

基于无人船的水环境监测物联网研究与设计

项慧慧,王吉祥,徐 森,孟海涛

(盐城工学院 信息工程学院 物联网工程系,江苏 盐城 224051)

摘 要:针对目前主要通过人工监测、浮标监测或设置固定水质监测站点的水质监测方式存在的实时性差、准确度不高、工作效率低、成本高、灵活性低、监测范围受限、不适用于对重度甚至有毒水污染环境应急监测等问题,结合无人船的监测精准、灵活、安全、低成本、高效率等特点,面向直接关系居民生活饮用水安全的城市内河流湖泊的中小型水域监测需求,设计和研发了一种基于无人船的远程水环境监测系统,通过设计无人监测船搭载水质监测传感器及摄像头,可全面监测水环境状况。该系统通过“5G 物联网+水环境监测”技术,实现对水域环境的实时在线监测。针对城市内河流湖泊众多、环境复杂、管理困难等问题,构建了基于物联网云平台的水环境监测及信息共享平台,实现了对水环境的无人、实时、准确、高效的监测及智慧管理。实践表明基于无人船和物联网的水环境监测系统能实现对环境科学高效的监测管理,为管理决策提供有力的支撑和依据。

关键词:无人船;5G 物联网技术;云平台;流媒体技术;移动 App;水环境监测;生态环境保护

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2022)01-0216-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2022.01.037

Research and Design of Monitoring System for Water Environment IoT Based on Unmanned Surface Vehicles

XIANG Hui-hui, WANG Ji-xiang, XU Sen, MENG Hai-tao

(Department of Internet of Things, School of Information Engineering,
Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China)

Abstract: The existing water monitoring methods are mainly through manual sampling, buoy or fixed water monitoring stations, which have the problems of the poor real-time performance, low accuracy, low work efficiency, high cost, low flexibility, limited monitoring range, and unsuitable for severe water quality monitoring. Combination of monitoring precision, flexibility, safety, low cost, high efficiency of unmanned surface vehicles (USV), facing small and medium-sized water area monitoring needs of urban rivers and lakes directly related to the safety of residents' drinking water, we design and develop a remote water environment monitoring system based on USV. Through the design of unmanned monitoring ship equipped with water quality monitoring sensors and cameras, the water environment can be monitored comprehensively. The system realizes real-time online monitoring of water environment through "5G Internet of Things + Water Environment Monitoring" technology. Aiming at the problems of numerous rivers and lakes in cities, complex environment and difficult management, a water environment monitoring and information sharing platform based on the Internet of Things cloud platform is built to realize unmanned, real-time, accurate and efficient monitoring and intelligent management of water environment. Practice shows the water environment system based on USV and Internet of Things (IoT) can realize scientific and efficient monitoring and management of the water environment, and provide strong support and basis for management decision-making.

Key words: unmanned surface vehicles (USV); 5G IoT technology; cloud platform; streaming media technology; mobile App; water environment monitoring; ecological environment protection

0 引言

生态环境保护是国家“十四五”规划中一项重要内容。作为生态环境保护的中心,水资源是人类生存和社会可持续发展的最重要的前提条件^[1]。随着中国

城市化进程加快,城市规模越来越大,城市面临十分严峻的水资源短缺问题^[2-3]。但与此同时,水资源现状却不断恶化,由于工业废水、生活污水乱排放等导致的城市水污染事件频频发生,严重影响城市居民生活用

收稿日期:2021-02-05

修回日期:2021-06-08

基金项目:国家自然科学基金面上项目(62076215);盐城工学院大学生创新计划训练项目(YCIT-CX317)

作者简介:项慧慧(1984-),女,博士,讲师,研究方向为物联网应用系统设计、物联网及传感网数据融合及跨层协议设计。

水安全。因此,建立水环境监测网络,加强监测能力,提升水资源管理水平以维护水资源安全是一项亟待解决的生态环境保护问题。现有主要依靠人工检测或固定站点监测的水环境监测方法^[4-5],检测周期长,时效性差,无法适应水污染事件应急处理需要,更无法做到预防水污染事件发生。

当前随着物联网技术与各行各业的深度融合,基于物联网技术的水环境实时在线监测系统建设^[6-7]已成为智慧城市建设的重点工作。朱慧博等^[8]设计了基于固定传感器监测点、WiFi 通信技术和阿里云平台的水温、PH 值参数管理系统。张娜等^[9]设计了基于 GPRS 通信技术和服务器模式的水质 PH 值固定监测系统。同时,利用无人船监测水环境的方法由于其灵活、安全、能代替人工完成危险或有毒水域的监测任务等优点,已经逐渐成为当前水环境监测的研究热点之一。Cao Huiru 等^[10]设计了一种可以采集不同深度水质的无人船水质监测系统。Zhang Wei 等^[11]设计了一种基于无人船和分簇网络结构的水质监测算法,以提高水质监测效率。王柏林等^[12]基于无人船和 NB-IoT 技术设计了一种采集 PH 值、溶解氧、水温的水质监测系统。张鑫业等^[13]基于无人船和 4G 通信技术设计了一种采集浊度、溶解氧、电解质的水质监测系统。蒋星宇^[14]基于 GPRS 通信技术和无人船设计了一种采集浊度、溶解氧、酸碱度、电解质、氨氮化含量的水质监测系统。借鉴已有的研究成果,为了进一步提高水质监测的实时性和准确性,设计了一套基于无人船和 5G 物联网技术的水环境监测系统。该系统能够实时监测水体的 PH 值、浊度、温度、视频等综合信息,通过 5G 物联网技术传输至基于阿里云平台搭建的水资源监测云平台,相关管理人员或管理部门可以通过 Web 端、手机 APP 等方式管理水环境信息。

1 系统总体方案

1.1 系统总体架构设计

基于无人船的水环境物联网监测系统总体架构如图 1 所示,主要包括感知与传输层、智能决策层和应用层三个层次,具体由固定水质监测节点及无人船监测、水环境监测云平台、远程监控中心、手机 APP 监测终端四部分组成。感知与传输层由固定监测节点、网关节点和移动监测节点组成。监测水域内分布有若干个固定监测节点,分别采集与之对应的局部水域的水质参数并传输至网关节点;网关节点主要负责各监测节点采集数据的汇总并传输至水环境监测云平台。为了弥补固定监测点监测方式不能适应应急监测需要的缺陷,该系统同时设计了基于无人船的移动监测节点,通过无人船搭载水质监测节点采集水质参数,通过船载

网关节点借助于 5G 物联网通信技术将水质数据传输至水环境监测云平台。为了更为全面地监测水质信息,在无人船监测节点上同时设计部署了船载摄像头采集水域环境视频。

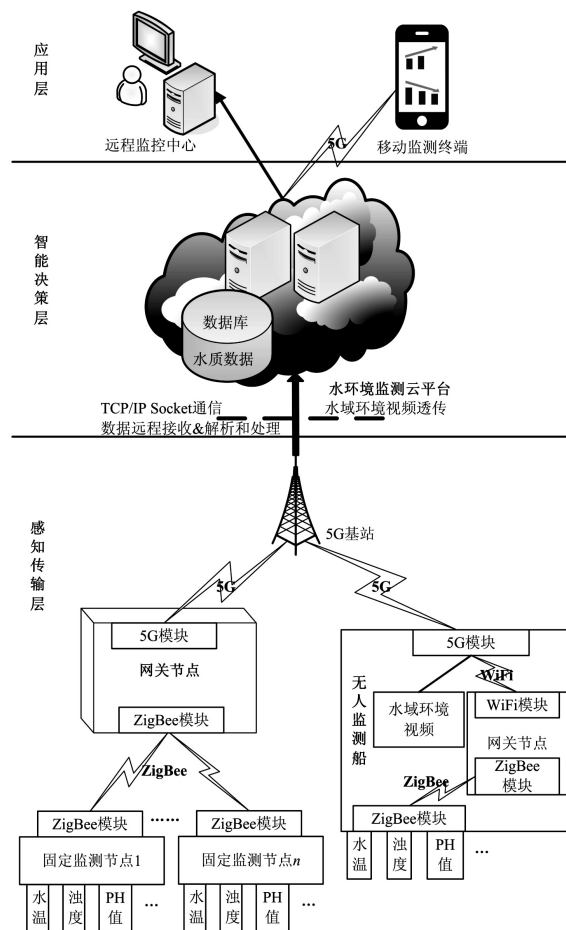


图1 系统总体架构

智能决策层由水环境监测云平台构成,主要对采集的水质数据和视频进行存储、分析和管理,包括远程监控中心用于数据存储的水质数据库和用户数据库、水质超限预警功能,从而为用户的远程访问和移动访问奠定数据基础,提高服务器的运行平稳度和效率。

应用层主要实现监测系统与用户的交互工作,管理人员或工作人员可通过监测网站或移动终端 APP 查看各站点的实时水质数据、历史数据及水环境视频。此外,若水质数据超限,移动终端 APP 可向相关管理人员手机推送预警信息。

1.2 系统部署及运行流程

系统部署及运行流程如图 2 所示。待测水域部署有多个监测子网和无人船监测节点。固定和移动监测节点采集水质数据,由网关节点对这些数据进行汇总和封装,借助 5G 物联网技术通过 AT 指令将数据传输至水环境监测云平台。水环境监测云平台通过 TCP/IP Socket 通信读取水质数据,并对其进行解析和处理,丢弃不必要的信息,然后按照统一的数据格式将水

质参数存入 SQL 数据库中。远程监控中心采用 Java Web 技术搭建的水环境监测网站,方便工作人员查看待测水域的水质情况。此外,工作人员还可通过手机 APP 查看水质情况。

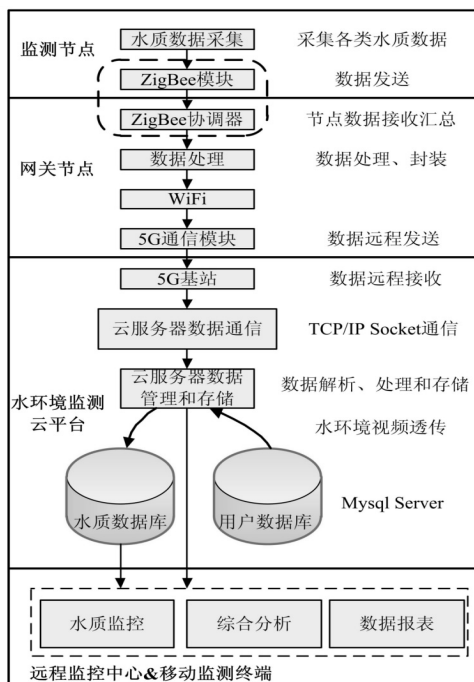


图 2 系统部署及运行流程

2 系统关键功能设计

2.1 无人船监测船系统设计

2.1.1 水质监测传感器节点设置

以当前研究成果中使用较多的 PH 值、浊度、水温等水质参数为测试对象,无人监测船通过无人船搭载 PH 值、浊度、水温监测传感器以及采集水域视频的摄像头,随着无人船在监测水域的移动实现对监测水域水质信息及水域环境视频信息的采集。无人监测船系统硬件设计如图 3 所示。

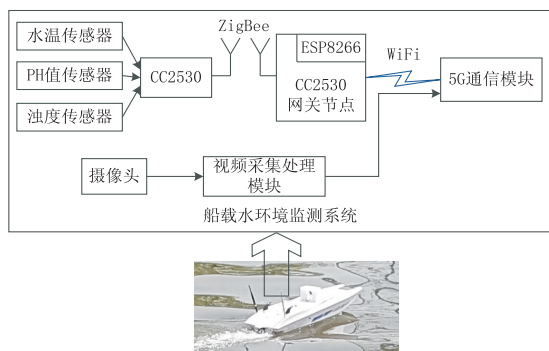


图 3 无人监测船系统硬件设计

水质数据采集发送传感器节点以 CC2530 处理器为核心,水质数据经由 CC2530 集成的低功耗、低速率 ZigBee 射频模块发送给网关节点。网关节点以 CC2530 和 WiFi 通信模块 ESP8266 为核心,其中

CC2530 与水质数据采集传感器节点的 CC2530 实现 ZigBee 组网接收水质数据,ESP8266 模块通过加入 5G 通信热点的形式接入 5G 网络转发水质数据。根据水域覆盖要求和无人船航速设置采集时间间隔 Δt (见公式 1),在无人船航行过程中,水质监测传感器每隔 Δt 时间采集水质信息数据并传输至网关节点。

$$\Delta t = \frac{\text{水域边长或直径(m)}}{\text{无人船航速(m/s)} * \text{采集点个数}} \quad (1)$$

同时,在无人船航行过程中,通过无人船上搭载的摄像头采集 720P 25fps 高清水域视频,由船载视频采集模块进行 H.264 编码,然后通过 5G 通信模块发送至水环境监测云平台。

2.1.2 网关节点设计

网关节点的功能主要包括实现 ZigBee 通信技术到 5G 通信技术的转换及与水质监测云平台之间建立 TCP/IP socket^[15] 连接,主要由信号处理电路、ZigBee 通信模块、WiFi 通信模块及显示屏组成(如图 3 所示)。ZigBee 通信模块接收水质监测传感器节点采集的水质数据,由微处理器给每一类水质数据封装上代表不同含义的头部(封装格式如表 1 所示)并以“\n”换行符为间隔组装,经由 WiFi 模块通过加入 5G 热点的形式,将数据通过 5G 通信模块传输至水环境监测云平台。

表 1 网关节点数据封装格式

序号	属性名称	封装头部	数据类型
1	PH 值	P	string
2	浊度	Z	string
3	水温	T	string

2.2 水环境监测云平台

水环境监测云平台需要支撑基于 TCP/IP socket 网络通信功能、水质数据处理功能及 Web 网页数据显示功能,因此功能设计包括水质数据监测接口设计、服务器后台响应接口设计及与 Web 前端数据交互设计。

水质数据监测接口基于 TCP/IP socket 网络通信建立云平台与网关节点之间的通信连接,接收网关节点转发的水质数据,并存储至数据库中。设计方案如图 4 所示。水质监测接口主要通过 Socket 套接字监听组装后的水质数据,使用 readline() 方法读取网关节点转发的水质数据。水质监测接口读取数据后按照数据组装规则进行字符串拼接截取,并通过 set 方法将提取的数据赋值给 JavaBean 以便于结构化地存储到数据库中。

服务器后台响应接口设计的主要功能是处理前端页面用户发出的启动监测指令及显示实时水质数据、查看历史水质数据等请求,及时对 Web 页面及客户端请求做出响应处理。

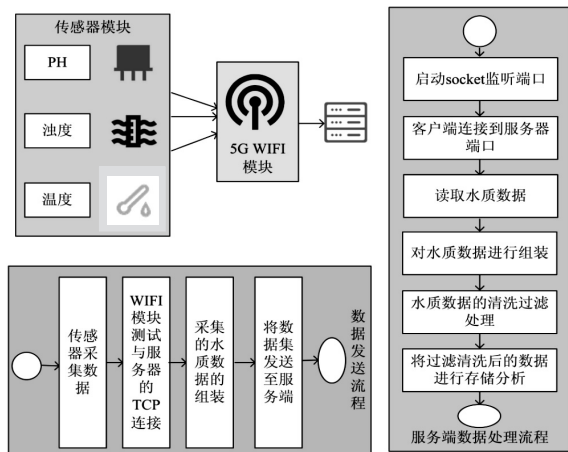


图4 水质数据监测接口设计

2.3 远程监控终端设计

远程监控终端 Web 网页使用 JSP 页面模板引擎技术实现了实时水质数据、历史水质数据的可视化显示。点击 Web 界面的启动监听、实时数据显示、历史数据显示等功能按钮发起请求,然后通过 web.xml 配置中心查找相应的逻辑处理,将对应的请求交给相应的 Servlet 处理类。Service 层根据调用的处理类进行业务逻辑处理,再通过 Dao 层与数据库进行数据交互,最后将处理结果返回至 Web 界面。总体设计方案如图 5 所示。

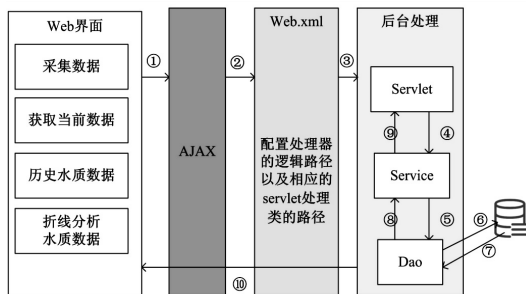


图5 Web 网页端与云服务器端交互设计

2.4 水质监测手机 APP 设计

基于 Android 平台水质监测手机 APP 设计主要由 HTTP 协议与服务器端通信、对 JSON 数据流的解析及基于安卓原生控件的应用程序页面组织构建三部分组成。使用 Android 中的 ViewPager+fragment 控件对应用程序页面进行整体构建,通过 WebView 控件及 HTTP 协议与服务器端建立连接,在获取数据流后进行处理并通过 adapter 适配器最终显示在由 LinerLayout 构建的单个页面中^[16]。基本页面形式如图 6 所示。

2.4.1 水质实时监测数据管理设计方案

当用户点击进入水质实时监测页面,将通过 HTTP 协议与服务器端进行连接,并将获取的数据动态显示在页面上。当用户点击进入历史数据查询页面时,系统将获取的数据以列表的形式显示在历史数据

查询页面,具体流程如图 7 所示。



图6 页面组织形式

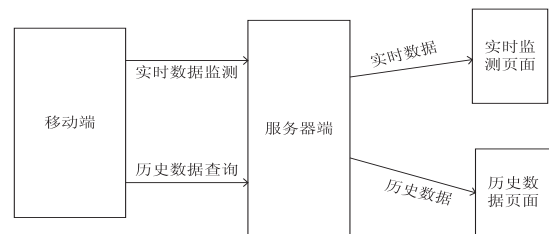


图7 数据显示页面系统设计

2.4.2 地图显示设计方案

调用百度地图 SDK,获取当前水域位置,通过 MapView 控件显示在手机页面上,流程如图 8 所示。通过访问百度地图服务和数据,构建功能丰富、交互性强的应用程序,从而更加清晰方便地展示目标位置的周边环境,更直观地反映水环境信息。

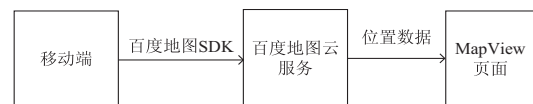


图8 百度地图定位流程

3 系统应用实例

系统测试及应用地点为校园内湖泊,在小范围水域内测试了系统功能,测试结果如图 9 所示。根据应用结果,该系统能通过远程控制无人船采集水域环境水质数据和环境视频并实时传输水环境监测云平台,管理部门可以在监控终端或手机 APP 上通过水质信息和视频全面监测水环境状况,有效保障居民生活饮用水安全。



(a) 实时水质信息



(b) 水域环境视频

图 9 测试结果

4 系统特色及应用前景

该系统设计通过固定节点监测和移动无人船监测相结合的水环境监测方法,并在物联网云平台基础设施上构建了水环境监测云平台,最终完成基于 5G 物联网技术、物联网云平台和无人船的水环境监测系统研究与设计。该系统的主要特色有:

(a) 该系统设计了包含固定节点监测和移动无人船监测的水质综合检测方法,除了可以采集《无人船船载水质监测系统》标准^[17]中规定的水质参数外,还设计了通过无人船船载摄像头采集水域环境图像及视频信息,相比于现有基于无人船的水质监测系统仅采集水质数据的方法^[11-12],更能全面反映水环境状态。

(b) 系统通过现场实时在线监测,配合信息化系统和应用终端,所设计系统结构及功能符合《无人船船载水质监测系统》标准^[17]。该系统设计有利于环保系统集成商或有关部门及时、准确地掌握水质信息,可为预警预报影响居民饮用水安全问题、监管污染物排放以及监督总量控制制度落实等提供帮助;也可以有效地结合当前国家大力推行的河湖长制,明确环保责任。

(c) 该系统设计了基于物联网云平台的水环境监测预警系统,可利用物联网云平台实现待测水域水质信息乃至全国范围内水质信息的互联互通,为后续水质评估工作构建统一数据平台提供理论和实践依据。

5 结束语

该系统利用无人船和 5G 物联网技术进行水质监测,能在不适宜人工作业的污染较重的恶劣水域进行检测水质,既可以有效减少人工作业量,提高作业效率,也可以降低作业风险,实现了水质监测系统的自动化、智能化和无人化,能够有效保障城市中小水域水环境安全。应用实例也证明了该方案的可行性与稳定性。由于无人船采用蓄电池供电限制了其作业范围,在后续开发中将考虑设计并开发太阳能电源控制模块,进一步扩大无人船监测范围,提高系统的可靠性。同时,后续工作中还需对城市内中小水域的应用环境进行实地测量和勘察,并完善无人船采水装置、传感器节点部署等设计,进一步增强系统的实用性。

参考文献:

- [1] 杨羽菲. 基于流域水生态环境的监测技术方法与优化验证 [C]//2020 中国环境科学学会科学技术年会. 北京: 中国环境科学出版社, 2020: 3194-3198.
- [2] 梁 帅. 内河点源污染物溯源方法与移动式在线监测平台研发 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2020.
- [3] 陈 玥, 王海峰, 贾建鑫, 等. 基于海量异构传感器的物联网水质监测系统 [J]. 计算机应用与软件, 2020, 37(5): 1-8.
- [4] 唐明佳, 田孝文, 周子鹏. 基于嵌入式物联网技术的水质检测系统设计 [J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 2020, 41(3): 22-27.
- [5] 曹文熙, 孙兆华, 李 彩, 等. 水质监测浮标及其传感器的防污染措施 [J]. 热带海洋学报, 2018, 37(5): 7-12.
- [6] ISLAM M M, AREFIN M S, KHATUN S. Developing an iot based water pollution monitoring system [C]//International conference on image processing and capsule networks (ICIPCN 2020). Bangkok, Thailand: Springer, 2021: 561-573.
- [7] ABDULWAHID A H. IoT based water quality monitoring system for rural areas [C]//9th international conference on renewable energy research and applications (ICRERA 2020). Glasgow, United Kingdom: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020: 279-282.
- [8] 朱慧博, 闫 伟, 石鲁生. 基于物联网的水环境参数监测管理系统设计 [J]. 智能计算机与应用, 2020, 10(7): 303-305.
- [9] 张 娜, 杨永辉. 基于物联网的水质监测系统设计与实现 [J]. 现代电子技术, 2019, 42(24): 38-41.
- [10] CAO H, GUO Z, WANG S, et al. Intelligent wide-area water quality monitoring and analysis system exploiting unmanned surface vehicles and ensemble learning [J]. Water, 2020, 12(3): 681.
- [11] ZHANG W, WANG K, WANG S, et al. Clustered coverage orienteering problem of unmanned surface vehicles for water sampling [J]. Naval Research Logistics, 2020, 67(5): 353-367.
- [12] 王柏林, 唐梦奇, 李 佳, 等. 基于无人船的水质监测及控制系统设计 [J]. 海洋技术学报, 2019, 38(4): 32-38.
- [13] 张鑫业. 无人船搭载的水质监测系统的设计 [D]. 大连: 大连理工大学, 2020.
- [14] 蒋星宇. 一种水质监测无人船系统的设计与实现 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [15] 徐 明, 柴志雷. 基于 TCP/IP 套接口的嵌入式 Web 服务器实现 [J]. 华东船舶工业学院学报, 2001, 15(5): 40-43.
- [16] 王新秀, 杨黎黎, 吉曹翔, 等. 基于手机 App 的自动站管理系统设计与应用 [J]. 计算机技术与发展, 2021, 31(1): 216-220.
- [17] 中国水利水电科学研究院. T/CAQI 169-2021, 无人船船载水质监测系统 [S]. 北京: 中国质量检验协会及中国水利企业协会, 2021.