

面向水质监测的无人巡检器控制系统设计与开发^{*}

马来宾, 马伟锋, 楼 姣, 季曹婷

(浙江科技学院 信息与电子工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘 要: 针对传统水质在线监测系统成本高、低扩展性等问题, 设计了一种基于 4G 的无人巡检器及控制系统, 构建以树莓派为核心, 集成视频、水质传感器、超声波传感、GPS 等多种信息采集器的边缘计算网络, 设计了应用通信协议, 研发了控制系统软件包括无人巡检器端控制软件、云服务器端控制软件和手机端控制软件。系统运行结果表明, 控制系统能完成一定水域面积下的多点水质监测数据及地理位置的实时采集、传送、存储、查询, 利用远程视频实时控制无人巡检器的航行路线、水质监测点等, 并支持多台无人巡检器在线作业, 具有高扩展性, 可平顺切换到 5G 网络。

关键词: 在线监测; 水质监测; 边缘计算; 远程控制系统

中图分类号: TN108.4; TP273

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191286

中文引用格式: 马来宾, 马伟锋, 楼姣, 等. 面向水质监测的无人巡检器控制系统设计与开发[J]. 电子技术应用, 2021, 47(1): 78-81.

英文引用格式: Ma Laibin, Ma Weifeng, Lou Jiao, et al. Remote monitoring mobile water quality monitor and its control system development based on 4G[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(1): 78-81.

Remote monitoring mobile water quality monitor and its control system development based on 4G

Ma Laibin, Ma Weifeng, Lou Jiao, Ji Caoting

(School of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Aiming at the problems of high cost and low expansibility of traditional on-line water quality monitoring system, a mobile water quality monitor and control system based on 4G is designed. An edge computing network with raspberry pie as the core, integrating video, water quality sensor, ultrasonic sensor, GPS and other information collectors is constructed, and the application communication protocol is designed. The control system software is developed, including mobile monitor-side control software, cloud server-side control software and mobile-side control software. The system operation results show that the control system can complete the real-time collection, transmission, storage and query of multi-point water quality monitoring data and geographical location under a certain water area, and use remote video to control the navigation route and water quality monitoring points of mobile water quality monitor in real time. It also supports the online operation of multiple mobile water quality monitors, which has high expansibility and can be smoothly switched to 5G network.

Key words: online monitoring; water quality monitoring; edge calculation; remote control system

0 引言

目前我国地表水资源环境所处的形势不容乐观, 一方面, 人口对水资源的需求呈上升趋势^[1]; 另一方面, 我国地表水资源污染问题较为严峻^[2]。因此, 建立健全的水资源保护机制愈来愈成为社会发展亟须解决的问题, 其中科学有效的水资源监测与调查手段是对水质污染治理的前提和基础。

在众多水质监测手段中, 较为传统的是实验室检测法, 该方法通过人工对预定点进行水样采集, 然后在实

验室通过化学分析法^[3]、生物分析法^[4]等方法进行详细的水质分析, 最终生成水质报告。实验室检测法优点在于测定方法多样, 分析结果精准且水质指标较为丰富, 但是其具有测定周期较长、成本高、采集到的水样相对于水域不具备代表性等缺点。随着网络通信、计算机技术以及传感器应用等方面的发展, 在线水质监测技术得到了越来越多的应用^[5-6]。如张秀再^[7]等人设计的河流水质实时监测系统, 以 MSP430F149 单片机为核心, 采用漂浮圈为载体搭载水质传感器, 最终利用无线通信模块传输采集信息; 郭鹏飞^[8]等人设计的基于树莓派的远程水质监测系统以树莓派作为系统核心监听水质监测

^{*} 基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目(LGF18F020011)

仪检测到的水质数据信息,再将水质数据信息通过 GPRS 模块发送到云端数据库。这些系统都极大地缩短了水质数据采集周期,达到了实时数据采集监控的要求,但是可测定水域范围有限,扩展性较差。刘星桥^[9]等人设计的基于 GPS 的自学习导航游弋式水质监测系统以小型船体作为水质数据采集载体并搭配遥控器,设计了船体运动主控制器和遥控控制器,使用 ZigBee 网络和 GPRS 进行数据传输。其中 ZigBee 网络进行控制指令的传输,速度快、成本低,但是传输范围有限,通信稳定性受环境制约;GPRS 网络进行水质数据以及地理信息数据传输。该系统可以实现远程控制、多点检测以及水质数据的在线访问等功能,但是其航行控制范围较小,只能在人工视野范围内工作。基于此,本文提出了一种基于 4G 的无人巡检器及控制系统,开发了手机移动应用,可利用远程视频观察当前水域作业场景,实时控制无人巡检器航行路线、水质监测点等。该系统能完成一定水域面积下的多点水质监测数据及地理位置的实时采集、传送、存储、查询,并且具有高扩展性,支持多台无人巡检器的在线作业。

1 控制系统体系结构

控制系统的体系结构如图 1 所示。

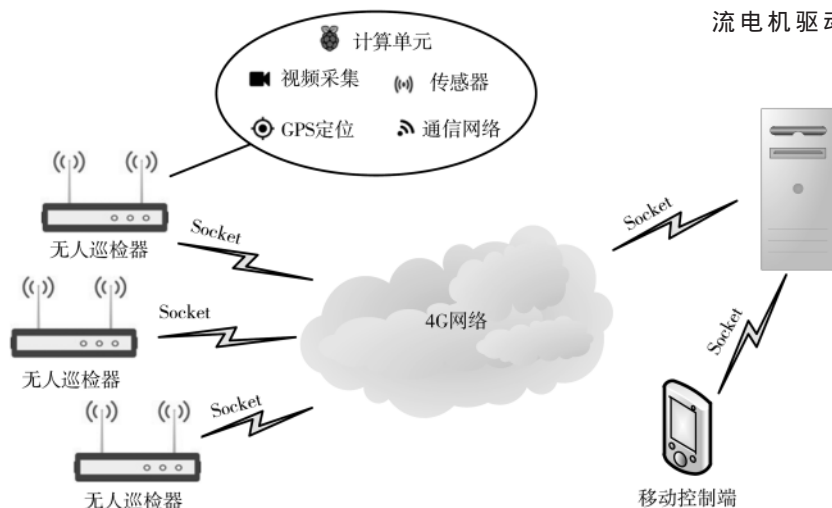


图 1 系统体系结构图

本系统由无人巡检器、云端服务器、移动控制终端三部分组成。无人巡检器可以在目标水域环境下自由航行,采集当前作业水域的现场视频、水质数据、地理位置及航行状态信息等,并通过 4G 通信网络实时发送至云端服务器。云端服务器对接收到的业务数据进行实时存储,同时云端服务器也是无人巡检器与移动控制终端的连接器,对控制信息进行实时转发。移动控制终端配置了移动手机应用,可实时显示目标无人巡检器的水域作业视频、地理位置信息以及采集到的水质数据等,并可以根据在线作业视频实时控制目标无人巡检器的作业路线、采集位置等。

2 无人巡检器硬件设计

无人巡检器作为一个边缘计算环境,采用树莓派(3B+)作为主控板,提供计算资源和控制功能。通过主控板 USB 接口挂载网络摄像头、电压电流检测器以及 4G 模块;通过主控板引脚外接自制的驱动板挂载 pH 值等水质指标检测传感器以及超声波传感器、驱动直流电机等。整个硬件电路通过 12 V 电压供电,目前采用锂电池组,可扩展为太阳能板。无人巡检器硬件结构如图 2 所示。

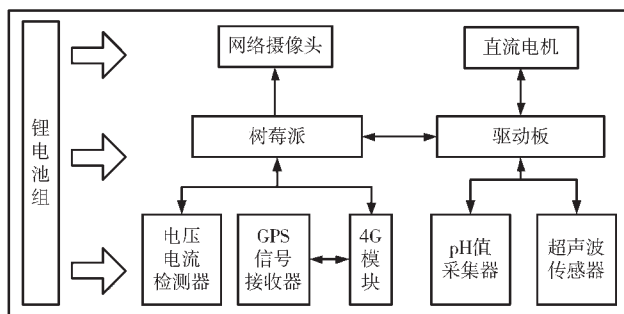


图 2 无人巡检器硬件结构

2.1 航行控制

无人巡检器以快艇式模型船为载体,利用微型无刷直流电机作为船体的动力输出,使用以 L298N 双 H 桥直流电机驱动芯片为核心的驱动板控制电机转向,利用脉冲宽度调制(PWM)技术控制电机的转速。

2.2 GPS 定位与网络通信

无人巡检器边缘通信采用了 HOE-SIM7600CE 模块,支持 4G 网络通信、GPS 定位与 AP(Access Point)热点功能,利用 USB 接口与树莓派连接实现供电与串口通信。该模块通过插入 SIM 卡并发射 AP 热点使监测器可以在任意 4G 信号覆盖的地方进行网络通信,并通过 IPX 接口外接 GPS 天线接收 GPS 定位信息。

2.3 水质指标检测

无人巡检器利用驱动板引脚可提供多路水质指标数据的采集。其中 pH 水质指标检测采用了 LEICI 公司的 E-201-C pH 复合电极与 pH 检测采集传感模块。pH 复合电极是由 pH 玻璃电极和参比电极组合在一起的复合电极,通过 BNC 接口与 pH 检测采集传感模块连接,再接入无人巡检器。

2.4 无人巡检器运转及作业水域监测

无人巡检器集成了作业水域现场的实时监测模块,包括网络摄像头和超声波传感器。网络摄像头采用的是萤石 C2C 多功能网络摄像机,通过 USB 与树莓派连接,网络配置完成后可实时探测监测器作业水域的 180°水平全景。超声波传感器采用 HC-SR04 超声波测距传感器,通过时间差测距法测量前方障碍物距离。无人巡检器还集成了电压电流检测器,对运转的供电状态进行实时监

控,可测电压与电流范围分别是 0~36 V 与 DC 0~40 A。

3 软件系统的设计与实现

控制系统的软件主要包括无人巡检器控制软件、控制服务器程序以及手机端控制软件三部分。

3.1 应用通信协议设计

控制系统三部分间通过 Socket 套节字进行通信,设计的应用通信协议数据包格式如图 3 所示。

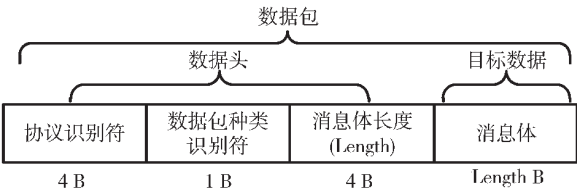


图 3 应用通信协议数据包

协议数据包由数据头和消息体两部分组成。数据头含有协议识别符、数据包种类识别符和消息体长度,三部分共 9 B。协议识别符固定占有 4 B,是判断数据包是否遵循协议的标识;数据包种类识别符占有 1 B,用于数据包的分类;消息体长度占有 4 B,携带消息体的长度信息。消息体则为一次传输中数据包内携带的目标数据。

通信双方在进行数据通信时,发送方先将要发送的数据进行 JSON 序列化形成消息体,再将消息体与数据头组成数据包进行发送;接收方在接收数据时,按照协议格式解析数据头中的消息体长度,进而从数据包内分离出完整的 JSON 消息体,反序列化后读取目标数据。

3.2 无人巡检器控制软件

控制软件开发依托于树莓派 3B+主板,利用 Python 开发,通过编程控制树莓派串口通信以及指定 GPIO 引脚的 I/O 操作,进而完成数据的采集以及对电机运转状态的控制。控制的主流程为:监测器上电后,控制软件开始对各组件进行初始化操作,随后控制软件请求与云端服务器建立 Socket 连接;连接成功后,控制软件会监听连接状态,若接收到数据则对数据进行解码并相应地改变电机运转状态;与此同时,控制软件会开启新线程,负责定时采集数据并将数据编码上传至云端服务器。

控制软件主流程如图 4 所示。

3.2.1 数据采集控制

数据采集控制包括通过串口进行 GPS 信息采集、剩余电量采集、pH 值采集以及通过 GPIO 引脚的 I/O 操作进行超声波测距信息采集两种方式。当进行串口通信时,需要在树莓派操作系统/dev/目录下找到对应硬件模块的文件名称进行声明并初始化;当进行 GPIO 引脚的 I/O 操作时,则根据 BCM 编号方式声明引脚接口编号并初始化。GPS 信号采集实现是通过串口向 HOE-SIM7600CE 模块先发送初始化指令("ATE0\r\n","AT+CGPS=1\r\n"),再通过指令("AT+CGPSINFO\r\n")获取 GPRMC 字符帧,最终解析字符帧获取经纬度值。剩余电量的采集通过估

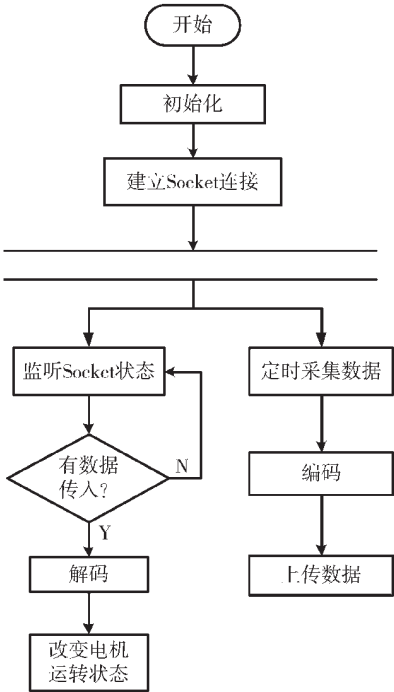


图 4 控制程序流程图

算得出;系统上电时,利用指令("AT+V\r\n")获取初始状态下的电压值,根据电压值估算出剩余电量并保存电量信息;在运行状态下,利用指令("AT+C\r\n")获取当前电流值,根据运行时间与采集时的电流值的乘积估算出已消耗的电量,并更新剩余电量信息。

3.2.2 航行驱动控制

航行驱动控制程序通过改变电机的输入信号而控制电机的转向,并通过 PWM 输入驱动模块的使能端实现对电机转速的控制。电机运转状态控制表如表 1 所示,其中 IN1、IN2 为左侧电机驱动信号输入,IN3、IN4 为右侧电机驱动信号输入,ENA、ENB 为输入信号使能端。电机初始化为低电平,PWM 频率设定为 1 000。

表 1 电机运转状态控制表

IN1	IN2	IN3	IN4	ENA	ENB	状态
True	False	True	False	PWM	PWM	前行
False	True	False	True	PWM	PWM	后退
False	True	True	False	PWM	PWM	左转
True	False	False	True	PWM	PWM	右转
False	False	False	False	False	False	停止

3.3 控制服务器程序

控制服务器使用 Netty 作为网络通信框架,该框架预置了多种编解码功能,API 使用简单,定制能力强。控制服务器程序设计主要包括:数据接收、业务处理、数据发送和空闲检测 4 个模块。数据接收模块负责将接收到的数据在自定义协议下进行解码,并验证数据头中的协议识别符,若验证失败则断开连接,若验证成功则进入业务处理模块;业务处理模块首先读取到消息体中的标

识号(用于区别不同的无人巡检器)并将标识号与当前 TCP 连接绑定;数据发送模块根据消息体中不同的标识号映射到不同的 TCP 连接,进而将数据在自定义协议下编码并发送给相应的客户端;空闲检测模块负责监听所有客户端的连接状态,如果一个 TCP 连接在连续一段时间(可自定义,默认为 120 s)内没有数据读入,服务器则主动断开与客户端的连接,并清除该 TCP 连接与相应的标识号的映射关系。控制服务器程序功能模块图如图 5 所示。

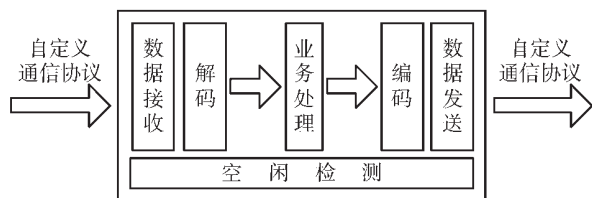


图 5 控制服务器结构

3.4 手机端控制软件

手机端控制软件是基于 Android 的 APP 应用,主要有数据显示和航行控制两个模块,控制画面如图 6 所示。数据显示模块用于显示视频及监测数据。视频流数据通过萤石第三方平台提供的接口接入,而水质指标监测数据以及监测器状态信息则通过云服务器获取。手机端控制模块发送的消息中包含控制目标和控制指令两类数据。控制目标则为消息中的标识号,用于指定需要操纵的无人巡检器(无人巡检器实物图如图 7 所示);控制指令用于操控无人巡检器电机的不同运转状态。控制指令设计如表 2 所示,指令均为 int 型数值,其中 X 取值范围



图 6 手机端操控界面

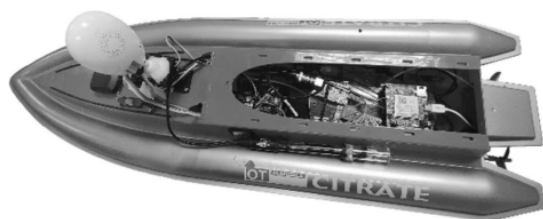


图 7 无人巡检器实物图

表 2 控制指令设计

指令	0000	1111	2222	3333	4444	X	Y
说明	停止	前进	左转	后退	右转	左侧电机转速 X	右侧电机转速($Y-200$)

在 0~100 之间, Y 取值范围在 200~300 之间。

4 结论

本文提出了一种基于 4G 通信技术的水质移动监测方案,能够通过手机端控制软件远程操控无人巡检器,实时获取现场视频、目标水域水质参数数据以及无人巡检器工作状态等信息,可以满足小流域下多点水质移动监测的需求,大大节省设备、时间、人力等成本。该方案采用 Netty 作为网络通信框架,支持多客户端同时在线,手机端控制软件可在线操作多台水质无人巡检器,增加了系统的可扩展性。同时该系统架构可以平顺地实现 4G 网络到 5G 网络的切换。

为获取更精确的水质评估结果以及实现智能化的流域监测,下一步将在现有研究基础上丰富无人巡检器的水质参数检测传感器,并对无人巡检器的智能航行方面做进一步研究。

参考文献

- [1] 徐靖.联合国公布《2018 年世界水资源开发报告》[J].水处理技术,2018,44(4):35.
- [2] 郝利芬.我国水环境状况分析及水污染防治对策[J].陕西水利,2018(4):74-75.
- [3] PU H, LIU D, QU J H, et al. Applications of imaging spectrometry in inland water quality monitoring—a review of recent developments[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2017, 228(4): 131.
- [4] RAMES E K, MACDONALD J. Rapid assessment of viral water quality using a novel recombinase polymerase amplification test for human adenovirus[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2019, 103(19): 8115-8125.
- [5] 尹宝全, 曹闪闪, 傅泽田, 等. 水产养殖水质检测与控制技术研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2019, 50(2): 8-20.
- [6] SRIVASTAVA S, VADDADI S, SADISTAP S. Smartphone-based system for water quality analysis[J]. Applied Water Science, 2018, 8(5): 130.
- [7] 张秀再, 陈彭鑫, 张光宇, 等. 河流水质实时监测系统[J]. 电子技术应用, 2015, 41(2): 82-85.
- [8] 郭鹏飞, 温志渝, 周颖, 等. 基于树莓派的远程水质监测系统[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2018, 32(4): 186-192.
- [9] 刘星桥, 陈海磊, 朱成云. 基于 GPS 的自学习导航式水质监测系统[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 84-90.

(收稿日期: 2019-11-26)

作者简介:

马来宾(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 车联网技术。

马伟锋(1979-), 通信作者, 男, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 软件架构、大数据与 AI 应用、智能物联系统等, E-mail: mawf@zust.edu.cn。

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