 20.04 operating system, and integrates multiple communication modules such as 4G, Wi-Fi, Beidou, shortwave, LAN port, and RS485 interface. Using the QT development platform, a flexible user interaction interface is designed, integrating multiple functions such as mission planning, navigation monitoring, data playback, and analysis. It achieves functions including AUV navigation parameter presetting, surface navigation control, underwater navigation control, data playback analysis, product debugging, and ROV navigation control. Tests show that the system exhibits good hardware compatibility, communication adaptability, and user-friendly operation. It can provide an integrated control solution for different types of underwater robots with varying mission requirements, demonstrating high practical value and promotion prospects. This offers effective technical support for the intelligent and generalized development of underwater equipment.

Keywords: Robot; underwater vehicle; QT development platform; Raspberry Pi; remote control; navigation

水下航行器目前主要包括无人自主水下航行器(AUV)和无人遥控潜水航行器(ROV),针对其使用场景,主要包括陆地调试、水面航行、水下航行及数据回放分析几个过程,目前大部分水下航行器产品均采用多个配套设备共同完成上述功能,降低了产品使用的灵活性及便利性,基于上述应用背景,集成多种通信接口的通用型遥控器可广泛应用于各类水下航行器。

1 系统总体设计

该文系统主要通过遥控器各类不同信息传输通道及

人机交互单元实现对水下航行器的操作控制及状态监控功能^[1],遥控器主要实现以下功能:

1) 实现遥控器与水下航行器的4G、Wi-Fi、短波、北斗短报文等无线通信,实现遥控器与水下航行器LAN口、RS485等有线通信。

2) 实现AUV水面控制、水下监听、陆上调试、参数预置及数据回放功能。

3) 利用按键、触摸屏及摇杆实现ROV水下运动控制功能。

遥控器总体系统设计见图1。

收稿日期:2024-06-02;录用日期:2024-07-16

作者简介:石杰(1986—),男,硕士研究生,研究方向:水下航行器总体电路系统。

引用本文:石杰,王帅,朱恩照,等.基于树莓派的水下航行器通用遥控器设计[J].自动化技术与应用,2026,45(4):69-72,96.(SHI Jie, WANG Shuai, ZHU Enzhao, et al. Design of universal remote control for underwater vehicles based on Raspberry Pi[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026,45(4):69-72,96.)

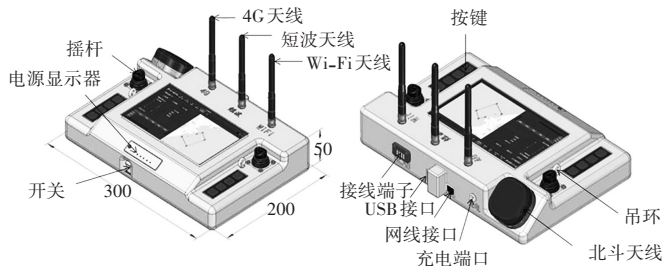


图1 遥控器总体设计图

Fig. 1 Overall design diagram of the remote controller

2 系统硬件设计

通用型遥控器主要由主控树莓派模块、STM32 下位机模块及供电电源模块组成^[2],系统硬件连接示意图见图2。

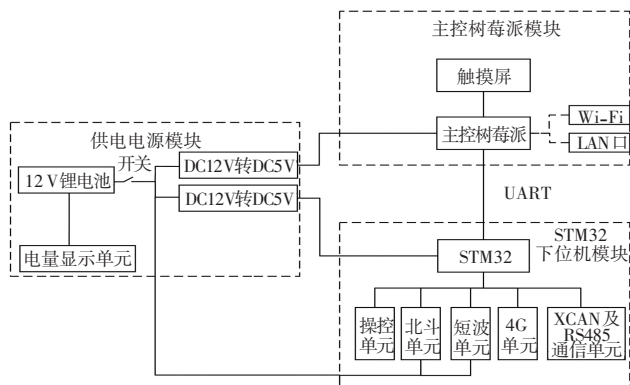


图2 系统硬件连接示意图

Fig. 2 Hardware connection diagram of the system

主控树莓派模块通过 UART 实现与 STM32 下位机模块信息交换,并通过显示屏实现人机交互,同时具备 Wi-Fi 及 LAN 口通信功能。

STM32 下位机模块通过串口 (UART) 实现与主控树莓派模块通信,并可通过 4G 单元、短波单元、北斗单元、RS485 及 CAN 通信单元实现遥控器与水下航行器的通信,同时可采集操作单元(按键及摇杆)数据^[3],实现人机交互完成对水下航行器的运动控制。

供电电源包括供电电池及电压转换模块,同时具备电量显示。

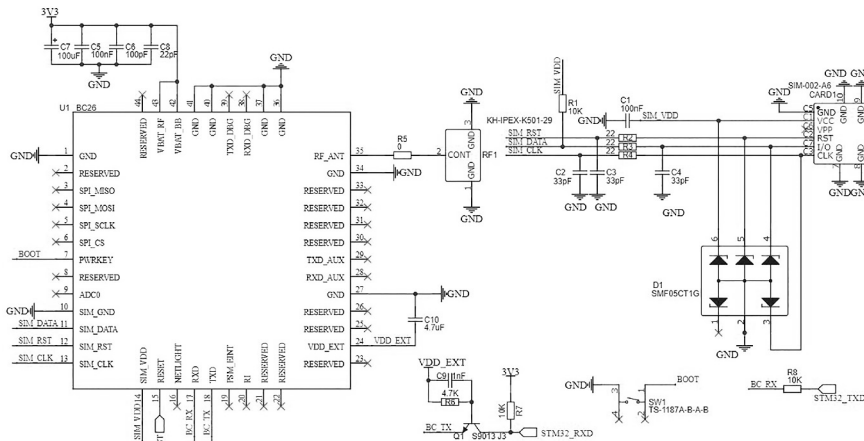


图5 4G单元硬件设计

Fig. 5 Hardware design of the 4G module

2.1 主控树莓派模块硬件设计

主控树莓派模块采用树莓派 4B 作为主控计算机,其具有 8 G 内存、128 GSD 卡,同时具备无线 2.4/5.8 GHz 双频 Wi-Fi 及千兆网络接口。显示屏采用 7 寸电容触摸屏,分辨率 1 024×600 像素,最高亮度 440 cd/m²。主控树莓派模块内部连接示意图见图3。

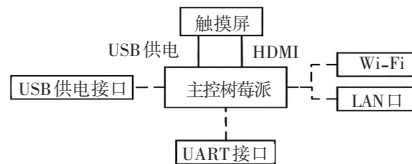


图3 主控树莓派模块内部连接示意图

Fig. 3 Internal connection diagram of the master control

Raspberry Pi module

2.2 STM32 下位机模块硬件设计

STM32 下位机模块主要实现与主控树莓派模块及水下航行器之间的信息交互,同时采集操作单元数据实现对水下航行器的运动控制。该模块主控单元采用 STM32F407VET6 为主控芯片^[4],除最小系统外主要包括 4G 单元、北斗单元、短波单元、操作单元、RS485 及 CAN 通信单元^[5]。该模块内部连接示意图见图4。

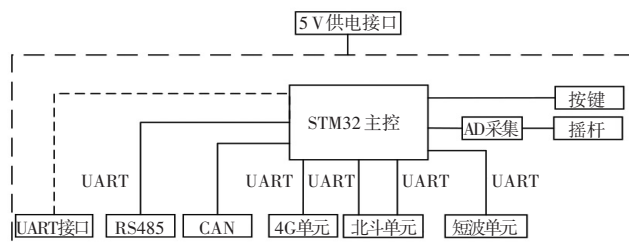


图4 STM32下位机模块内部连接示意图

Fig. 4 Internal connection schematic of the STM32

subordinate module

2.2.1 4G 单元硬件设计

4G 单元主要实现产品在内湖试验条件下遥控器与产品远距离信息交互^[6]。4G 模块采用 NB-IoT 模块 BC26 模块,STM32 通过 UART 口对其进行通信控制,硬件原理设计图见图5。

2.2.2 北斗单元硬件设计

北斗单元采用博纳雨田的 TM8650 实现北斗/GPS 定位,并能实现北斗短报文的收发功能。其通过 STM32 主控芯片的两路 UART 控制,并采用锂电池的 12 V 电源供电^[7],硬件原理设计图见图 6。

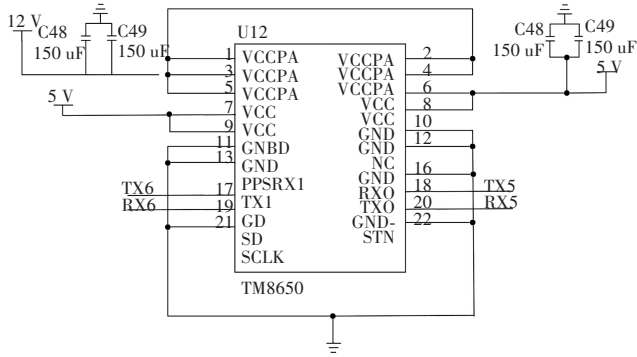


图 6 北斗单元硬件设计

Fig. 6 Hardware design of the Beidou module

2.2.3 短波单元硬件设计

短波单元采用易佰特 LoRa 无线模块 E22-400T30S,该模块通过 STM32 主控芯片的 1 路 UART 控制,并采用 5 V 电源供电。通过该模块可实现遥控器与产品间 5 km 距离内的无线通信,主要用于 4 G 信号较弱使用环境下的信息交互^[8],硬件原理设计图见图 7。

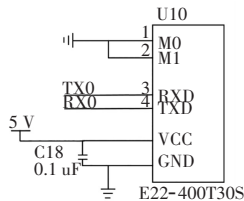


图 7 短波单元硬件设计

Fig. 7 Hardware Design of the Short-Wave Module

2.2.4 RS485 及 CAN 通信单元硬件设计

RS485 通信接口通过 STM32 主控芯片的 UART 串口与 RSM485CT 集成隔离芯片,实现遥控器与外部产品的高可靠性通信。CAN 通信接口采用 CTM8251D 隔离芯片,并通过 STM32 主控芯片内部 CAN 控制器完成 CAN 通信接口设计。RS485 及 CAN 通信单元硬件设计原理图见图 8。

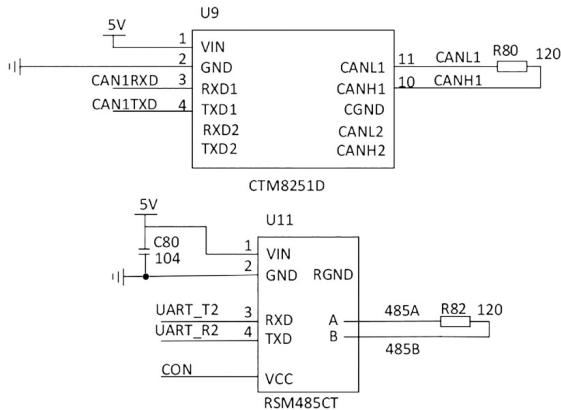


图 8 RS485 及 CAN 通信单元硬件设计原理图

Fig. 8 Hardware design schematic of the RS485 and CAN communication module

2.2.5 操作单元硬件设计

操作单元包括 8 路按键输入和 2 路 AD 摇杆数据采集,按键主要用于触摸屏基本功能选择,摇杆主要用于水下航行器运动控制。其中按键采用 I/O 口高低电平检测方式,摇杆采用 ADS1232 双通道 24 位高精度模数转换芯片采集摇杆数据^[9],操作单元电路原理硬件设计原理图见图 9。

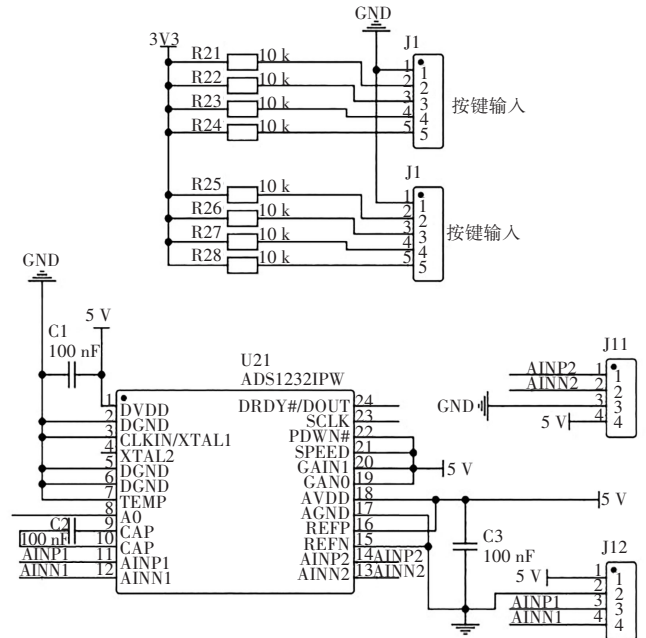


图 9 操作单元硬件设计

Fig. 9 Hardware design of the operating module

2.3 供电电源模块硬件设计

供电电源模块主要通过两路 DC12V 转 5V 模块分别输出给主控树莓派模块及 STM32 下位机模块,其中主控树莓派模块采用金升阳隔离电源模块 URB2405LD-50WR3G,输出功率 50 W,STM32 下位机模块采用金升阳隔离电源模块 URB2405LD-50WR3G,输出功率 20 W。供电电源模块硬件设计示意图见图 10。

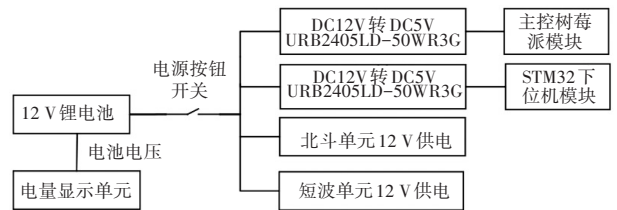


图 10 供电电源模块硬件设计示意图

Fig. 10 Hardware design schematic of the power supply module

3 系统软件设计

遥控器采用 QtCreator 开发编译平台,使用 C++ 语言编程,软件主要功能如下。

1) 水面航行控制功能:通过短波通信通道发送水面航行控制指令(遥控开始后,实时读取按键/触摸屏数据发送航速、舵角控制指令),同时接收航行反馈信息显示,实现 AUV 的水面航行控制^[10]。

2) 启动回收及水下航行监控功能:AUV启动/回收阶段可通过4G/Wi-Fi/短波/北斗通信通道发送启动/回收指令,并接收回收位置信息;同时AUV水下航行过程中可通过Wi-Fi通信通道接收水声监听设备的航行参数并实时显示;航行体异常航行情况下可通过Wi-Fi发送紧急上浮指令至岸基水声通信装置^[11]。

3) AUV参数设置功能:通过Wi-Fi通信通道实现参数预置,并实现航路点显示。

4) 产品调试功能:通过Wi-Fi通信通道实时监听产品发送的各组件自检信息并进行显示,自检完成后根据当

前位置信息对惯导进行校准并实时显示惯导反馈的信息,并进行关键数据的显示^[12],整个调试过程中根据调试情况可发送相关组件上/断指令。

5) 数据回放及分析(航行数据)功能:通过Wi-Fi发送数据回放指令后,与产品内部组件通信连接后进行航行数据的回放^[13],数据回放后可实现对回放的航行数据进行分析(曲线图显示)。

6) ROV控制功能:实时读取触摸屏或摇杆数据并通过RS485发送相关控制指令,同时可实时显示反馈信息。

软件设计基本流程图见图11。

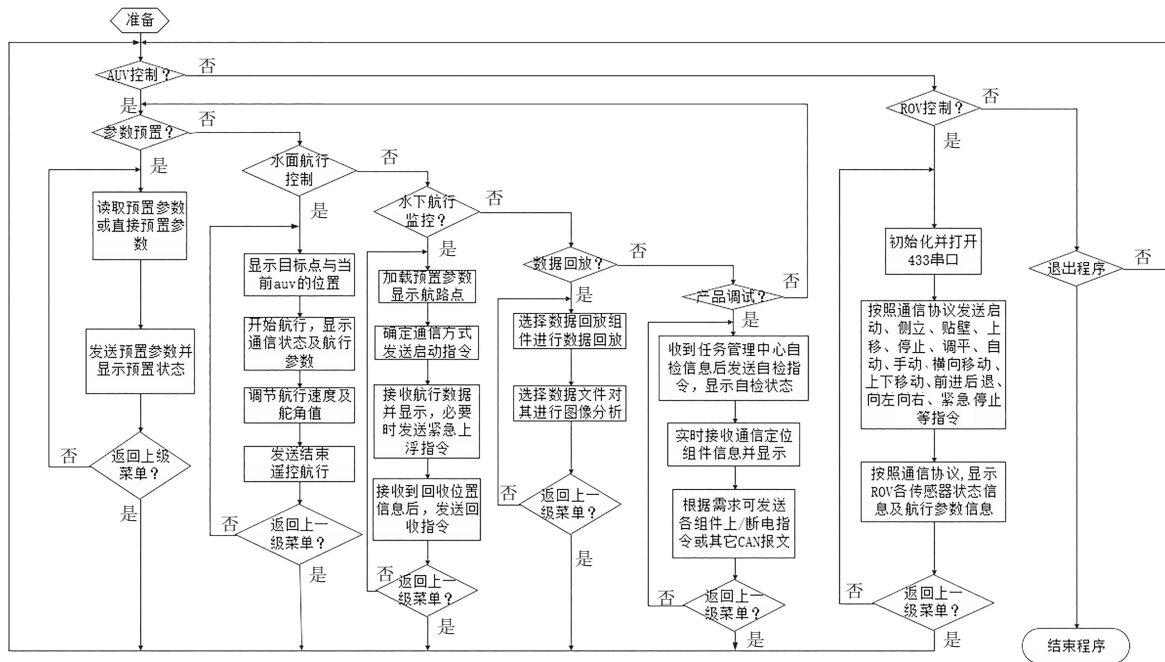


图 11 软件程序流程图

Fig. 11 Software flowchart

4 系统运行测试

软件首先对各通信接口进行了功能测试,均满足设计

要求,同时与水下航行器进行联调,满足产品应用要求。软件运行测试见图12。

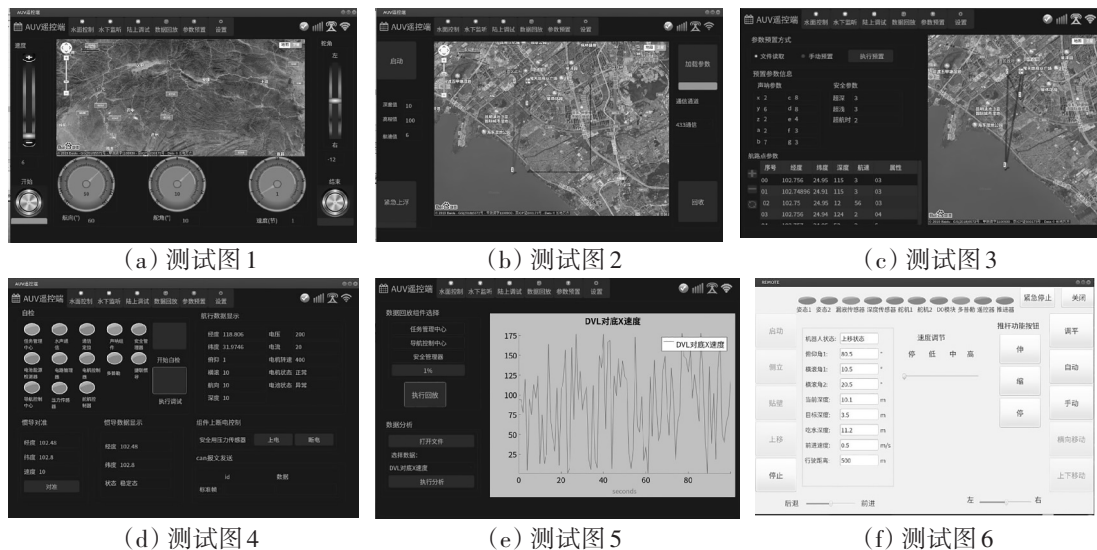


图 12 软件运行测试图

Fig. 12 Software testing screenshot