

基于涵洞积水监测的预警和行程导航系统设计及应用

李怀珍, 贺 炫, 张 林, 朱博超, 聂新乘
(河南理工大学安全科学与工程学院, 河南 焦作 454000)

摘 要:为解决城市路桥涵洞积水带来的交通堵塞、人员伤亡与财产损失等问题,基于 Arduino 开发板,设计研发了集水位监测、分级预警、信息发布、多部门协同处置和行程导航为一体的涵洞积水监测预警及行程导航系统。水位监测模块通过浸入式和超声波传感水位计实时采集水位信息,依据不同积水情况发出相应预警,通过多载体信息平台通知市政、城建、环卫等相关部门和人员采取处置措施。水位信息同步上传到行程导航 APP 平台,司乘人员借助 APP 及时调整行程。系统具备功能多样、成本低廉、便于维修和可及时升级等特点,有较强市场应用前景和大量受众群体,可推进智慧城市建设。

关键词:涵洞积水;城市路桥;水位监测;分级预警;行程导航;Arduino

中图分类号: TP277

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)08-0181-04

0 引 言

近年来,我国大力推进城镇化建设,交通基础设施迅猛发展。据统计,目前我国城镇化率水平在58%左右,由此而兴建的大量铁路、公路和桥梁地势低洼路段存在排水不畅、水深不明、处置滞后等问题,导致交通堵塞、车辆损毁和人员溺亡现象时有发生,严重影响了人民生命和财产安全。加之近年来暴雨或短时强降雨等极端天气的频发,城市路桥涵洞积水问题尤为突出。

1 积水监测预警研究现状

在积水监测方面,日本和美国首先提出研发智能信息监测系统,美国国家气象局和 SM 公司率先研发出了全世界第一套相对完善的雨水自动监测系统。受多方面影响,我国道路积水监测技术起步较晚。宋逢泉等研制了基于分组无线服务技术的水位预警监测器^[1]。秦玉忠等在研究超声波传播速度影响因素基础上,提出了城市道路积水监测用传感器软硬件设计方案^[2]。王福东等基于微软 SQL Server 关系型数据库与 Java 语言结合,设计出水位监测分析系统^[3]。梁子亮等研究了采用卫星测高对湖泊水位

变化进行监测的可行性^[4]。潘虹等选择合适的物联网监测终端集成了道路防涝监测预警系统^[5]。侯天宇等通过智能物联网技术实时获取积水监测数据,基于城市内涝风险等级划分、用户实时位置构建了天津市城市自动化积水监测预警系统^[6]。薛丰昌等基于图像差分识别,标志点叠加积水深度等方法,实现城市内涝精细化监测预警^[7]。黄丹萍、白龙等基于大量观测数据,采用内涝积水模型和风险等级划分法,研发出城市内涝精准监测预警和风险评估系统^[8]。由此可见,不少学者开展了积水监测设备和预警系统方面的研究,一定程度上实现了自动化,但存在系统功能较为单一,较少实现信息共享与多部门协同模式的应急处置。由此,亟需设计开发一款可实时进行水位监测、信息共享、应急联动的监控预警系统,同时相关信息可为司乘人员进行行程导航,从而推动智慧城市建设。

2 系统设计分析

系统基于国家级大学生创新创业训练计划重点项目实物模型,进行系统设计和相关功能研发。相对应的路桥涵洞场景效果图见图1。图1中,①~⑦分别为LED显示屏、监控摄像头、涵洞上车道、超声波水位计、路面积水排泄口、行车道、人行道。图2为监测预警系统局部放大图。其中,图1中④超声波水位计见图2中(a)部分,图1中⑤路面积水排泄口下方场景见图2中(b)部分。为开展水位监测和处置,内设浸入式水位计,如图2中(c)部分和排水泵。

收稿日期: 2021-11-20

项目基金: 2021 年国家级大学生创新创业训练计划重点项目(202110460001);河南省科技攻关项目(212102210230)

作者简介: 李怀珍(1977—),男,博士,讲师,主要从事矿山压力与岩层控制、巷道围岩支护工作。



图1 涵洞积水监测场景效果图

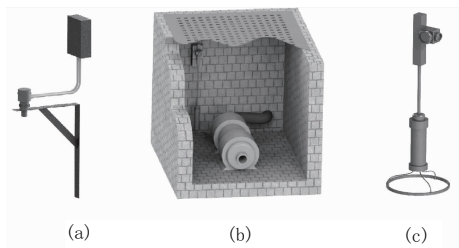


图2 监测预警系统局部放大图

2.1 系统设计方案

“基于涵洞积水分级监测预警与行程导航系统”基于 Arduino UNO R3 控制板设计,整体框架包括系统监测终端设备、监测控制中心主程序和行程导航三部分。各部分之间既互不干涉,又可以统一操作。系统设计时遵循结构简单化、硬件经济化、功能多样化、维护便利化原则,在做到尽可能实用和完善的基础上,同时为硬件配置的迭代升级和功能扩展预留空间,系统运行整体框架图见图3。

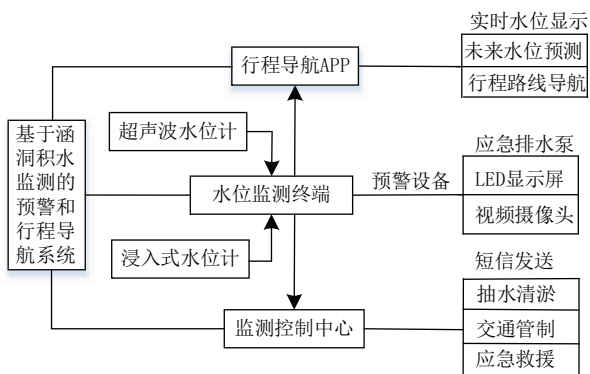


图3 系统整体运行框架图

系统终端监测设备主要用于积水信息的采集、显示、数据传输、应急排水等,系统通过 HC-SR04 超声波测距传感器对积水水位信息进行实时监测,微处理器 Arduino UNO R3 控制 TFT 液晶屏在低洼路段入口处实时更新路段积水水位信息,采用 Mini GA6-B 通信模块将各监测终端设备采集的积水水位信息发送到监测控制中心,以 BDS 短报文通信形式短息提醒给路政环卫人员,同时通过 APP 对路过司乘人员进行语音播报提醒,系统根据积水高程对应

进行三级预警,适时自动开启应急排水阀、现场 ESP32-CAM-WiFi 摄像头模组。

2.2 系统硬件与功用

系统模型硬件主要包括 Arduino UNO R3 控制板两块、HC-SR04 超声波测距传感器、L298N 电机驱动模块、8 路继电器模块、mini GA6-B 通信模块、ESP32-CAM-WiFi 摄像头模组、3210YB-12-100KCFS 高压水泵、2.4 寸 TFT 液晶屏。系统通过 Arduino UNO R3 主控制板控制 TFT 液晶屏和其他模块、由 8 路继电器模块对两块控制板进行数据传输。HC-SR04 超声波测距传感器实现对涵洞积水水位进行动态测量。

2.2.1 硬件参数

系统各模块硬件配置基于安全和便于操作原则,主要硬件参数:(1)驱动芯片:L298N 双 H 桥直流电机驱动芯片。(2)驱动端子供电范围 $V_s: +5 \sim +35 \text{ V}$,如需板内取电,则供电范围 $V_s: +7 \sim +35 \text{ V}$ 。(3)驱动峰值电流 $I_o: 2 \text{ A}$ 。(4)逻辑端子供电范围 $V_{ss}: +5 \text{ V} \sim +7 \text{ V}$ (可板内取电 $+5 \text{ V}$)。(5)逻辑部分工作电流: $0 \sim 36 \text{ mA}$ 。(6)控制信号输入电压范围,低电平: $-0.3 \text{ V} \leq V_{in} \leq 1.5 \text{ V}$,高电平: $2.3 \text{ V} \leq V_{in} < V_{ss}$ 。(7)使能信号输入电压范围,低电平: $-0.3 \text{ V} \leq V_{in} \leq 1.5 \text{ V}$ (控制信号无效),高电平: $2.3 \text{ V} \leq V_{in} \leq V_{ss}$ (控制信号有效)。(8)最大功耗: 20 W (温度 $T=75^\circ\text{C}$ 时)。(9)存储温度: $-25 \sim +130^\circ\text{C}$ 。(10)驱动板尺寸: $55 \text{ mm} \times 49 \text{ mm} \times 33 \text{ mm}$ (带固定铜柱和散热片高度)。(11)驱动板量: 33 g 。(12)其他扩展:控制方向指示灯、逻辑部分板内取电接口。

2.3 系统主控制板的选择

根据系统实际需要,采用功能齐全且开发较为简单的 Arduino UNO R3 微控制器板。主要原因首先为该控制板具有简便的编程环境 IDE,自由度高、可拓展性强;其次,Arduino UNO R3 控制板具有丰富的接口,为功能开发预留空间。

2.4 监测模块分析

经过对测距模型稳定性、精确度、盲区大小方面的比较,监测模块最终选用 HC-SR04 超声波测距模块,其主体由两个传感器和外围信号处理电路组成,通过测量一个高电平与低电平输出时间的差值作为一次测距的时间进而计算距离,通过重复不断的周期测量,达到对水位变化的实时测量。HC-SR04 超声波测距模块具有“测量精度高、简单易操作”等优势,完美符合产品对测距模块的需求与预期,相关参

数见表 1。

表 1 HC-SR04 超声波测距模块参数

电气参数	超声波测距模块
工作电压 /V	DC 5
工作电流 /mA	15
工作频率 /Hz	40
最远射程 /m	4
最近射程 /cm	2
测量角度 /(°)	15
输入触发信号	10 usTTL 脉冲
输出回响信号	TTL 电平信号
规格尺寸 /mm	40 × 20 × 15

2.5 逻辑输入分析

系统逻辑输入包括 IN1、IN2、IN3、IN4 四个输入端用来控制电机正反转。IN1、IN2 控制输出 A，IN3、IN4 控制输出 B。通道 A、B 使能端口给电机调速。如把跳线帽插在使能端口，则给电机一个 5 V 的恒定电压，电机转速不变；若想改变电机转速，需要把跳线帽拔掉，给使能端口输入 PWM 波，高电平代表开，低电平代表断。根据占空比不同控制电机转速。

2.6 系统电路图原理

系统电路中，水泵 A 的两端分别连接 L298N 电机驱动模块的 OUT1、OUT2 引脚，水泵 B 的两端分别连接模块的 OUT3、OUT4 引脚，外接电源正负极

分别连接模块 12v 引脚和 GND 引脚，Arduino UNO R3 控制板的 10、11 引脚分别连接模块的 ENA、ENB 引脚，GND 引脚连接模块的 GND 引脚共地，2、3、4、5 引脚连接模块的 IN1-4 引脚。其中 IN1-4 引脚负责控制水泵的高低电平，（水泵的开关），ENA、ENB 引脚控制水泵功率。系统电路见图 4。

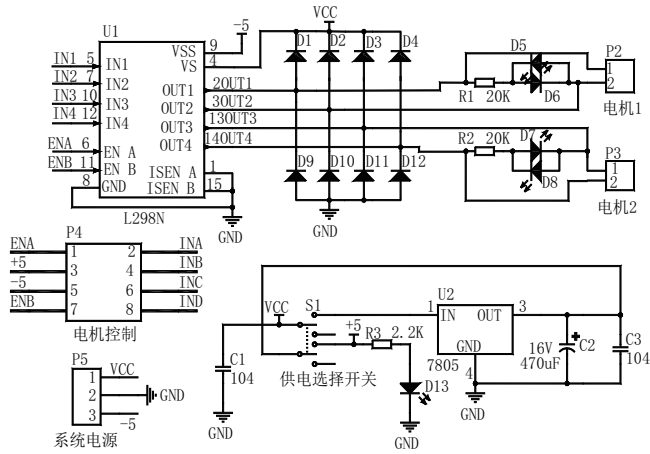


图 4 系统电路原理图

2.7 水位信息预警平台与行程导航模块分析

预警平台与 APP 后台把水位监测模块传来的数据进行处理分析，通过大数据和时间序列算法对水位进行预测，通过数据结果对积水水位进行评级，根据评级结果进行分级预警，见图 5。

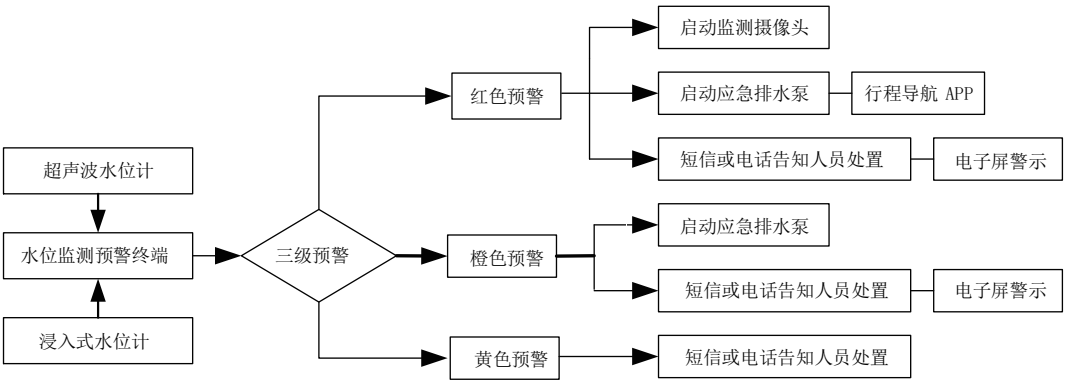


图 5 分级预警图

黄色预警：若道路地下排水槽发生堵塞现象，遇到强降雨时会出现排水不畅甚至不能排水等情况。当放置在排水槽内的浸入式水位计检测到水位长时间未变或超限时，启动黄色预警系统，以手机短信方式通知片区环卫人员到场及时清淤，疏通排水系统。

橙色预警：当降水强度大、地面积水水位持续上升，现场超声波水位计监测积水大于预定值 M1 时，启动橙色预警。自发启动应急排水系统，开启水泵排水，信息通知泵站操作管理人员。现场屏幕上显示提示语句，警示人们减速慢行或绕道行驶。

红色预警：当现场超声波水位计监测水位超过预定值 M2 时，启动现场视觉监测摄像头进行视频传输，查看积水情况并搜寻涵洞中可能存在的被困人员和车辆，以便及时组织救援，视频查验还能防止水位计误触或失灵所导致误报。同时，现场显示屏开启红色警报模式，禁止行人和机动车通行，通过手机 APP 向司乘人员提供导航信息。相关程序已经申请软件著作权发明。

同时，根据平台数据处理结果，APP 语音提醒司乘人员各路段水位情况，及时为司乘人员提供行程

导航和合理路线规划。手机 APP 人机互动导航界面见图 6。



图 6 手机 APP 导航人机互动界面

3 系统特点与优势

3.1 系统实现多元一体化设计

本系统针对单种设备无法进行多功能联动的弊端,实现了多元一体化设计,在实现多个控制模块独立工作的同时又受系统整体控制。系统集水位监测、分级预警、自动抽排水、远程操控、APP 端水位实时通报、行程导航多种功能于一体,通过信息平台实现了积水监测、分级预警、自动排水、行程导航等功能的统一调度,同时可与政府调度平台对接,实现信息与资源的统筹调度。

3.2 系统主控板低廉可升级

系统目前采用单片机作为主控制板,既利用了单片机价格低的优势,同时为控制板升级预留了空间。价格低廉、体积微型化的控制器更适合加装到公路系统中,便于维修更换和后期推广普及。系统采用单片机作为首代控制板,后期将采用微型芯片取代单片机作为控制板的升级方案。

3.3 模块化组合便于维修更新

系统各部分硬件设备与控制模块相对独立,各

模块根据实际需要可进行不同配置的组合。各模块都预留了独立升级和备用方案,可根据硬件设备和技术发展情况进行升级。同时,这种组合模式可针对故障模块进行单独维修或替换更新。

4 结 语

基于目前普遍存在的城市路桥涵洞积水问题,设计研发了一款集多功能为一体的监测预警和行程导航系统。系统集水位监测、分级预警、多载体播报、多部门协同处置和 APP 行程导航于一体。系统各模块之间相互独立又服从统一控制,各模块的设计遵循结构简单、成本低廉、性能可靠和便于维修的原则,同时为系统升级换代和各模块硬件升级替换预留了空间。系统可为气象、城建、环卫、交通等管理部门和司乘人员提供服务,有较强市场应用前景和大量受众群体,有助于促进智慧城市建设。

参考文献:

- [1] 宋逢泉,胡功达,江海燕,等.基于 GPRS 的水位预警监测器设计研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2020,43(9):1208-1212.
- [2] 秦玉忠,吴银成,黄春,等.城市道路积水监测用超声波水位传感器研究[J].自动化与仪器仪表,2021(3):101-104.
- [3] 王福东,程亮.基于传统组态软件与 Java 相结合的水位监测分析系统[J].自动化技术与应用,2021,40(9):24-28.
- [4] 梁子亮,解琨,付超,等.基于卫星测高的湖泊水位监测及预测方法研究[J].测绘与空间地理信息,2021,44(8):172-175.
- [5] 潘虹,余辉朝.基于物联网的道路防涝监测预警系统设计与应用[J].公路交通科技(应用技术版),2018,14(8):303-305.
- [6] 侯天宇,梁好,霍凯,等.基于智能物联网技术的天津城市积水监测预警系统[J].气象研究与应用,2021,42(1):85-89.
- [7] 薛丰昌,宋肖依,唐步兴,等.视频监控的城市内涝监测预警[J].测绘科学,2018,43(8):50-55.
- [8] 黄丹萍,白龙.南宁城市内涝分布特征及其监测预警系统应用分析[J].防灾科技学院学报,2019,21(4):84-89.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com