

基于4G/5G和北斗传输的 水雨情监测终端设计

陈庆卫¹, 李旭成², 张正超², 朱烱豫³

(1. 水利部南京水利水文自动化研究所, 江苏 南京 210012; 2. 江苏南水科技有限公司, 江苏 南京 210012;
3. 江苏省水文水资源勘测局苏州分局, 江苏 苏州 215129)

摘要: 针对当前水雨情监测终端在数据传输稳定性、实时性、覆盖范围等方面的不足, 本文设计一种高性能水雨情监测终端, 该终端不仅集成多种传感器接口与通信协议, 还在功能设计、功耗设计以及传输方式上进行全面优化, 以确保在复杂多变的水文环境下实现可靠、稳定的水雨情监测。

关键词: 水雨情监测终端; 功能设计; 功耗设计; 传输方式

中图分类号: P338

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2024)12-0050-0006

Design of water and rain monitoring terminal based on 4G/5G and Beidou transmission

CHEN Qingwei¹, LI Xucheng², ZHANG Zhengchao², ZHU Tianyu³

(1. Nanjing Automation Institute of Water Conservancy and Hydrology, Ministry of Water Resources, Nanjing 210012, China; 2. Jiangsu NIHWA Technology Co., Ltd., Nanjing 210012, China;
3. Suzhou Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Suzhou 215129, China)

Abstract: In view of the current deficiencies of water and rain monitoring terminals in terms of data transmission stability, real-time performance, and coverage, this article designs a high-performance water and rain monitoring terminal, which not only integrates a variety of sensor interfaces and communication protocols, but also carries out a comprehensive optimization of the functional design, power consumption design, and transmission mode, to ensure that reliable and stable water and rain monitoring can be realized under the complex and changeable hydrological environment.

Key words: water and rain monitoring terminal; functional design; power consumption design; transmission mode

我国流域面积 50 km² 及以上河流 45 203 条, 常年水面面积 1 km² 及以上湖泊 2 865 个。河湖水系相互交织, 形成复杂多样的河网格局和生态系统, 成为国家水网的重要本底条件^[1]。根据中共中央、国务院印发的《国家水网建设规划纲要》, 到 2035 年, 我国仍需要完善江河湖泊流域防洪减灾体系, 完善水网监测体系, 推动新一代通信技术、高分遥感卫

星等新技术新手段的应用, 建成以智慧调控为手段的综合国家水网体系。推动新阶段水利高质量发展, 迫切需要突破卫星遥感水利业务化应用瓶颈, 深化地球观测技术与水利业务的深度融合。水利工程的建设与遥感技术的结合, 推进水利遥感业务化应用, 仍是未来一段时间发展的方向。

水雨情监测终端方面, 国内学者开展了相关研

收稿日期: 2024-10-17

作者简介: 陈庆卫(1970—), 男, 工程师, 本科, 研究方向为无线电通信技术。E-mail: 27172902@qq.com

究。刘林海等^[2]采用4G移动网络传输水雨情数据和视频图像,实现水雨情监测系统可视化;赵伟杰等^[3]分析了双通道传输技术的先进性和优越性,为大中小型水库水雨情遥测系统的配备与改造提供实践经验和技术支撑;李然等^[4]通过在遥测终端机上外接4G物联网通信模块和北斗卫星用户机,满足4G物联网信道和北斗卫星信道数据接入需求,实现水雨情数据信息自动采集传输和互联互通;许亮等^[5]在中心站布置卫星指挥机及前置机接收北斗短报文,实现了GPRS+卫星双信道遥测通信,保障了数据传输的稳定性与可靠性。

上述研究以及现有水雨情监测终端仍存在以下不足:(1)部分偏远地区4G网络不能全面覆盖导致无法正常上传监测数据;(2)大多遥测终端通过有线的方式修改参数,显示屏或键盘容易失灵;(3)主流GPRS+北斗双信道通信多是外接通信模块,集成化程度不高。基于以上研究不足,本文设计一种一体化、高可靠性的4G/5G及北斗双通道数据传输的水雨情监测终端RTU,为水雨情监测的稳定、可靠传输提供技术保障。

1 方案设计

水雨情监测系统由太阳能充电模块、电源模块、水雨情监测传感器、监测终端RTU、可视化监测平台组成^[6]。其中监测终端RTU包括微控制器、4G/

5G模块、北斗模块、蓝牙模块、固态存储模块等,配备多种电路接口,包括12位格雷码并口、光电消抖脉冲量接口、RS232接口、RS485接口等,模块之间通过微控制器的I/O接口或UART串行异步通信。水雨情监测终端设计方案如图1所示。

监测终端RTU按照《水文自动测报系统设备 遥测终端机》(SL 180—2015)行业标准在设定时间点自动采集水位、雨情及电池电压等相关数据,采集数据按照设定模式通过4G/5G或北斗卫星上传到中心站服务器。一般情况下,当RTU处于网络覆盖不佳、无网络覆盖地区或者4G/5G模块损毁导致发送数据失败时,采用北斗卫星通信,以北斗短报文的形式将数据发送到中心站。

监测终端RTU采用4G/5G及北斗卫星通信形成1主1备通信方式将相关数据发送到中心站存储、显示。4G/5G通信与北斗通信相互独立,传输方式可根据用户实际需要,通过设置参数使得两种通信方式同时或者交替运行,有效避免了单点故障的风险。当其中1个通道出现拥堵或者延迟的情况,终端可自动开启另1条通道进行数据传输,能够保障终端的稳定运行。在传输过程中,其中1个通道的数据丢失或损坏,则另1个通道的数据仍然可以作为备份恢复,从而保障数据的安全性。若两个通道同时出现故障,则将传输失败的数据暂存到内存中,等待通信恢复后,再将数据打包补发。综上所述

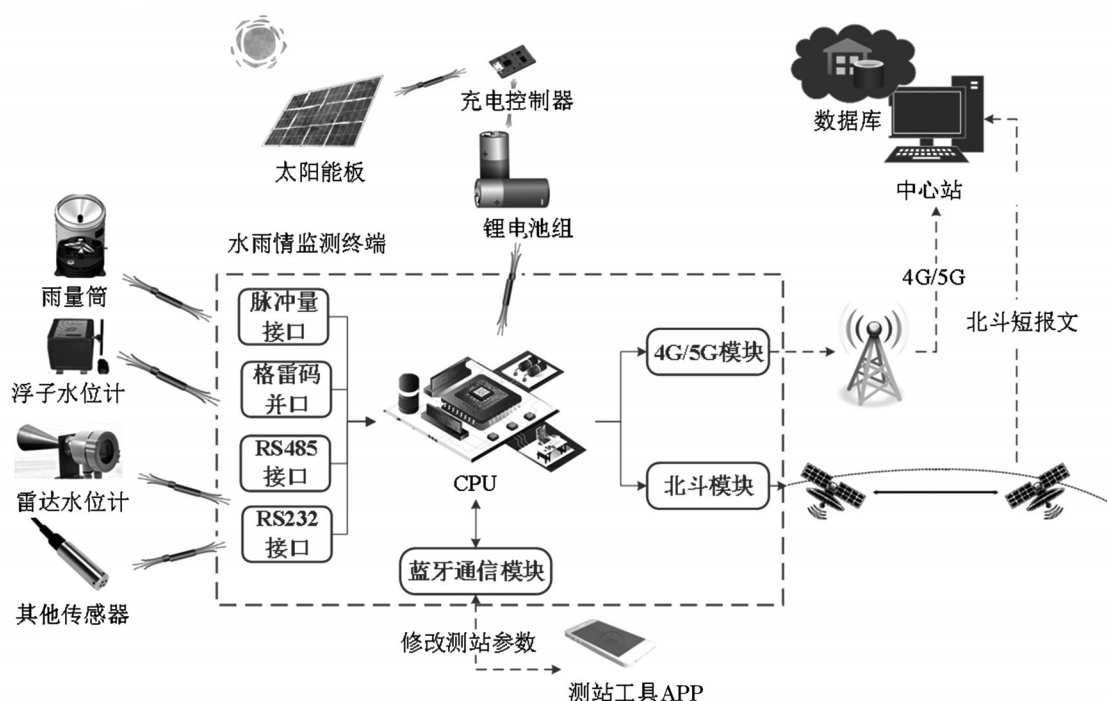


图1 水雨情监测终端总体方案设计

述,监测终端RTU采用双通道的数据传输方式能够有效地提高设备可靠性,增强设备稳定性,提升数据安全性。

2 水雨情监测终端原理设计

监测终端RTU采用超低功耗芯片MSP430F5438A微控制器,通过12位格雷码并口、光电消抖式脉冲量、RS485等接口,采集不同信号类型传感器水位、雨情数据。微控制器通过通用GPIO口、串行通信接口UART与外部电路进行数据交换,由于MSP430F5438A微控制器不具备串行通信接口I2C,所以部分功能模块使用通用GPIO口的输入输出功能模拟I2C总线的时序通信。

微控制器与实时时钟RTC、存储模块之间通过模拟I2C总线时序的方式通信,微控制器读取RTC的分钟数据,计算到达下1个5 min的时间,并设定下1个分钟报警以产生分钟中断信号,此时,微控制器读取水位、雨情数据并存储;微控制器将水位、雨情数据与上一时刻对比,并根据设定阈值判断相应是否开启4G/5G模块,执行相应的动作,水位、雨情数据的传输可通过蓝牙模块配置成《水文监测数据通信规约》(SL651—2014)或者《水资源监测数据传输规约》(SL/T 427—2021)。

监测终端RTU利用4G/5G网络以及北斗卫星来实现时间同步。监测终端首先使用北斗卫星的校时功能,获取北斗卫星发送的包含时间信息的数据,之后将该时间信息与4G/5G网络中获取时间信

息比对和校验,最终将对对比和校验之后的时间信息用于校正实时时钟RTC,以确保监测终端时间的准确性,提高时间的同步精度。

在监测终端RTU运行过程中,不论数据的采集与发送,还是数据的接收,都有可能产生错误数据。在数据处理的过程中采用数据校验与异常值检测的方式提高数据的准确性。在发送数据之前,监测终端会按照行业标准传输规约对数据信息封装,并添加校验码或校验和,中心站在接收到数据后,也会重新计算校验位,并与接收的校验位对比,若校验失败,则请求重传。监测终端根据错误数据标识或补发策略进行数据的重传或补发,数据补发策略根据网络状况动态进行调整,并且遵循与原始数据相同的封装和校验规则。

微控制器与4G/5G模块通过UART通信,使用AT指令集读取和设置4G/5G模块参数,并打开串口接收中断向量,获取4G/5G模块链路通信数据。微控制器向4G/5G模块发送AT指令,设置4G/5G模块的波特率、数据位等参数,并发送服务器地址和端口号以连接服务器。微控制器通过接收4G/5G模块返回的数据或响应进行相应的操作。在水位、雨情数据传输过程中,若微控制器没有收到中心站返回的数据报文,将开启北斗模块发送数据,并在下1个5 min后继续使用4G/5G发数,用户可以在中心站读取到测站参数、数据采集及发送时间、电池电压以及水位、雨情等相关数据。监测终端RTU功能框图如图2所示。

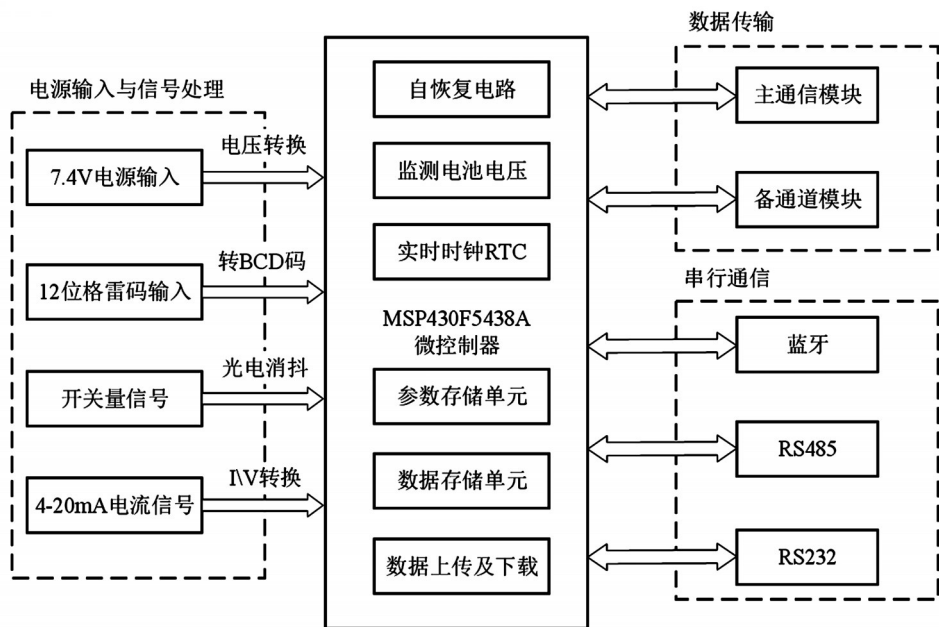


图2 水雨情监测终端框图

3 功能模块设计

监测终端 RTU 除了满足水雨情要素感知功能和数据传输功能之外,还应具有可靠的功能模块保障设备的稳定运行。本监测终端 RTU 通过硬件功能和软件功能两个方面进行优化设计以保障 RTU 的稳定运行,增强设备的可靠性。

3.1 硬件功能设计

(1) 自恢复功能

为防止程序因供电电源、空间电磁干扰或其他原因引起的干扰噪声信号而运行异常,本监测终端 RTU 特别设计了一套自恢复电路,可以在程序发生错误时使受控系统重新启动。该电路的核心元器件为 MC14521B 和 MC14011B,由它们共同协作以确保持 RTU 设备的稳定运行。

MC14521B 是 1 个可编程定时器/计数器,而 MC14011B 是 1 个 4-2 输入端与非门电路。时钟系统每 5 分钟向微控制器输出 1 个中断信号进入中断服务函数,此时进行 1 次“喂狗”操作,触发 MC14521B 计数清零。以上过程是 RTU 程序运行的正常操作,然而为了检测并应对可能出现的程序异常,从设置 MC14521B 每 8 min 输出 1 个高电平信号,这个高电

平信号经过 MC14011B 逻辑转换后,会转变成 1 个低电平脉冲信号并输出到微控制器的复位引脚,强制微控制器重新启动,从而恢复程序正常运行。

(2) 蓝牙通信功能

监测终端 RTU 的蓝牙通信功能主要用于无线通讯、参数配置和数据传输等方面。用户可通过“测站工具 APP”修改测站特定的站点信息,包括服务器 IP 地址及端口、卫星站号、测站站号、测站类型、定数发送间隔、数据采样间隔等信息。利用蓝牙通信技术,可以实现数据的无线远程传输,特别适用于现场布线困难的场景,极大提高了监测终端 RTU 的灵活性与便利性。“测站工具 APP”参数修改界面如图 3 所示。

3.2 软件功能设计

(1) 主程序软件设计

监测终端 RTU 软件部分主要功能是完成水雨情数据的采集、存储及传输。系统通电后,关闭看门狗,完成时钟系统、I/O 口初始化配置,之后清零自恢复电路计数器,读取设备基本配置信息(软件版本号、IP 地址、端口号等),并通过 4G 模块与北斗模块读取时间校正系统时钟,判定是否清除雨量标志位,最后开启系统中断并进入低功耗模式。当有中



图3 “测站工具 APP”参数修改界面

断信号发生时,微控制器会被唤醒并执行中断服务函数。雨量中断信号发生时,增加雨量积累值,并写入存储单元;5 min定时中断信号发生时,采集水位、雨量数据,并与上一时刻的数据作比较,当数据发生变化,启动4G/5G、北斗模块发送数据;蓝牙按键中断信号发生时,进入蓝牙中断服务函数,进行参数的修改操作。中断服务处理函数结束,系统再次进入休眠状态,等待下1次中断信号发生。程序设计流程如图4所示。

(2)远程维护功能

监测终端RTU支持远程维护功能,用户可通过4G/5G实现远程改参、程序升级功能,极大提高了设备的可管理性和灵活性。用户通过中心站软件平台对RTU的参数进行配置和修改,该功能与通过蓝牙模块改参功能相同,此处不作过多赘述。监测终端RTU的远程升级功能是指通过网络将新的软件或固件版本打包成升级包,用于修复已知漏洞、添加新功能或提高性能。首先用户将新的软件或固

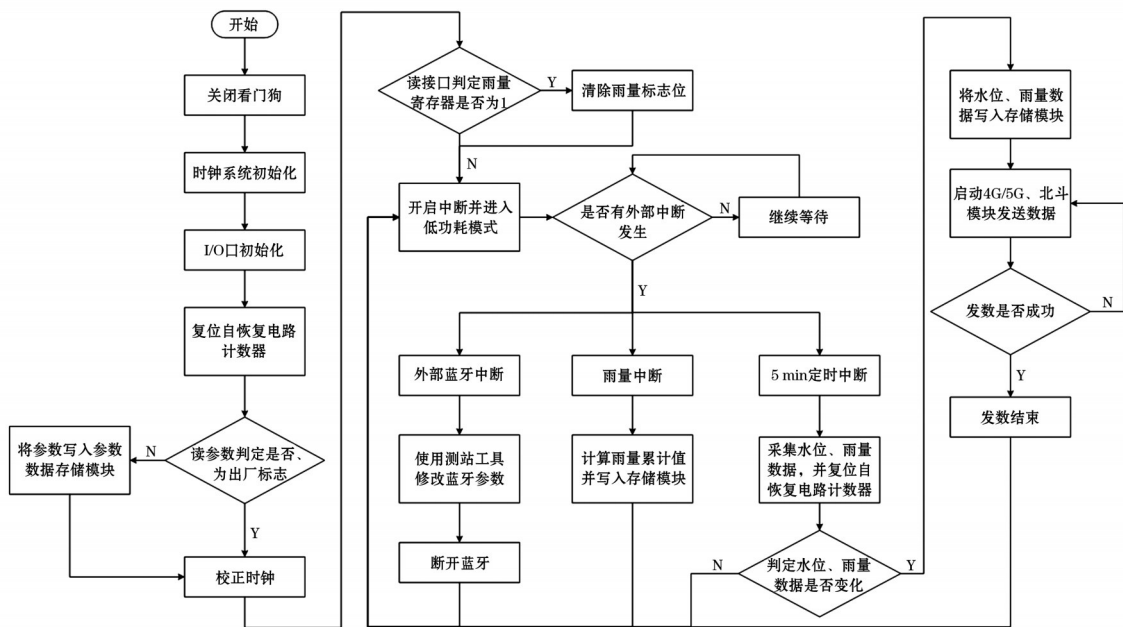


图4 遥测终端软件设计流程

件版本打包,并且确保格式符合升级要求,其次用户通过4G/5G网络将升级包上传到RTU设备,该步骤需保证有良好的网络环境,以防止升级包在传输过程中发生数据丢失,之后RTU对升级包进行验证,若验证通过则开始执行升级操作,最后升级完成,用户登录远程操作平台验证升级结果。通过4G/5G网络实现RTU设备的远程维护,为用户提供便捷和高效的管理方式,能够有效降低运维成本,并提高设备的可靠性及稳定性。

4 功耗设计

为了降低设备功耗,监测终端RTU在电源管理方面控制电源使用频率及模块化管理电源,在工作模式设计上采用微控制器休眠、软件控制唤醒机制,这些手段能够有效延长电池使用寿命,降低设备功耗,提高设备的可靠性和稳定性。

(1)电源管理设计

电源管理设计包括电源电路设计以及电源使用管理两个方面。电源电路设计的本质是将输入电源转变为稳定、可靠的输出电压供给元器件使用,合理的电源电路能够在系统正常工作的前提下最大程度地延长电池使用寿命。监测终端采用7.4 V电源供电,在保证设备稳定运行的情况下,使用降压电路转变为合适的电压供给到CPU与各个电路子模块。除了微控制器、时钟电路、存储模块、自恢复电路外,其余模块皆采用在工作状态时开启电源供电、非工作状态关闭电源可控模式。这种方式可以起到控制电源使用频率以及电源管理模块化的作用,能够确保设备的稳定运行,降低能耗并延长电池的使用寿命。

(2)工作模式设计

为了优化监测终端RTU的功耗,在工作模式设

计上采用微控制器休眠、软件控制唤醒机制。本方案微控制器(CPU)在无中断事件发生时进入休眠模式,只有含晶体实时时钟(RTC)、硬件看门狗电路、蓝牙模块可用。当时钟的分钟值为5或5的倍数时,产生中断,自动唤醒微控制芯片,采集水位和雨量数值并与前值作比较,若水位或雨量值发生变化且大于设置的水位、雨量报警门限,则微控制芯片控制4G及北斗模块开启并将数值发送给服务器,若无变化,则微控制芯片继续进入休眠模式;也可使用蓝牙模块产生中断,唤醒微控制芯片,修改参数设置。采取中断的方式能够有效地降低系统功耗,延长监测终端工作时间,提高设备的可靠性和寿命。

值得注意的是,采用每5 min中断触发采集1次数据的方式,能够有效减低功耗,但会导致中间的数据丢失。然而对于水雨情监测系统来说,水位数据不会突变,实时性要求并不高,所以这种数据丢失是可接受的。

(3) 功耗量计算

本方案使用4节18650锂电池,三并两串组成锂电池组对设备供电。单节锂电池的电压为+3.7 V,容量为9 250 mWh,串并联后的锂电池组的电压为+7.4 V,容量为7 000 mAh。在电池使用过程中,电池循环以及存储过程中的衰减导致锂电池容量衰减^[7],在经历1 400圈循环老化后,电池标准容量衰减至77%^[7]。由于测站工况恶劣,电池时常处于高/低温、大倍率充/放电、高充电截止电压等情况,且电池使用时间较长,故取锂电池衰减极限 $\eta=0.6$ 。该锂电池组的工作天数可由式(1)计算。

$$d = \frac{\eta C}{I_a h_a + m I_b h_b} \quad (1)$$

式中: η 为锂电池衰减极限; C 为电池容量; I_a 为静态值守电流; I_b 为工作电流; h_a 为每天静态工作电流工作时间; h_b 为每次工作电流工作时间; m 为工作状态的工作次数。

实验测得,数据采集终端静态值守电流50~60 μ A,每天静态电流工作时间不大于24 h,工作电流40~

60 mA,每次采集并发送数据的工作时间约0.007 h。假设数据采集终端每5 min采集和发送1次数据,则每天最大功耗工作的次数为288,取静态值守电流60 μ A,每天静态电流工作时间22 h,工作电流60 mA,每天最大功耗量工作时间为2 h,由式(1)求得锂电池组在连续阴雨天无太阳能板充电的情况下连续工作天数大于37 d。

5 结 论

本文设计的水雨情监测终端,在数据自动采集、存储、上传等方面实现了优化和创新,通过多传感器接口、模块化设计以及丰富的功能,为防洪减灾、水资源管理提供更加全面、可靠的数据支撑和决策支持。未来将继续深化技术创新和应用研究,推动水雨情监测技术的不断发展和完善。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院.《国家水网建设规划纲要》[R/OL]. (2023-05-25)[2024.10.16]. https://www.gov.cn/zhengce/202305/content_6876214.htm.
- [2] 刘林海,言微,李红石,等.基于视频识别的一体式水雨情遥测站的设计[J]. 浙江水利科技, 2022, 50(1): 64-66, 77.
- [3] 赵伟杰,宋兵伟.基于双通道主备传输技术的英那河水库水雨情遥测系统研究[J]. 中国水运(下半月), 2022, 22(6): 46-47.
- [4] 李然,王巧丽.老挝天空地一体化水雨情数据监测系统集成及应用——以老挝国家水资源信息数据中心项目为例[J]. 水利水电快报, 2022, 43(6): 19-24.
- [5] 许亮,杨帆.水雨情数据GPRS+卫星双信道接收方案的实践[J]. 广东水利水电, 2020(12): 91-95.
- [6] 曹子聪,李林兴,王晨光.一种便携水雨情应急监测装置[J]. 江苏水利, 2021(10): 65-67.
- [7] XIONG R, SUN F, HE H, et al. A data-driven adaptive state of charge and power capability joint estimator of lithium-ion polymer battery used in electric vehicles[J]. Energy, 2013(63): 295-308.
- [8] 任心齐.锂离子电池衰减机理模型研究[J]. 建模与仿真, 2024, 13(2): 2147-2155.