

基于 NB-IOT 的智能井盖监测报警系统的设计

王鹏翔 李昂 卫克晶 彭子涵 朱柏煊 杨鑫彤 瞿忆涛
南京理工大学紫金学院

DOI:10.32629/jsse.v3i4.17843

[摘要] 随着我国科学技术的持续发展,物联网技术已经成为井盖管理的重要组成部分。系统以 ESP32-S3-DevKitC-1 为核心处理器,通过超声波、加速度等多种传感器实现数据的收集,结合阿里云的物联网可视化平台,通过 MQTT 协议,将数据进行可视化处理,方便管理人员对数据的监测。智能井盖的监测报警系统的设计旨在保障行人的人身安全以及提升城市基础设施的安全性,通过“井盖+物联网”模式,推动城市智能化发展,城市管理更高效、更精准。

[关键词] 智能井盖监测报警系统的设计; 物联网技术; MQTT 协议; 可视化平台; ESP32-S3-DevKit-1
中图分类号: TN99 文献标识码: A

Design of intelligent manhole cover monitoring and alarm system based on NB-IOT

Pengxiang Wang Ang Li Kejing Wei Zihan Peng Boyu Zhu Xintong Yang Yitao Qu
Nanjing University of Science and Technology

[Abstract] With the continuous development of science and technology in China, Internet of Things technology has become an important component of manhole cover management. The system uses ESP32-S3-DvKitC-1 as the core processor and collects data through various sensors such as ultrasound and acceleration. Combined with Alibaba Cloud's IoT visualization platform, the data is visualized through MQTT protocol, making it convenient for management personnel to monitor the data. The design of the monitoring and alarm system for intelligent manhole covers aims to ensure the safety of pedestrians and improve the security of urban infrastructure. Through the "manhole cover+Internet of Things" model, it promotes the development of urban intelligence and makes urban management more efficient and accurate.

[Key words] Design of intelligent manhole cover monitoring and alarm system; Internet of Things technology; MQTT protocol; Visualization platform; ESP32-S3-DevKit-1

引言

随着社会经济的发展,城市管道不断增加,井盖的需求量同步增长。但在实际应用过程中,由于智能设备自身怕水、耗电等局限性,导致智能井盖出现水浸损坏、信息误报、电量耗尽、信息中断等问题^[1]。井盖缺失后形成的马路“陷阱”,现已成为不可忽视的城市安全隐患。

基于 NB-IOT 的智能井盖监测报警系统的设计应运而生。智能井盖通过传感器感知井盖异位破损、井下环境等状况,并通过 NB-IoT 无线通讯技术上报数据给管理人员,减轻检修任务,同时有效预防井盖不安全事故的发生。通过阿里云的可视化物联网平台对智能井盖的状态进行实时检测的功能,维修流程的数据可视化。这不仅可以大幅降低人工成本,还可以在极大程度上确保井盖的完整性并保障行人的人身安全。

本作品基于上述问题,提供一个合理化并且全面的解决方案,打造一个智能、科学、适用于多场景的智能井盖产品,提高

井盖的智能化。

1 系统关键技术介绍

1.1 ESP32-S3-DevKit-1

系统采用 ESP32-S3-DevKitc-1 作为主控开发板,具有 WIFI 和蓝牙双模组,集成了高性能 CPU 内核,超低功耗协处理器和丰富外设,其丰富的 GPIO 接口和强大的处理能力,使开发者能够轻松连接各种外部硬件,开发复杂的嵌入式系统。可通过 ESP32-S3-DevKit-1 控制智能井盖的数据收集模块。

1.2 MQTT 协议

MQTT 是一种专为物联网和低带宽环境设计的极简消息传递协议,它采用发布/订阅模式,让设备(如传感器)作为发布者将信息发送到一个中央服务器(代理),而其他需要这些信息的设备或应用作为订阅者,只需向代理订阅它们关心的主题(例如“办公室/温度”),代理就会确保消息的准确传递;这种设计使得通信双方无需知道彼此的存在,从而实现了高效、可靠且松耦

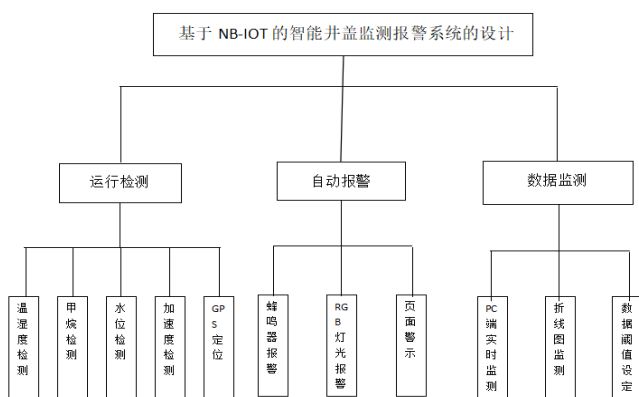
合的通信, 特别适合网络不稳定或设备资源有限的场景。它提供了一种高效可靠的消息通信机制, 使得物联网设备和系统能够方便地进行异步数据交换和远程控制^[2]。

在智能井盖中, 传感器将收集到的数据发送到主控板中, 进行数据处理, 经过三元组(产品密钥, 设备名称, 设备密码)和NB-IOT的配对, 将数据上传到阿里云中, 进行数据的可视化分析, 提供用户友好可分析监控界面。

2 系统硬件设计

2.1 系统功能概述

基于NB-IOT的智能井盖监测报警系统主要分为三个模块, 一是运行状态的检测, 通过多种传感器的相互配合, 检测出各项数据, 从而确保井盖的运行状态, 保障安全性; 二是自动报警系统, 提前设置数据的阈值, 并将其与原数据进行对比, 从而做出警示提醒。对于行人方面, 通过蜂鸣器提示路过的行人, 告知智能井盖处于异常状态, 在昏暗的夜晚, 通过RGB灯光呈现的不同颜色, 显示井盖异常的不同状态, 起到提示行人, 告知管理人员异常原因的作用。对于管理人员, 当数据处于异常时, 网页中的蜂鸣器会由蓝色变成红色, 起到警示作用; 三是数据的监测, 通过数据的可视化, 让管理人员更直观的看到井盖所处的工作环境, 将数据呈现出折线图, 凸显出数据的变化过程, 记录在暴雨天气时地下水水位上涨速度的快慢, 可以起到预测的作用, 再通过阈值的设定, 记录超过阈值的数据。系统的功能结构如图一所示:



图一 系统功能结构

2.2 运行检测

智能井盖系统的运行状态检测是一个从物理世界感知、边缘侧智能决策到云端远程监控的连续、自动化过程, 其核心始于嵌入式主控板ESP32的启动, 该系统上电后首先进行自初始化, 建立与DHT11温湿度传感器、MQ-4甲烷传感器、HC-SR04超声波测距模块以及MPU6050姿态传感器的通信链路, 确保每一个传感器都响应正常, 从而为持续的状态检测奠定坚实基础。

ESP32按照预设的时序策略主动轮询各传感器: 向DHT11发送指令并读取返回的数字信号, 从而精确获取井内当前的温度与湿度数值, 以此评估内部环境的潮湿程度与是否存在异常高温风险; 通过ADC引脚读取MQ-4传感器输出的模拟电压值, 并将其转换为对应的甲烷气体浓度(PPM), 严密监视是否存在可燃气

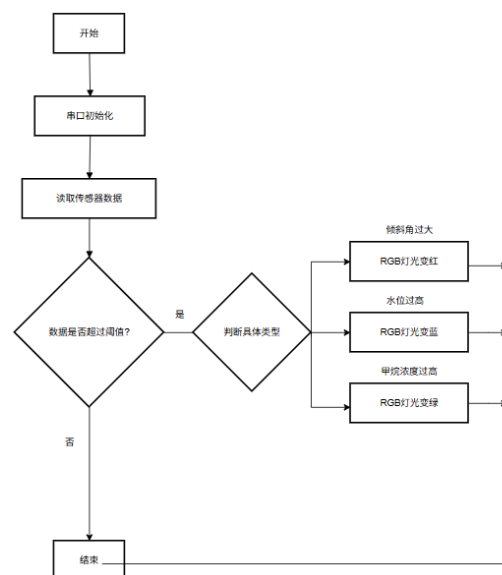
体泄漏这一重大安全隐患; 驱动HC-SR04超声波传感器发射高频声波并精准计算声波遇水面反射回接收器的时间差, 通过声速公式换算出液面到井盖的精确距离, 进而推导出井下的实际水位深度, 有效预警内涝或管道破裂风险; 同时, 持续从MPU6050芯片中读取三轴加速度与三轴陀螺仪的原始数据, 本设计采用卡尔曼滤波算法对陀螺仪进行姿态解算^[3], 用以敏锐洞察井盖是否被非法开启、移位或因外力冲击而处于非正常姿态。所有这些被采集到的原始数据都会在ESP32内部进行初步的数据清洗、滤波平滑处理以及阈值比对分析。

数据采集模块所采集到的数据会发送到ESP32, ESP32按照阿里云IoT平台定义的物模型(TSL)格式, 封装成一个结构化的JSON数据包, 通过其集成的Wi-Fi模块和稳健的MQTT协议客户端, 安全、高效地发布到云端指定的Topic中, 实现状态数据的实时上报。最终在用户的Web监控大屏或移动应用上以动态图表、地图位置标记和实时告警信息的形式清晰呈现, 提高了获取井盖信息的效率与准确性, 方便后续对井盖进行下一步的管理。

2.3 自动报警

自动报警系统包括: 蜂鸣器报警, RGB灯光报警, 页面警示。

在智能井盖的实现过程中, 首先需要将倾斜传感器、水位传感器、甲烷传感器、温湿度传感器分别连接到ESP32的指定GPIO引脚上, 然后通过编写嵌入式程序初始化各个传感器并设置相应的安全阈值, 当系统在主循环中持续读取传感器数据时, 会实时与预设阈值进行比较, 一旦监测到任何传感器数据超出安全范围, ESP32会立即触发报警机制, 通过控制蜂鸣器发出不同频率的警报声音, 同时驱动RGB LED显示对应的颜色信号(如红色代表倾斜角多大, 蓝色代表水位过高, 绿色代表甲烷浓度过高), 从而实现对井盖状态的实时监控和多重报警功能。在网页端, 通过对阈值的设定, 当上传的数据超过阈值时, 物联网平台发现数据异常, 从而控制页面中蜂鸣器的状态, 告知管理人员井盖的状态。自动报警系统如图二所示:



图二 自动报警流程图

2.4 数据监测

本项目的PC端数据监测功能基于阿里云web开发,集成了三大核心模块。实时监测大屏动态展示井盖位置与状态;折线图监测追溯液位、甲烷等数据的历史曲线,分析变化趋势;数据阈值监测则对异常情况实时告警。三者共同实现了从全局态势感知、历史数据分析到智能主动预警的全流程监控,显著提升管理效率。

2.5 无线数据通信

NB-IoT拥有极强的信号覆盖与穿透能力,能可靠连接深埋地下、信号恶劣环境的井盖,确保数据稳定传输。采用NB-IoT进行数据的传输,保证数据传输的稳定性和持续性,有效解决数据传输信号弱问题,保护人身和公共财产安全^[4]。NB-IoT单基站可接入海量终端,完美支撑城市级千万井盖的大规模并发连接需求。NB-IoT使用AT指令通过4G网络连接凭证与阿里云IoT平台的三元组认证信息,将数据上传到阿里云的物联网平台。

2.6 能源自补充

本系统设计了一套基于太阳能与18650电池的智能混合供电方案,为ESP32设备提供持续稳定的能源。在光照充足时,5V太阳能板直接为设备供电,同时为电池充电,优先利用绿色能源;在阴天或夜晚,系统则无缝切换至18650电池供电。结合NB-IoT技术深度睡眠、瞬时工作的低功耗特性,系统整体能耗被降至极低,从而实现了无市电场景下的长期自治运行,充分体现了“部署即不管”的环保理念,并显著延长了设备使用寿命。

3 系统软件设计

3.1 数据可视化

将感知层收集到的数据通过MQTT协议上传到云平台,云平台与网页端相连,通过网页即可看到井盖的各项数据,通过对智能井盖周围环境数据的采集和分析,可以及时监测到智能井盖状态的变化,并进行预警和处理^[5]。

为展示设备所上传的数据,通过阿里云平台中的web应用制作出一个网页,用来展示数据。

3.2 数据曲线变化

为了能够更直观的观测数据,本模块采用了随时间变化的甲烷和液位曲线,让用户可以清楚的看到数据的实时变化,并预测变化趋势,同时也可以通过曲线查询过去某一时间段的数据变化,从而快速定位如内涝风险或燃气泄漏等隐患。

3.3 GPS定位追踪装置

通过GPS定位确定井盖的位置,方便管理人员对检修井盖位

置的确定,节省判断时间。另一方面若井盖丢失,可以快速确定井盖位置并在原有井盖位置,及时将井盖找回,减少经济损失。在阿里云的web端开发中,上传从GPS中获取的经纬度,并配置在地图中,通过对井盖进行编号,实现海量管理。

4 结语

本研究成果设计并实现了一套集智能化监测、控制与数据分析于一体的智能井盖系统。该系统通过集成多种传感器,实现了对井下温度、湿度、甲烷浓度、水位及井盖加速度等关键参数的实时采集与智能分析。其核心创新在于三点,第一,系统采用NB-IoT低功耗广域通信技术,确保了数据传输的稳定性和可靠性。第二,独创性地引入RGB灯带视觉警示系统,通过颜色变化直观指示故障类型,兼具警示公众与辅助检修的双重功能。第三,系统秉承绿色环保理念,采用太阳能辅以锂电池的供电方案,保障了长期运行的能源自给。

研究成果最终通过一个用户友好的可视化监控界面呈现,为管理人员提供了强大的数据分析与决策支持工具。整套解决方案具有高度的灵活性和可扩展性,不仅能有效提升城市安全水平和应急响应效率,降低了管理成本与经济损失,更为智慧城市建设提供了可靠的物联网应用范例,应用前景广阔。

[参考文献]

[1]安珊,李启龙,汪海波.基于情境感知的雨污盖智能服务系统设计[J].安徽工业大学艺术与设计学院,2023.

[2]邓三星,陈赵,李克强.基于ESP8266主控的智能井盖控制系统设计[J].黄河交通学院,2024.

[3]黄龙亮,胡鹏飞,曹祥等.基于扩展卡尔曼滤波算法的机器人姿态解算研究[J].现代机械,2023(04):13-16.

[4]孙浩宇.智能化井盖的应用[J].山东工业技术,2018(15).

[5]沈桂城,钟盛,翁蔚,等.配电设备状态远程综合监测及预警系统设计与实现[J].微型电脑应用,2022,38(7):165-167+175.

作者简介:

王鹏翔(2004--),男,汉族,江苏省连云港市人,本科,从事的研究方向:物联网技术。

李昂,男,副教授,研究方向为物联网技术。

卫克晶,女,副教授,研究方向为物联网技术。

彭子涵,男,研究方向为自动化。

朱柏焯,男,研究方向为物联网技术。

杨鑫彤,女,研究方向为物联网技术。

瞿忆涛,男,研究方向为自动化。