

基于GIS边缘云的水质监测系统研究

王占, 李博

桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2023年8月7日; 录用日期: 2023年9月6日; 发布日期: 2023年9月14日

摘要

水污染环境监测中, 采用实地采样、实验室分析, 需要耗费大量的人力物力并且获取的数据无法保持其时效性。本文将边缘云计算应用于水质监测系统的数据采集与传输, 并结合GIS数据展示, 提出了一种基于GIS边缘云的水质监测系统。通过不同边缘云设备进行数据采集与数据分析, 同时对比实验室相关仪器检测数据, 验证本文水质监测系统的有效性。本文水质监测系统表明在相同环境条件下, 基于GIS边缘云的水质监测系统可以更加快速的获取到水质信息, 并且通过云端将获取的数据展示到网页上。相比较传统的水质监测, 该系统在保证精度的情况下, 提高了水质监测效率, 也保持了水质监测的时效性。

关键词

边缘云计算, GIS, 水质监测, 阿里云平台, GPS, GNSS

Research on Water Quality Monitoring System Based on GIS Edge Cloud

Zhan Wang, Bo Li

College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Aug. 7th, 2023; accepted: Sep. 6th, 2023; published: Sep. 14th, 2023

Abstract

In water pollution environmental monitoring, traditional methods involving on-site sampling and laboratory analysis incur significant human and material resources, and the data obtained may lack real-time relevance. This paper proposes a GIS-based edge cloud water quality monitoring system that utilizes edge cloud computing for data collection and transmission, coupled with GIS data visualization. By employing various edge cloud devices for data acquisition and analysis, the effectiveness of the proposed water quality monitoring system is validated through comparison

with laboratory instrument data. The results of this study demonstrate that, under similar environmental conditions, the GIS-based edge cloud water quality monitoring system can rapidly obtain water quality information. Additionally, the system showcases the collected data on a web page through cloud computing, leading to improved monitoring efficiency while maintaining real-time data relevance compared to traditional water quality monitoring methods.

Keywords

Edge Cloud Computing, GIS, Water Quality Control, Alibaba Cloud, GPS, GNSS

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究意义与背景

1.1. 意义与背景

现如今随着经济的快速发展,人们对于水质的要求不仅仅局限于饮用水的层面,而是扩大到了水产养殖用水,植物种植用水等方面,水质监测不只是可以改善人们的健康,也可以更有效的更有针对性的去治理国内的水资源污染[1]-[11]。所以对于水质监测系统的研究要更加的精细化、具体化,可以让消费者更加直观的看到水质的情况,也能让有关部门可以根据水质情况进行相关的水质治理。

基于 GIS 边缘云计算的研发可以使水质监测获得的数据直接在边缘设备上进行处理并上传,降低了终端设备地计算压力。同时边缘云计算可以将每个设备地坐标通过边缘定位模组进行定位,让水质检测系统可以更好地进行区域展示,每个设备点可以区分开,可以更好的通过每个点位的水质情况进行经济产物的选择。

基于上述情况,本文以 GIS 边缘云计算技术,设计与开发一套基于 GIS 边缘云计算的物联网智能水质监测系统,实现每个区域每个设备点位的数据通过 4G 网络进行实时数据传输,并通过 GIS 技术更加直观的进行数据分析与展示。既减少了人力资源的耗费,又能够增加数据的实时性,并可以直观的获取数据的分析结果与地区之间的关系,以实现更加方便快捷的水质检测。所以设计并实现基于 GIS 边缘云的水质监测系统是非常有意义的。

1.2. 国内外研究现状

近几年随着技术的发展与进步,我国的水质监测系统的研发虽然比不上国外的先进技术,但是与国外的先进技术已经相当接近了。国内的水质监测系统,大部分产品都是较大的仪器,设备安装与携带不方便,不利于大范围的水质监测。现如今国内推出的水质自动监测系统在数据的采集上使用了自动化,但是不能更直观具体的去展示大数据的分析。

在水质监测系统的研发中,虽然已经采用了在线监测、数据分析等先进技术,但是没有在系统中采用 GIS 方法进行采集设备的定位以及对数据分析的二维地图可视化展示。这样降低了对整体水质系统分析的精准度,对一些水质较差的地方不能及时的进行水质改善。

相比于国内的水质检测系统的研究,国外的研究主要突出在水质监测方法上的研究,对于更好的进行水质监测有很大帮助,但是通过对监测方法的改进与更新也不能更好的显示出各个地区水质的具体情

况[10]-[16]。极大的增加了对大范围水质监测与水质改善工作的难度,不利于政府部门进行大数据分析 with 统计。

1.3. 主要研究内容

通过 GIS 边缘云计算对水质监测系统的研究主要包含以下几个部分:

该系统根据水质监测的应用需求,能够实现边缘云设备的数据采集、数据计算,实现数据快捷的网络传输和数据展示,为水质的分析、预测和保护提供了实时的数据。本系统框架主要包括设备端、平台端两部分。

根据水质监测系统的应用需求,采用阿里云平台为平台端,主要进行数据的接收和储存,并将数据通过云平台的 web 功能进行数据和分析结果的展示,同时将数据通过 GIS 地图进行区域分析和展示,使数据更加的直观具体。

设备端采用定位透传模组、Arduino nano、色敏传感器等相关组件,通过色敏传感器获取到水中的总氮含量、定位透传模组进行设备点位的经纬度获取和数据的传输、Arduino nano 开发板作为边缘云进行数据的分析与处理。设备层通过各个组件的协调运作,以实现数据的获取、分析、上传等功能。

2. 系统总体框架

2.1. 总体框架

该系统主要分为设备端和平台端,设备端进行数据的获取、数据的解析以及数据的上传;平台端进行数据的可视化展示和数据的 GIS 地图展示,总体框架如图 1 所示。

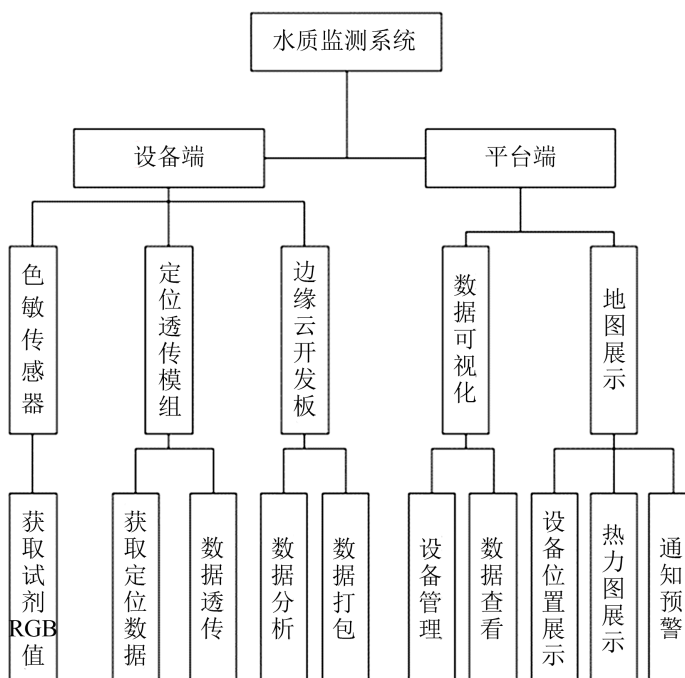


Figure 1. Overall framework

图 1. 总体框架

2.2. 系统操作

系统的各个部件需要同时运作,首先需要进行实验室标准试剂的标定,然后进行实地的试剂标定,

边缘云设备获取到标定的数据后进行数据的判别, 最后将判别的数据上传至云平台进行数据展示和数据的 GIS 地图展示与分析, 系统操作流程如图 2 所示, 云计算与边缘云计算如图 3 所示。

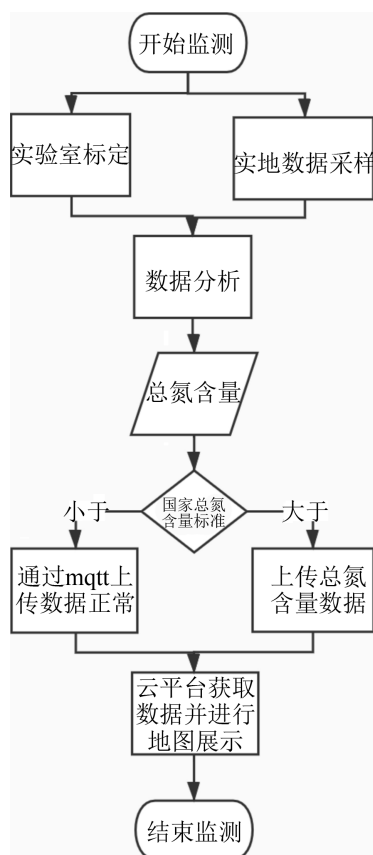


Figure 2. System operation flowchart
图 2. 系统操作流程

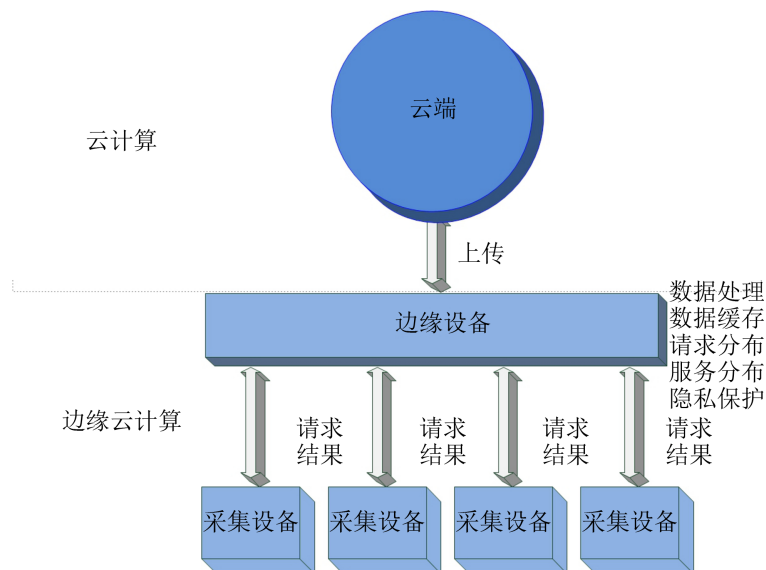


Figure 3. Cloud computing and edge cloud computing
图 3. 云计算与边缘云计算

3. 系统设备端的设计与研究

设备结构示意图如图 4 所示。



Figure 4. Equipment structure diagram
图 4. 设备结构示意图

3.1. 色敏传感器与总氮含量算法

色敏传感器是用于颜色识别的低成本模块。-3 V 至 5 V 的工作电压，其工作原理是：照亮被测物体的明亮 LED 在经过滤镜检查以确定 RGB 的比例值后返回光，该 RGB 的颜色根据 RGB 的比例值。该模块以两种方式读取数据，即串联(水平)或 IIC (2 行)。仅识别出七种颜色，无需计算 RGB 值。它可以适应不同的工作环境，并连接到单个芯片和计算机。色彩敏感度传感器直接与边缘的云设备连接，并通过一系列 TTL 将数据传输到 arduino 设备。接口如图 5 所示、引脚定义如图 6 所示、传感器图如图 7 所示：

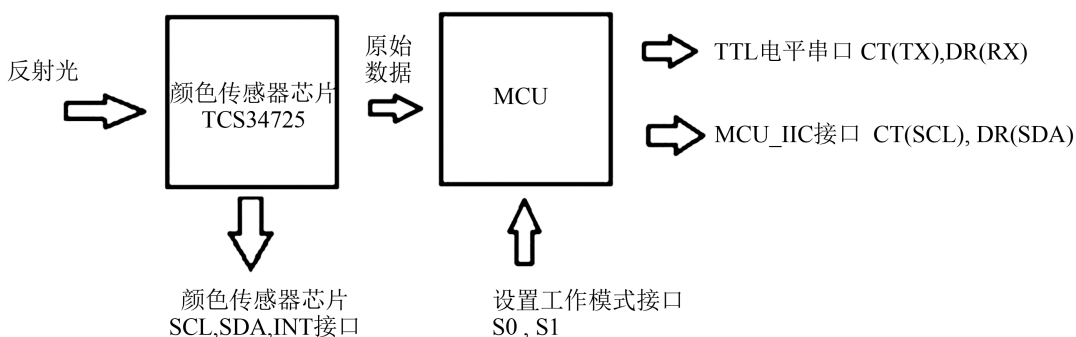


Figure 5. Interface block diagram
图 5. 接口框图

Pin1		电源+ (3v~5v)
Pin2		串口 UART_TX/IIC_SCL
Pin3		串口 UART_RX/IIC_SDA
Pin4		电源地
Pin5		保留, 不要连接
Pin6		TCS34725颜色芯片中断 S1=0(接GND时启用)
Pin7		TCS34725颜色芯片数据线 S1=0(接GND时启用)
Pin8		TCS34725颜色芯片时钟线 S1=0(接GND时启用)
PinA		串口/MCU IIC模式选择
PinB		仅使用传感器芯片选择

注意: ① PinA (S0)硬件选择模块工作模式, Pin2(CT),Pin3 (DR)为GY-33模块通讯接口,

S0=1 (默认)	串口UART模式, PIN2为TX, Pin3为RX, TTL电平
S0=0(接GND时)	MCU_IIC模式, Pin2为SCL, Pin3为SDA

② PinB (S1)仅使用传感器芯片TCS34725模式, 选择MCU是否参与数据处理工作。

S0=1 (默认)	MCU + TCS34725模式, PIN7,Pin8,请不要有任何连接
S0=0(接GND时)	仅TCS34725模式, Pin7为芯片SCL, Pin8为芯片SDA

Figure 6. Pin definition diagram

图 6. 引脚定义图



Figure 7. Sensor diagram

图 7. 传感器图

$$I = 1 - \frac{I_r + I_g + I_b}{I_{br} + I_{bg} + I_{bb}}$$

I_r 代表的是实验室标定试剂颜色中红色的值、 I_g 代表的是实验室标定试剂颜色中绿色的值、 I_b 代表的是实验室标定试剂颜色中蓝色的值; I_{br} 代表的是实地监测标定试剂颜色中红色的值、 I_{bg} 代表的是实地监测标定试剂颜色中绿色的值、 I_{bb} 代表的是实地监测标定试剂颜色中蓝色的值; I 代表的是最终计算得到的总氮含量的代表值, 用1减去标定前后RGB值总和的比值得到最终的结果 I , 通过线性拟合计算出水中的总氮含量, 实验室标准溶液标定如图8所示, 线性关系如图9所示。

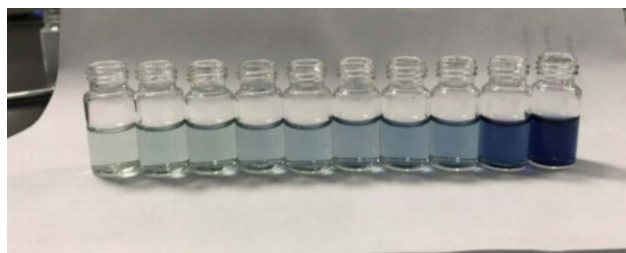


Figure 8. Calibration of laboratory standard solution

图 8. 实验室标准溶液标定

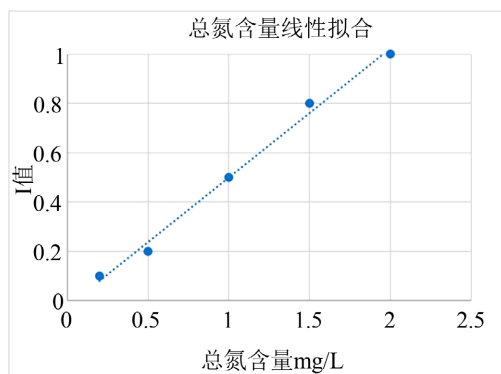


Figure 9. Calibration of laboratory standard solution

图 9. 实验室标准溶液标定

3.2. 定位透传模组

定位透传模组主要是通过泰斗微电子定位模块进行经纬度数据的获取并上传, 通过 4G 芯片进行数据的透传。该模组的优点是集定位与透传为一体, 同时支持 mqtt 协议, 可以通过物联网卡的数据通信将数据传输到云平台。定位透传模组的选择主要是依据定位和透传的需求, 还要依据构建三维模型的尺寸大小, 还要支持项目构建所需要的数据传输协议即 mqtt 数据传输协议。该模组需要使用天线增加模组通讯信号, 确保数据的正常通信与获取。H4GCAT1BDS600SIG (BDS/GPS + 4G CAT1 + 2G 定位透传模组) 是一款小巧灵活、能较为全面的透传定位模组, 适用于移动、联通、电信 4G 和 2G 网络通信。以“透传 + 定位”作为功能核心, 采用双排针封装用户可方便快速集成于自己的产品中, 缩短产品的研发时间和最终上市时间。“透传 + 定位”模组采用纯正“中国芯”的泰斗微电子定位模块和 CAT1 模块, 已批量市场验证, 目前正在以下产品或行业得到广泛应用。模组基本参数图如图 10 所示:

项目		描述
型号	H4GCAT1BDS600SIG	支持移动、联通、电信4G和2G 支持BDSB1/GPSL1/GIONASSL1频点 备注: 也有4G透传不带定位功能模块
接口说明	电源	DC:5-16V, 推荐12V供电
	UART	TTL(3.3V电平) 1200、2400、4800、9600、14400、19200、28800、33600、38400、57600、115200、230400、460800
	输入接口	PWR_EN: 电源控制信号, 不用悬空, 高电平有效 RESET: 复位信号, 不用悬空, 低电平有效 RELOAD: 恢复出厂设置, 不用悬空, 低电平有效
	输出接口	LINKA: Somet1通讯状态指示, 不用悬空 LINKA: Somet2通讯状态指示, 不用悬空 net: 4G模块网络状态指示, 不用悬空
	SIM/USIM卡	板载Micro SIM卡座, 不用悬空 支持外引卡座 支持3V/1.8V SIM卡
	4G/定位天线接口	IPEX座
	封装形式	DIP-23Pin
外形尺寸	尺寸(mm)	41.8X44.5X12.7(含插针高度)
	重量(g)	20g
温湿度范围	工作温度	30°C~+75°C
	存储温度	40°C~+85°C
	工作湿度	5%~95%
LTE特性	LTE-FDD	下行10Mbps, 上行5Mbps
	LTE-TDD	下行6Mbps(8Mbps), 上行4Mbps(2Mbps)
发射功率	LTE-TDD	Class3(23dBm+1/-3dB)
	LTE-FDD	Class3(23dBm±2dB)
软件功能	数据传输	数据透明传输

Figure 10. Basic parameter diagram of positioning transmission module

图 10. 定位透传模组基本参数图

模块接口包括: 1 路 UART、电源、复位控制、电源控制、恢复出厂设置, 网络指示灯、Soket1 通讯指示灯、Soket2 通讯指示灯, 模块自带 Micro SIM 卡座, 支持用户外扩 USIM 卡。为方便客户研发及批量生产, 通过双排插针插接到用户开发板上, 应用框图如图 11 所示:

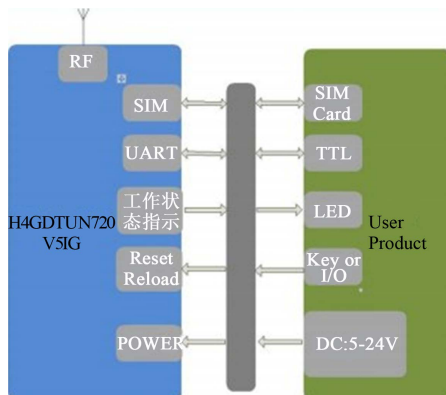


图2.2、应用框图

Figure 11. Module application block diagram

图 11. 模组应用框图

模组的引脚需要区分好, 避免使用错误的引脚造成数据传输的错误和模组电路的短路, 引脚定义图如图 12 所示。本系统需要使用的引脚有引脚 6 (串口发送)、引脚 7 (串口接收)、引脚 12 (模组电源负极)、引脚 13 (模组电源正极)。数据传输使用的是 UART 接口即 USB 转 TTL 接口, 模块串口发送 UTXD 和串口接收 URXD, 和用户 MCU 需交叉接线, 3.3 V 电平, 默认波特率 115,200, 通过软件可配置通讯波特率。模块 UART 接口经过逻辑驱动芯片, 使得 UART 驱动能力增强, 支持人体静电放电模式±2 KV, 器件充电模式(CDM) ±1 KV。UART 电平图如图 13 所示:

管脚	名称	信号类型	说明
1	LINKA	O	第1路网路连接是否建立指示, 连接后输出高电平(3.3V), 未连接输出低电平
2	LINKB	O	第2路网路连接是否建立指示, 连接后输出高电平(3.3V), 未连接输出低电平
3	NC	NC	悬空。
4	NC	NC	悬空。
5	NC	NC	悬空。
6	UTXD	O	串口发送(TTL), 默认波特率115200
7	URXD	I	串口接收(TTL), 默认波特率115200
8	NC	NC	悬空。
9	NC	NC	悬空。
10	NC	NC	悬空。
11	GND	P	模块电源负极
12	GND	P	模块电源负极
13	VIN	P	模块电源正极, 电压范围: 5-16V。
14	VIN	P	电源正极, 电压范围: 5-16V。
15	NET	O	不同闪烁频率代表不同网络状态, 1.8V电平。
16	3.8V	P	支持3.8V供电。
17	NC	NC	悬空。
18	RELOAD	I	恢复出厂设置, 低电平3-15秒钟有效。
19	RESET	I	模块复位, 低电平1-2秒钟有效。
20	USIM	P	SIM卡供电引脚, 不用悬空。
21	USIM_DATA	I/O	SIM卡数据引脚, 不用悬空。
22	USIM_CLK	O	SIM卡时钟引脚, 不用悬空。
23	USIM_RST	O	SIM卡复位引脚, 不用悬空。

Figure 12. Pin definition diagram

图 12. 引脚定义图

	最小电压(V)	典型电压(V)	最大电压(V)
高电平输入电压	2.31		3.6
低电平输入电压			0.99

Figure 13. UART level diagram

图 13. UART 电平图

模块提供符合 ISO7816-3 标准 SIM 卡接口, 自动识别 3.0 V 和 1.8 V 的 SIM 卡, 在标准模式下 USIM 卡提供 3.25 MHz 时钟信号。集成自弹式 Micro SIM 卡座, 安装 SIM 卡时金属片朝上(PCB 板), 卡片缺口朝里。为方便用户扩展 SIM 卡接口引到插针上, 用户可根据需求设计, 不需要外扩 SIM 卡座, 对应插针悬空即可。SIM 尽量选择物联网卡, 信号稳定, 模组识别度高。模块输入电压范围 DC5-16 V, 推荐 12 V 供电, 电源提供电流 > 1 A, 不同输入电压对应输入电流是不同, 输入电压越低要求输入电流越大。如果用户是 5 V 供电, 建议靠近模块电源引脚并联 220 uF~680 uF 电解电容。模块不支持交流或半波整流供电, 或电源电压不稳方案供电。例如, 有客户采用 AC12 变压器方案, 需要考虑变压器经整流滤波输出, 空载电压偏高, 另外加上电网电压波动, 很容易使电源芯片过压而击穿。AC12 V 变压器经过整流滤波后, 电源电压最高到 20 V 左右, 已经超过模块最高输入电压。为保证模块电源稳定, 模块内部电源芯片输出 3.8 V 电源, 用户使用接入负载电流 < 100 mA, 避免接入负载电流瞬间电流过大, 3.8 V 电源波动导致通讯不稳定。如果用户底板有 3.8 V 供电, 则不需要接输入 12 V 电源。

3.3. Arduino Nano 开发板

Arduino Nano 是一个开源、灵活且易于使用的电子原型平台。开发板尺寸小巧。Arduino Nano 是基于 atmega328p 的开发板, 可以直接连接到面包板上。没有直流电压供电接口, 通过 Mini-B USB 接口与电脑连接。Arduino Nano 引脚简图如图 14 所示, 性能简介图如图 15 所示。

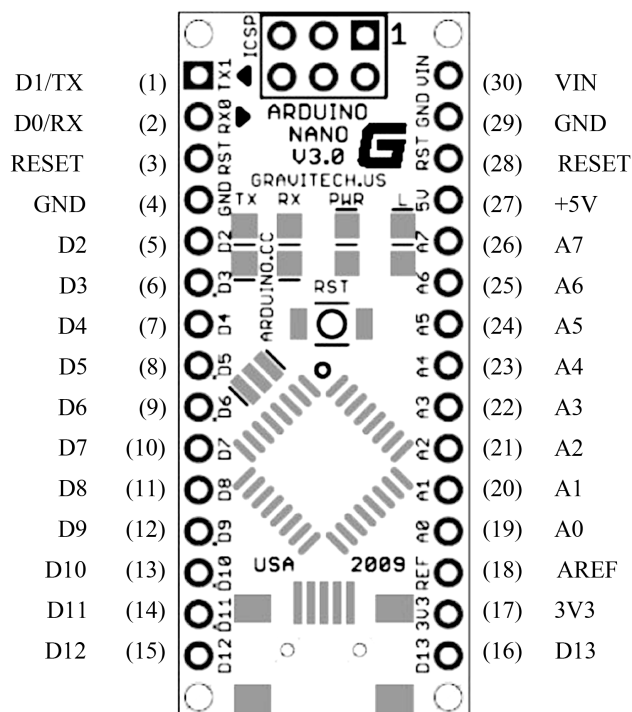


Figure 14. Pin diagram

图 14. 引脚简图

Nano	技术参数
控制器	ATmega328P
Flash	32KB
Sram	2KB
EEPROM	1KB
Sram	2KB
模拟输入引脚	8个
数字IO	22个
PWM	6个
时钟频率	16MHZ

Figure 15. Performance introduction chart
图 15. 性能简介图

3.4. 云平台设备配置与研究

阿里云平台将设备的各项参数配置好, 同时将设备的物理模型和 topic 类配置好, 设备参数如图 16 所示。

← 水质监测
搜

ProductKey a1wD0pvdegg [复制](#) ProductSecret ***** [查看](#)

设备数 51 [前往管理](#)

产品信息
Topic 类列表
功能定义
消息解析
服务端订阅
设备开发
文件上传配置

产品信息

产品名称	水质监测	节点类型	网关子设备	创建时间	2019/11/06 01:01:34
所属品类	自定义品类	数据格式	ICA 标准数据格式 (Alink JSO N)	数据校验级别	强校验
认证方式	设备密钥	状态	● 已发布	接入网关协议	自定义
产品描述	-				

标签信息

产品标签 p.a123SNDRTSuugA5X:a123SNDRTSuugA5X p.a124B0MkrvltUBKa:a124B0MkrvltUBKa p.a124DjZJ6EFC7A5k:a124DjZJ6EFC7A5k

Figure 16. Equipment parameters
图 16. 设备参数

4. 结果展示与对比分析

将设备安放至资阳市琼江河支流分支处的不同点位, 在河流分支处和河流转弯处设备放置较为密集, 设备分布热力图如图 17 所示。设备处理过后的数据和定位信息, 通过透传模组传输到云平台, 将每个设备位置定位到地图相应位置, 同时将总氮含量数据展示到地图中, 总氮含量地图展示图和遥感展示图如图 18 和图 19。



Figure 17. Equipment point distribution thermal diagram
图 17. 设备点分布热力图

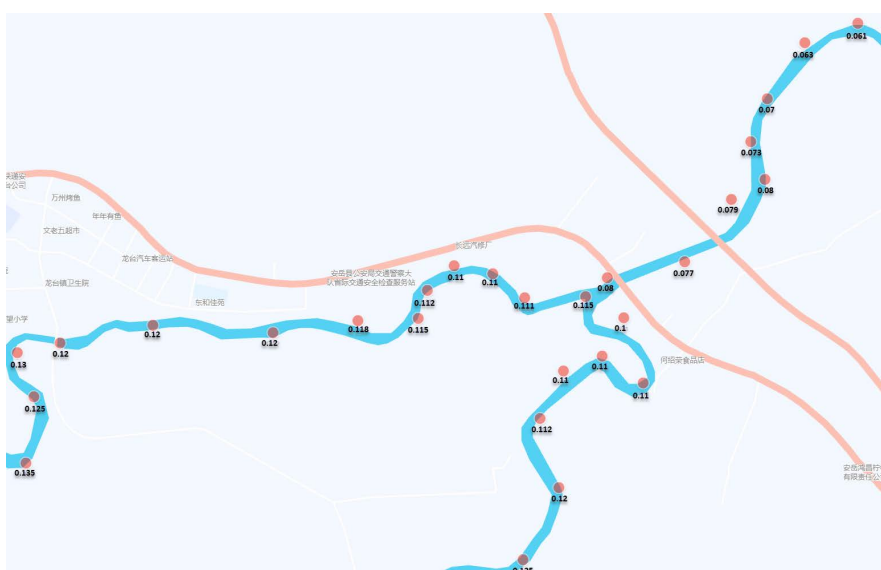


Figure 18. Map display of total nitrogen content
图 18. 总氮含量地图展示图

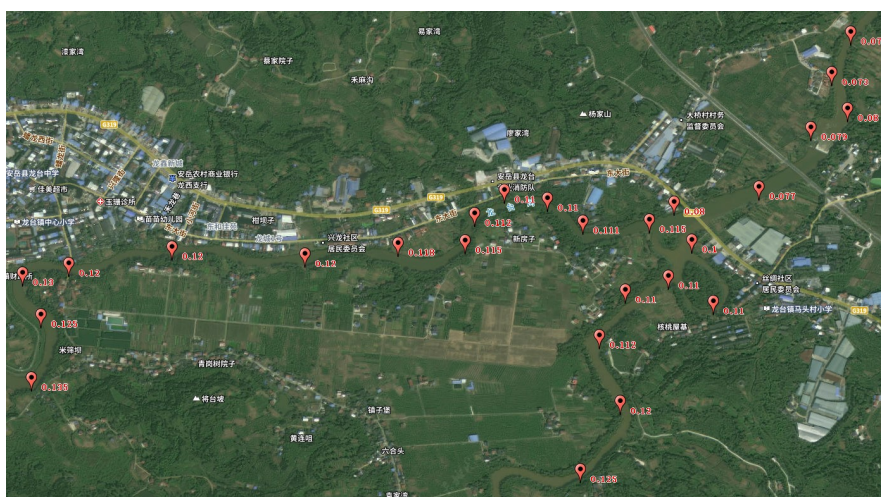


Figure 19. Remote sensing display of total nitrogen content
图 19. 总氮含量遥感展示图

通过总氮含量数据展示图可以得出, 在无转弯的流域中总氮含量值无较明显变化, 在有转弯或支流的流域中, 总氮含量会在冲积一边含量较大。但是随着河水从上游留至下游, 河水中的总氮含量会逐渐增大。

将水质监测系统得到的数据与实验室相对应位置测得的总氮含量数据对比如图 20 所示, 本文水质监测系统得到的数据基本上与实验室测得的数据接近或一致, 确定了该水质监测系统的有效性。

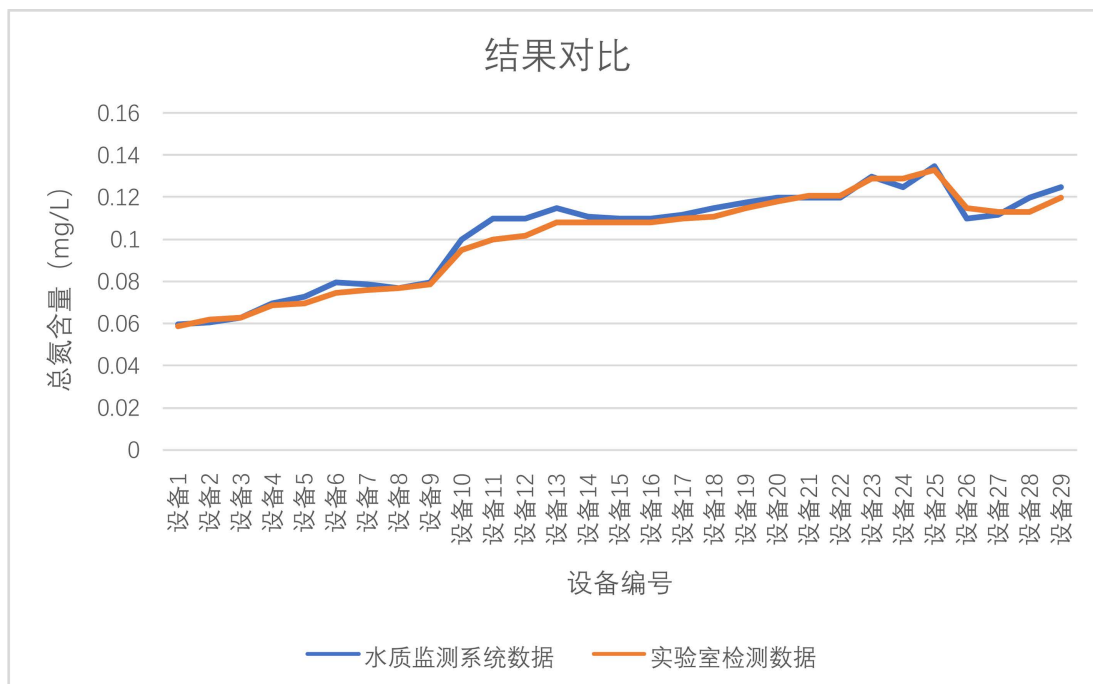


Figure 20. Result comparison chart

图 20. 结果对比图

5. 结论与展望

本文提出了一种基于 GIS 边缘云的水质监测系统, 利用边缘云设备和云平台结合, 进行水质监测与数据展示。本文研究结果分析表明, 该水质监测系统监测数据的可靠性较高, 同时设备方便携带和安放, 同时采用边缘云和云平台, 可以更快更加实时的进行水质监测。相比较实地考察实验室数据检测, 节约了更多的人力物力。通过设置该水质监测系统, 得到了以下重要认识:

- 1) 水质监测系统的防水性需要进一步提高, 良好的防水性可以大大提高水质监测的质量和可以监测的时间;
- 2) 本文设计的水质监测系统, 只能对较浅位置进行水质监测, 无法获取到深部的水质情况, 如何进行深部水质监测是水质监测系统后期的研究方向。

参考文献

- [1] 张娴静, 褚含冰, 刘鑫. 基于边缘云框架的高效安全人脸表情识别[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(5): 1472-1478.
- [2] 曾昭才, 成静静, 潘桂新. 基于 5G 边缘云技术赋能智慧教育应用创新[J]. 数据通信, 2021(2): 4-6.
- [3] 田贤忠, 许婷, 朱娟. 一种最小化时延多边缘节点卸载均衡策略研究[J/OL]. 小型微型计算机系统, 1-9. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1106.TP.20210521.1500.002.html>, 2021-05-23.

-
- [4] Cuss, C.W., Ghotbizadeh, M., Grant-Weaver, I., Javed, M.B., Noernberg, T. and Shotyck, W. (2021) Delayed Mixing of Iron-Laden Tributaries in Large Boreal Rivers: Implications for Iron Transport, Water Quality and Monitoring. *Journal of Hydrology*, **597**, Article 125747. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125747>
- [5] 饶黎冰, 赖庆斌, 曹德华. 福建省龙岩市新罗区农村生活饮用水水质监测分析[J/OL]. 疾病预防控制中心通报, 2021, 36(3): 1-3. <https://doi.org/10.13215/j.cnki.jbyfkztb.2010020>, 2021-05-23.
- [6] 王蕊. 地表水水质自动监测站建设与运行管理策略探讨[J]. 科技经济导刊, 2021, 29(13): 142-143.
- [7] 刘嘉. 环境监测实验室水质监测的质量控制[J]. 清洗世界, 2021, 37(4): 28-29.
- [8] 崔瑞秋, 梅翔, 辛光红, 杨波. 在线水质监测系统设计与实现[J]. 电子世界, 2021(8): 135-137.
- [9] Dai, J.Y., Gao, W.L., Yin, J.W., Liang, L.J., Zou, J. and Jin, Q.H. (2021) Microfluidic Sensor Integrated with Nano-channel Liquid Conjoint Ag/AgCl Reference Electrode for Trace Pb(II) Measurement. *Analytica Chimica Acta*, **1164**, Article 338511. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2021.338511>
- [10] Pallarès, A., Schmitt, P. and Uhring, W. (2021) Comparison of Time Resolved Optical Turbidity Measurements for Water Monitoring to Standard Real-Time Techniques. *Sensors*, **21**, Article 3136. <https://doi.org/10.3390/s21093136>
- [11] Sighicelli, M., Perrone, M., Lecce, F., Malavasi, M. and Scalici, M. (2021) An Integrated Approach to Chlorophyll Monitoring in Surface Freshwater: The Case Study of Lake Albano (Central Italy). *Water*, **13**, Article 1253. <https://doi.org/10.3390/w13091253>
- [12] Bagheri, N., Cinti, S., Nobile, E., Moscone, D. and Arduini, F. (2021) Multi-Array Wax Paper-Based Platform for the Pre-Concentration and Determination of Silver Ions in Drinking Water. *Talanta*, **232**, Article 122474. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122474>
- [13] 罗海健, 李冬梅. 水质在线监测技术在实验教学中的应用研究[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(2): 128-131+145.
- [14] 张心雨, 周慧敏, 郑懿, 镇华君, 修光利, 张雅灵. 城市轨道交通车站冷却塔循环水水质监测分析[J]. 广东化工, 2021, 48(8): 247-249.
- [15] Sodin, D., Rudež, U., Mihelin, M., Smolnikar, M., Čampa, A. (2021) Advanced Edge-Cloud Computing Framework for Automated PMU-Based Fault Localization in Distribution Networks. *Applied Sciences*, **11**, Article 3100. <https://doi.org/10.3390/app11073100>
- [16] 朱事成. 基于 GIS 的苏州水环境监测管理信息系统的构建与应用研究[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州科技大学, 2019.