

# 雷州半岛红树林湿地海水重金属污染 监测系统开发



张健<sup>1</sup>, 孔艺权<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>岭南师范学院红树林研究院, 广东湛江 524048

<sup>2</sup>岭南师范学院乡村信息科技服务研究所, 广东湛江 524048

**摘要:** 红树林是热带、亚热带地区具有较高生产力的湿地生态系统, 对于维护生态多样性, 保护湿地具有重要意义。随着城市化和工业化的迅猛发展, 使用农用化肥和污染物排放等人为活动, 带来了一系列问题, 大量重金属污染物以不同的途径进入江河湖海和土壤中, 给生态环境的恢复带来沉重的压力。雷州半岛红树林自然保护区作为中国大陆最大的保护区之一, 受到高度重视, 针对雷州半岛红树林湿地重金属污染问题的研究, 本文提出了一种红树林湿地海水重金属污染监测系统。系统的主要功能模块有: 数据输入、监测数据实时显示、数据查询、数据统计分析、决策预警、预警信息发布等。系统基于全球移动通信系统的无线分组交换技术, 提供端到端的、广域的无线 IP 连接, 通过该技术实现对雷州半岛红树林海水重金属污染实时监测, 能够有效解决对红树林保护问题, 维护生态环境。

**关键词:** 红树林; 重金属污染; GPRS; 实时监测

**DOI:** [10.57237/j.cst.2022.01.010](https://doi.org/10.57237/j.cst.2022.01.010)

## Development of Monitoring System for Heavy Metal Pollution in Sea Water of Mangrove Wetland in Leizhou Peninsula

Zhang Jian<sup>1</sup>, Kong Yiquan<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Mangrove Research Institute of Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China

<sup>2</sup>Lingnan Normal University Rural Information Technology Service Institute, Zhanjiang 524048, China

**Abstract:** Mangrove is a wetland ecosystem with high productivity in tropical and subtropical regions, which is of great significance for maintaining ecological diversity and protecting wetlands. With the rapid development of urbanization and industrialization, human activities such as the use of agricultural fertilizers and pollutant discharge have brought a series of problems. A large number of heavy metal pollutants enter rivers, lakes, seas and soils in different ways, bringing heavy pressure to the restoration of the ecological environment. Leizhou Peninsula Mangrove Nature Reserve, as one of the largest nature reserves in Chinese Mainland, is highly valued. Aiming at the study of heavy metal pollution in Leizhou Peninsula mangrove wetland, this paper proposes a monitoring system for heavy metal pollution in seawater of mangrove wetland. Wireless packet switching technology based on

\*通信作者: 孔艺权, 20693458@qq.com



Global System for Mobile Communications (GSM) system, which provides end-to-end and wide area wireless IP connection. The main function modules of the system include: data input, real-time display of monitoring data, data query, data statistics and analysis, decision-making and early warning, early warning information release, etc. Through this technology, real-time monitoring of heavy metal pollution in sea water of mangroves in Leizhou Peninsula can be realized, which can effectively solve the problem of mangrove protection and maintain the ecological environment.

**Keywords:** Mangrove; Heavy Metal Pollution; GPRS; Real-Time Monitoring

## 1 引言

### 1.1 红树林湿地研究背景与进展

红树林湿地与人类的生存和发展息息相关, 具有维护生物多样性、巩固海岸、净化大气和海水、海岸景观维护和资源持续利用等功能。早在 1974 年 Nedwell 就提出了红树林对污水的承受能力比临近的环焦生态系统大, 对一定污染程度的水具有净化作用(Nedwell, 1974); 研究发现, 红树林湿地对有害元素 Hg、Cd、Cu、Zn、Pb、As、Cs 等具有吸收作用。由于全球工业生产的发展, 大量的工业废水和城市废水排入水体, 红树林湿地污染日益严重, 严重地威胁了生态系统的多样性和社会可持续发展, 对红树林湿地的监测越来越受到重视[1]。

### 1.2 红树林湿地研究的主要内容、目的和意义

对红树林湿地海水重金属污染监测的主要内容、目的和意义包括:

对进入红树林湿地的污染物进行经常性的监测, 以掌握水质的现状和发展趋势。

对红树林湿地污染进行实时监测, 能够及时准确地了解突发性环境污染事故的情况, 为有关部门的决策提供参考。

为红树林湿地污染事件进行预警预报工作, 以便快速处理。

为开展水质的评价、预测及进行环境科学研究提供基础资料。

为了改变红树林湿地海水重金属污染的问题, 对红树林湿地进行实时监测是有必要的。

## 2 研究区概况

本研究涉及雷州半岛的 5 处红树林湿地, 共 5 个采样点(图 1)。廉江(样点 A、B)、雷州(样点 C、D)、吴川(样点 E)。

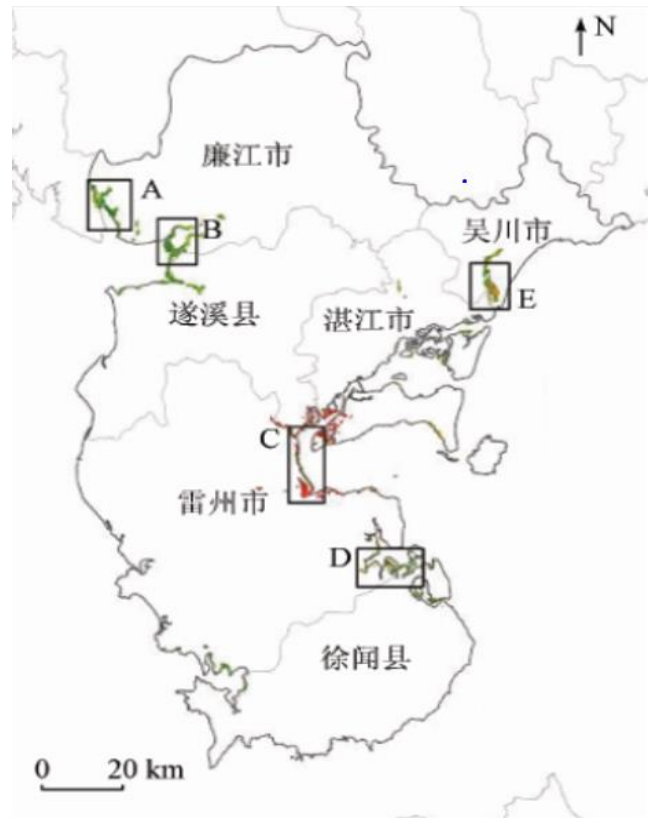


图 1 雷州半岛红树林湿地采样点

### 2.1 样品采集与分析

首先我们对不同深度的海水进行采样, 每个区域采样点均为其附近 3 处水样的混合水样。一部分样品直



接保存,用于理化指标测定;另一部分样品采集后带回实验室用原子吸收光谱法检测海水重金属[2]。现在的原子吸收光谱法都是与各种预富分离技术联合应用的,这样可以增加检测的准确度,同时避免不良因素的影响。每个样品有3个重复,同时设置空白对照。

## 2.2 评价方法

根据雷州半岛红树林湿地周边水域中 Cr、Cu、Pb、Cd、Ni、Hg 的含量,利用水质质量指数法对这6种重金属的污染水平进行综合评价[3]。

$$A_i = \frac{C_i}{C_s} P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_s}$$

式中  $A_i$ :第*i*种重金属的相对污染指数;  $C_i$ :第*i*种重金属的实测浓度值;  $C_s^i$ :第*i*种重金属的评价标准值;  $P$ :重金属综合污染指数。

国家海洋局于2002年颁布实施了海洋沉积物质量标准(GB18668-2002) [4],如下表,按照海域的不同功能将海洋沉积物质量标准分为三类,第一类为海洋自然保护区,海水浴场等,第二类为海洋工业用水区,第三类为海洋港口水域,海洋特殊作业区等。常用于工程类环境影响评价。

## 3 硬件系统设计

### 3.1 系统化的设计思想

通过前期对红树林湿地水质的人工检测与评价,设计出一种雷州半岛红树林湿地海水重金属污染监测系统软件,这里采用分布式的网络结构的数据采集和监控系统,在实时监控问题上得到了解决,对于数据采集自动化和信息化来说具有重大的意义。

目前我国国内常用的水质监测方法主要有三种[5]:

(1) 人工采样: 该方法是目前最常见的,可采集的参数多,精度较高[6]。

(2) 监测站监测: 该方法一般是由一个监测中心和多个子站组成的,可实现对监测水域的连续监测和数据的远程传输[7, 8]。

(3) 遥感技术: 该方法与上述两种方法相比,该方法对环境基本上没影响,且信息综合能力强,适合大范围的快速水质监测[9]。

但上述三种水质监测方法都存在不同的优缺点,如今国内在保护水环境中采用无线传感器网络技术这个方面,有些机构已经在对一些关键技术进行研究,如:杭州电子科技大学信息与控制研究所提出了结合视频监控的设计方案[10]。

本论文研究的目标是根据现有水质监测系统硬件基础的实现,构建水质监测控制软件,实行对现场的监测系统进行自动化监测、控制和管理,从而能够对监测数据进行收集,统计分析,获得具有价值的统计和预测数据,及时、直接地为环境管理与决策提供技术支持,进而实现水质监测的科学化、标准化、规范化和网络化。

### 3.2 前台人机交互程序的总体设计

红树林湿地海水重金属污染在线监测系统应用到不同的人群,所以我们应该对用户身份进行验证登录,减少用户非法登录获取数据,同时确保系统的安全性。不同用户有不一样的权限,不同权限的用户登录后,可以进行远程监控操作,以 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol, 传输控制协议/网际协议) 协议为基础。此外,用户可以选定固定 IP 监测或者自动获取 IP 地址。该系统必须可以自动设置采样时间间隔,接收上位机的数据。在人机交互界面上采用事件触发的模式编写软件,按下特定按键触发相应程序。

系统的主要功能模块有:数据输入、监测数据实时显示、数据查询、数据统计分析、决策预警、预警信息发布等。

(1) 数据输入: 对采集到的数据进行输入,如一些系统参数。

(2) 数据实时显示: 主要实现水质监测数据的实时显示;监测数据的变化趋势;系统仪器、泵阀的状态显示。

(3) 数据查询:报警数据查询、日志查询、仪器参数、工作参数和报警参数查询。

(4) 数据统计分析: 实现不同时间范围段的数据报表生成、保存和打印,然后进行统计与分析。

(5) 决策预警、预警信息发布: 当发现水质污染超过一定值时,采取一定的决策,发布预警信息等。



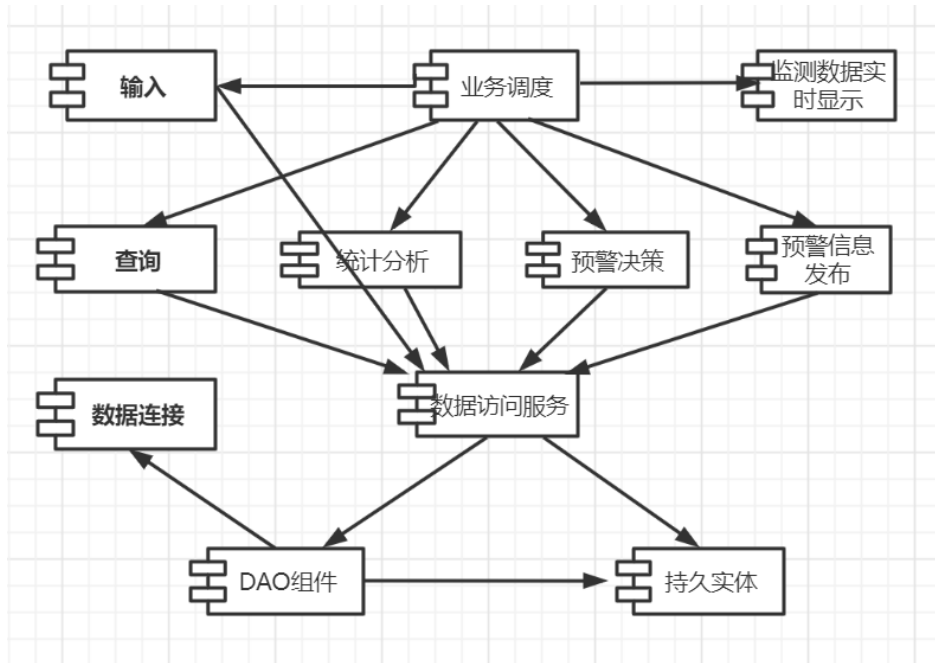


图 2 系统测试用例 UML 组件图

### 3.3 后台运行程序总体设计

后台程序是系统的核心部分，考虑到雷州半岛红树林湿地海水重金属污染数据采集的分散性，以及对信息安全的控制能力也比较高，本文选择了 C/S 架构作为平台的基础架构，将数据库放置在服务器端后台，它实现的功能主要有系统的初始化，数据的采集，数据的处理，TCP/IP 的上传等。

根据要实现的功能要求，后台程序分为以下几个功能模块：

- (1) 系统的初始化：主要是实现后台数据库的连接、各通讯端口、报警参数、其他全局变量的初始化。
- (2) 数据采集：主要实现对得到水质重金属污染参数、实时数据、仪器状态信息、变化趋势和其他的数据采集。
- (3) 数据处理：主要实现对水质重金属污染参数数据进行报警判断，对仪器状态进行分析，将产生的数据信息存入数据库，同时打印日志信息及报表。
- (4) TCP/IP 的上传：主要实现按站点的通讯规则定时上传数据；根据站点发送指令上传规定的数据。它是独立程序，独立在后台运行[11]。

### 3.4 物理环境

雷州半岛红树林湿地海水重金属污染监测系统是在比较恶劣的环境下执行操作的，通常分布在水库旁

边的上位机上或是河流下游的服务器上，根据雷州半岛红树林湿地海水现场干扰状况与成本考量，本项目选用单片机与模数转换芯片作为数据采集器件。因此，重金属污染数据的传输需要依靠无线传感器网络和无线传输协议，无线传感器网络是依靠 TCP/IP 协议进行传输的。不同的数据层次结构具有不同的数据包，数据报文经过处理之后变成上传数据，传送给更高一层的组织机构。将 GPRS 模块用串口线和 PC 机连接，经超级终端发送 AT 指令进行短信收发，通过手机查看短信内容判断 GPRS 通信是否正常。重金属污染在线监测系统运行的物理环境如图 3：

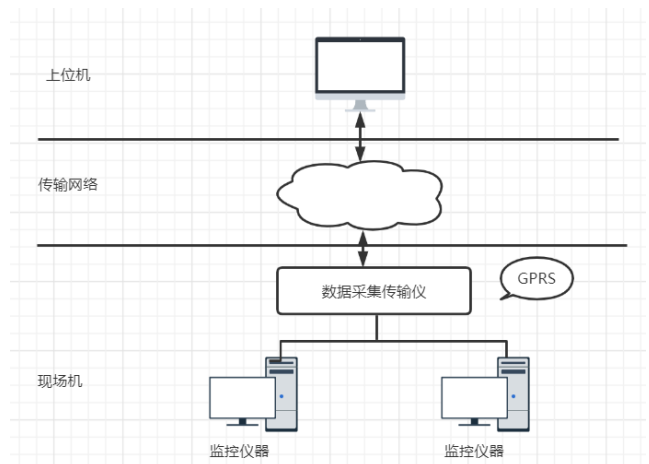


图 3 物理环境图



### 3.5 TCP/IP 上传模块

TCP/IP 上传模块需要按照流程进行工作:当系统完成初始化之后,数据采集模块便开始执行数据采集任务,同时查询是否与后台 TCP/IP 通讯连接,如果未连接,则运用 AT 指令进行连接。它是独立运行的程序,工控机启动时自动启动。图 4 和图 5 分别是 TCP/IP 定时上传程序和应答响应流程图。定时上传程序可以根据 profile 文件的设置选择上传的间隔时间通讯端口不停监测发送的命令指针[12],当监测到正确的命令时就执行相应的操作,当监测到错误的命令就返回继续监听并要求重新传输,直到所有数据都准确无误。

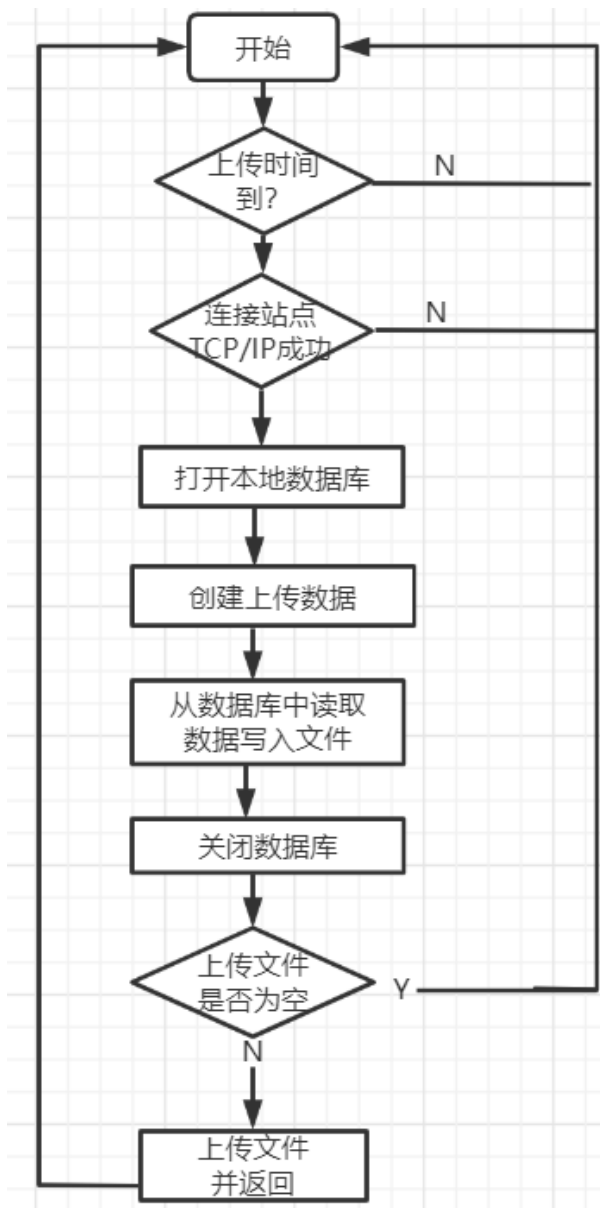


图 4 TCP/IP 上传主程序流程图

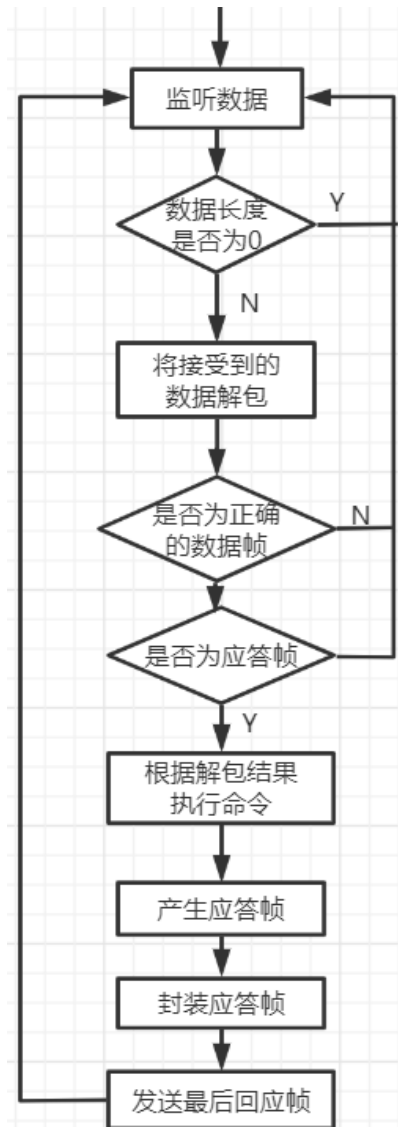


图 5 TCP/IP 应答响应流程图

### 3.6 GPRS 模块

GPRS 英文全称为 General packet radio service, 中文名称为通用无线分组业务,是一种基于 GSM 系统的无线分组交换技术,提供端到端的、广域的无线 IP 连接。相对原来 GSM 的拨号方式的电路交换数据传送方式, GPRS 是分组交换技术,具有“实时在线”“按量计费”“快捷登录”“高速传输”“切换自如”的优点。通俗地讲, GPRS 是一项高速数据处理的技术,方法是以“分组”的形式传送资料到用户手上。GPRS 是 GSM 网络向第三代移动通信系统过渡的一项 2.5 代通信技术,在许多方面都具有显著的优势。因为服务 GPRS 支持节点(SGSN)和网关 GPRS 支持节点(GGSN)实际上就是网关,它们使 GPRS 可以直接接入 Internet。



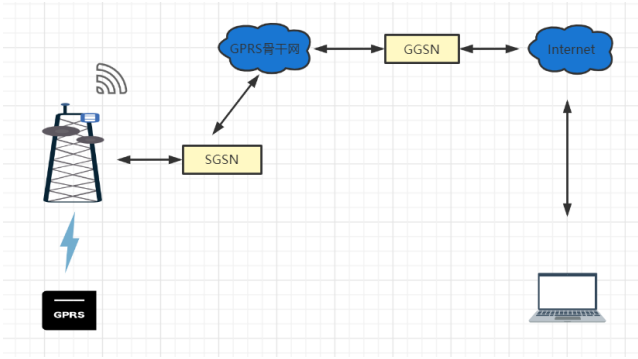


图 6 GPRS 网络结构图

## 4 软件系统设计

### 4.1 基于 Visual Studio 2022 的软件开发

本文采用的是 C#来编程，C#是微软公司发布的一种由 C 和 C++衍生出来的面向对象的编程语言、运行于 .NET Framework 和 .NET Core(完全开源，跨平台)之上的高级程序设计语言。它在继承 C 和 C++强大功能的同时去掉了一些它们的复杂特性（例如没有宏以及不允许多重继承）。C#综合了 VB 简单的可视化操作和 C++的高运行效率，以其强大的操作能力、优雅的语法风格、创新的语言特性和便捷的面向组件编程的支持成为 .NET 开发的首选语言[13]。

### 4.2 Windows 服务软件开发

Windows 服务软件为网关传送过来的数据储存到数据库中提供了桥梁。Windows 服务软件建立 SOCKET 套接字[14]，采用 TCP/IP 协议与网关上的 GPRS 进行通信[15]。与 GPRS 实现 TCP/IP 通信分为服务器和客户端两种模式。一方如果是服务器则另一方必须为客户端。

### 4.3 数据库的访问

在这个系统中，数据库是采用 SQL server 2008 构建的。数据库的访问采用了 ADO.NET 技术，ADO.NET 是一种和数据源进行交互的面向对象的类库，可以实现数据的增加、删除、查询和修改，也可以用来访问各种数据库和文本文件、Excel 表格或者 XML 文件[16]。SQL Server 2008 为关键任务应用程序提供了强大的安全特性、可靠性和可扩展性。

### 4.4 小程序环境数据查询功能设计与实现

环境数据查询功能，根据用户选择的某一具体环境如温度，以及设定查询时间范围进行查询，并以表格形式展示；查询的环境有：据雷州半岛红树林湿地周边水域中 Cr、Cu、Pb、Cd、Ni、Hg 的含量，可查询一周以内的数据，时间范围精确到分钟。小程序环境数据查询流程如图 7 所示。在用户设置好具体环境以及时间范围后，点击查询按钮，小程序通过 wx.request 向服务端发送 POST 请求，服务端根据请求的内容，查询 MongoDB 数据库，再将查询结果返回给小程序，若返回的结果为空，小程序则会弹出弹窗提醒用户暂无该时间段的环境数据，小程序则把返回的数据通过表格的形式展示。小程序环境数据查询功能效果图如图 8 所示。

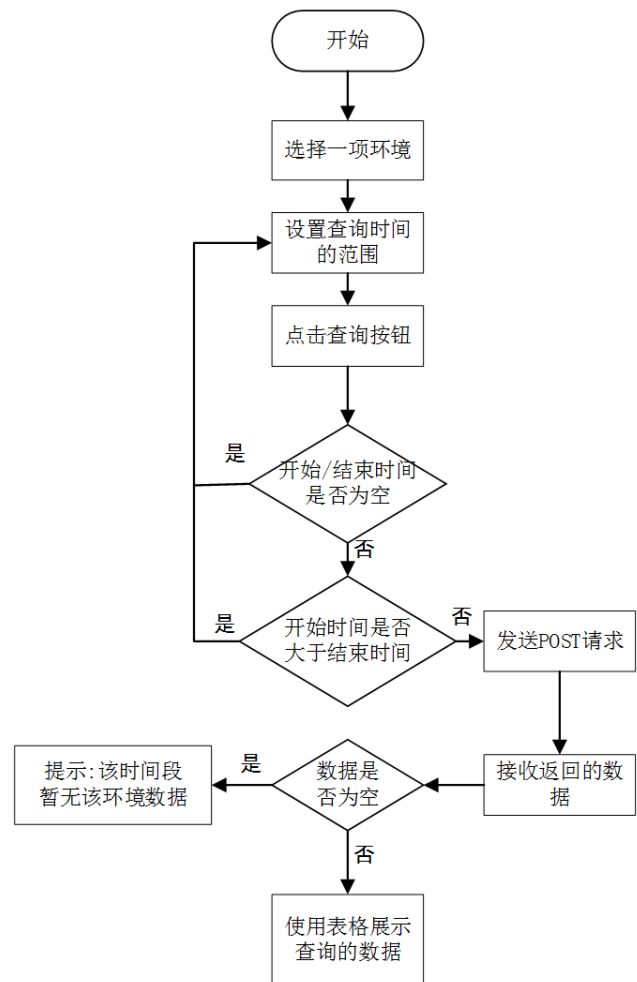


图 7 小程序环境数据查询功能流程图





图8 小程序环境数据查询功能流程图

## 5 实现与分析

数据之间的通信是很重要的一个模块，所以我们要在中心站建设一个 TCP/IP 服务器，该服务器主要接收水质监测站主动上传的数据。中心站由各现场监测点主动上传数据，通过各种通讯设备接入互联网之后，现场与 TCP/IP 服务器利用 Socket 编程实现通信。使用 TCP/IP 协议进行数据通信时，必须经历三个阶段：

- 1) 建立连接阶段：客户机主动发起连接，服务器被动接受连接。在连接成功切换数据态后，我们可以通过 open 命令帧控制 GPRS 主动连接。
- 2) 数据收发阶段：GPRS 模块首先将发送过来的数据存储在缓冲区中，然后将数据传给上位机，上位机一定要及时读出，不然数据会产生溢出。
- 3) 终止连接阶段：当一条连接上所有数据接受完成就可以终止连接了，我们可以使用 rset 命令帧控制 GPRS 模块进行主动挂断。

数据的实时监测可以让管理人员随时观察到监测点中的水质重金属污染数据变化情况，如果出现严重污染等突发情况，就能够及时地得到预警信息，做出快速地决策。现场站建有数据库，长期保存监测的数据，同样中心站也建有数据库对其管理的站点进行数据管理、备份。一些简单的控制和维护工作，需要能够在中心站远程完成。同时，本系统将汇聚和分析得到的数据以图形和数字相结合的方法直观的显示在模

拟的监测仪表图上。管理人员与计算机系统之间的主要是人机接口界面，友好的人机接口界面使管理员方便的对系统管理和监控。

## 6 结语

本文设计了一种基于 GPRS 的雷州半岛红树林湿地海水重金属污染监测系统，系统利用传感器网络为数据中心，源节点将感知的数据汇聚到网关节点，形成传感器节点到网关多到一或者多到多的通信模式，对海水重金属污染检测有其特有的优势。网关把信息进行验证、分类后采用 GPRS 发送到互联网上的服务器，服务器网站利用 SOCKET 套接字把数据存储到数据库，最后可以通过上网来查看采集的数据。现场采集，上网监测使系统更加符合现代社会智能化和简单化，有利于管理员高速处理。

本系统虽然解决了湿地地形复杂、数据信息采集不能实时性等问题，但在监测工作中，技术人员还要通过合理的使用遥感技术，进一步提升该技术的应用水平，提高监测结果的准确性，综合提高治理效果。从实用化的角度分析，该系统还有待进一步完善和改进。

## 致谢

本文为岭南师范学院红树林研究院开放课题资助“雷州半岛红树林科普服务平台构建及海洋意识教育实践”（编号：YBXM02）；2022 年广东省大学生创新创业训练计划立项项目“雷州半岛红树林湿地海水重金属污染监测系统开发”的阶段成果之一。

## 参考文献

- [1] 蔡传亮. 移动网络优化技术在 GSM 通信中的研究与应用[J]. 电子世界, 2014 (8): 46-47.
- [2] 李志富, 陈建平, 分析化学: 华中科技大学出版社, 2015.
- [3] 方如康主编, 环境学词典: 科学出版社, 2003 年 08 月第一版: 第 52 页.
- [4] 海洋沉积物质量标准, 中国大百科全书(引用日期 2020-12-18).
- [5] 夏宏博. 面向水环境监测的无线传感器网络监测节点设计[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2009.



- [6] 席俊清, 吴怀民, 蒋火华, 迟郢. 我国环境监测能力建设的现状及建议 [J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13 (3): 102-106.
- [7] 齐文启, 陈光, 孙宗光. 水质环境监测技术和一起的发展 [J]. 现代科学仪器, 2003, 13 (6): 8-12.
- [8] 武万峰, 徐立中, 徐鸿. 水质自动监测技术综述 [J]. 水利水文自动化, 2004, 22 (1): 14-18.
- [9] 李嵘. 遥感技术在水环境监测中的应用研究 [J]. China Academic Journal Electronic Publishing House, 2005 年 12 月.
- [10] 蒋鹏, 孔一凡. 基于无线传感器网络的水环境监测数据视频基站设计 [J]. 传感技术学报, 2008, 21 (9): 1580-1585.
- [11] (美)佛罗赞, (美) 费根 著, 吴时霖等译. 数据通信与网络机械工业出版社 2007.
- [12] 王海, 张娟等译. 数据与计算机通信, 电子工业出版社 2009. NO. 8.
- [13] C#多线程参考与实例. CSDN 网 (引用日期 2012-09-21).
- [14] 王雷, TCP/IP 网络编程基础教程, 北京理工大学出版社, 2017.02, 第 4 页.
- [15] 张亚琳. 物联网中基于 ZigBee 协议的安全算法研究 [D]. 华南理工大学, 2012.
- [16] 张奇, 李律松, 卫建伟. Visual C#数据库项目案例导航/数据库应用开发技术丛书 [M]. 清华大学出版社有限公司, 2005.