

基于 NB-IoT 和 Zigbee 的智能井盖系统设计与实现

范佳乐

武汉纺织大学

DOI:10.32629/acair.v3i4.17887

[摘要] 传统井盖管理已不适应现代城市需求,本文设计了一种基于NB-IoT和ZigBee的智能井盖监测系统,以提升井盖安全性和管理效率。系统以ZigBee模块(CC2530)为核心,集成多种传感器,实时监测井下积水、可燃气体及井盖定位数据。终端节点经ZigBee网络向协调器传输数据,协调器通过串口将数据发送至STM32单片机,再由BC26 NB-IoT模块经TCP协议上传至自建云平台。该平台基于电脑服务器,部署MySQL数据库和Java程序,实现数据接收、存储、处理与网页展示。系统具有低功耗、高可靠性和实时性,可及时发现异常并报警。实验表明,系统在数据采集精度、传输稳定性及功耗控制方面性能优异,应用前景广阔。

[关键词] 智能井盖; NB-IOT技术; Zigbee技术; 无线采集终端; 物联网

中图分类号: TN915.5 **文献标识码:** A

Design and Implementation of Intelligent Manhole Cover System Based on NB-IoT and Zigbee

Jiale Fan

Wuhan Textile University

[Abstract] Traditional manhole cover management is no longer suitable for modern urban needs. This article designs an intelligent manhole cover monitoring system based on NB IoT and ZigBee to improve the safety and management efficiency of manhole covers. The system is based on the ZigBee module (CC2530) and integrates multiple sensors to monitor real-time underground water accumulation, combustible gases, and manhole cover positioning data. The terminal node transmits data to the coordinator via the ZigBee network, and the coordinator sends the data to the STM32 microcontroller through the serial port. Then, the BC26 NB IoT module uploads the data to the self built cloud platform via TCP protocol. This platform is based on computer servers, deploying MySQL databases and Java programs to achieve data reception, storage, processing, and web page display. The system has low power consumption, high reliability, and real-time performance, and can promptly detect anomalies and issue alarms. The experiment shows that the system has excellent performance in data acquisition accuracy, transmission stability, and power consumption control, and has broad application prospects.

[Key words] intelligent manhole cover; NB-IoT technology; Zigbee technology; Wireless collection terminal; Internet of Things

近年来,城市基础设施建设不断完善,地下管线数量急剧增加,井盖作为城市基础设施的重要组成部分,其数量也达到了数以千万计。截至目前,有部分城市采用2.4G无线模块同GPRS技术相结合来检测井盖实时状态,虽然是通过智能化方式对井盖进行改造和监测,但其有较高的功耗和远距离通信灵敏度不高等缺点^[1]。扬州大学的一篇硕士论文研究了一款基于RFID技术的智能井盖,但是RFID的通信距离一般就几米到几十米不等,通信距离短,而且成本较高,标签易受环境影响,不适合井盖这种需要广泛部署的情况^[2]。为解决传统井盖管理问题,本文结合物联网技术设计低功耗终端以监测井下可燃气体、积水高度及井盖

GPS定位,并通过NB-IoT实现数据远传,从而实时监测井盖状态与井下环境,提升城市地下管线管理智能化水平。

1 整体设计方案

该系统主要包括智能井盖数据采集终端、协调器数据汇总、MySQL数据库的部署、自建云平台开发、智能井盖监测管理平台开发,系统整体设计方案如图1所示^[3]。智能井盖系统终端节点采集可燃气体、积水深度、井盖定位数据,超限或位置变动时经NB-IoT传自建云平台(MySQL数据库+Java程序)报警^[4];管理员PC端、巡检员移动端分别监控数据与接收报警;系统实现数据全流程管理,提升井盖管理智能化与城市安全。

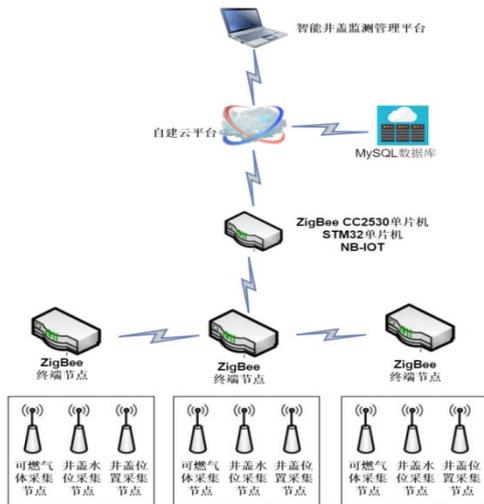


图1 系统整体设计方案

2 系统硬件设计

智能井盖监测系统的硬件设计主要由以下几个部分组成: 主控模块、ZIGBEE通信模块、传感器模块、NB-IoT通信模块和电源模块。系统的硬件设计图如图2所示。主控模块和协调器均采用CC2530芯片, 主控模块负责控制ZigBee网络中的终端节点进行数据采集, 采集的数据包括井盖的GPS定位数据、井下积水高度和可燃气体浓度等。协调器节点汇总从各终端节点收集到的数据后, 通过串口将数据发送至STM32单片机。STM32单片机对接收到的数据进行解析和处理, 并将处理后的数据通过BC26 NB-IoT模块^[5], 利用TCP协议上传至自建云平台。传感器模块集成高精度GPS模块、水位传感器和可燃气体传感器, 实时监测井盖位置和井下环境参数。电源模块为系统提供稳定的电力支持, 确保各模块在复杂井下环境中的正常运行。整个硬件设计注重低功耗、高可靠性和紧凑性, 以适应井下恶劣环境, 实现对井盖状态和井下数据的实时监测与传输。

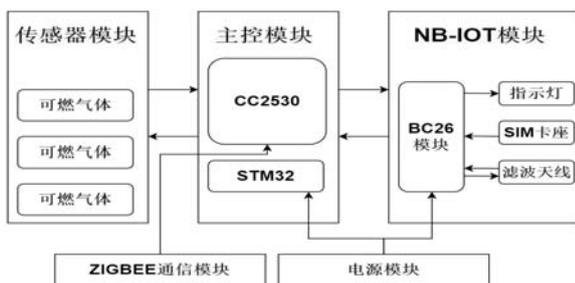


图2 系统的硬件组成框图

3 系统软件设计

智能井盖监测系统的软件设计涵盖主程序、传感器模块程序、NB-IoT通信模块程序和服务器端java程序。主程序负责协调各模块, 保障系统稳定运行, 处理与自建云平台的数据交互及格式转换。传感器模块程序采集GPS定位、积水高度和可燃气体浓度数据, 格式化后传送给主程序。ZigBee通信模块程序确保终端与协调器间的数据传输稳定^[6-8]。NB-IoT通信模块程序需要初

始化通信模块BC26, 通过TCP端口与自建云平台服务器建立连接, 发送数据给服务器。服务器端java程序提供TCP数据接收服务和网页服务。主程序设计流程见图3。

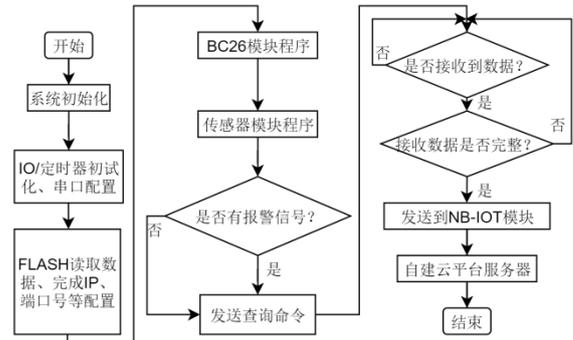


图3 主程序设计流程图

3.1 传感器模块程序

传感器模块可以采集液位高度、可燃气体浓度以及井盖本身GPS经纬度^[9-10]。对于防水超声波模块, 程序读取井盖底部到液面的距离来判断井下液位的高度。当液面和井盖之间的距离小于设定的阈值时, 智能井盖监测平台就会显示具体的终端报警信号。对于可燃气体检测传感器, 当井下可燃气体集聚浓度超过设定的阈值时, 终端采集模块会实时将报警信息上传到智能井盖监测平台, 平台弹出报警窗口。

3.2 NB-IoT模块程序

NB-IoT通信单元的核心功能是实现BC26模块的系统初始化配置与物联网数据透传。在执行数据传输任务前, 该模块需执行完整的网络附着流程, 包括SIM卡鉴权、基站注册、APN激活等关键步骤。主控制器 (STM32) 通过UART串口以AT指令集驱动NB-IoT模块^[11], 其标准化的指令交互机制包含模块状态查询、网络参数配置、数据传输控制等操作层次。

3.3 服务器端java程序

服务器端Java程序部署在自建云平台的物理服务器上, 承担数据接收、存储和接口服务的核心功能。程序通过TCP端口实时接收来自STM32终端的传感器数据 (包含井盖经纬度、液位高度、可燃气体浓度) 经校验后存入MySQL数据库。同时提供数据查询接口服务, 支持网页监测平台的实时数据获取和历史记录查询需求。前端HTML页面通过调用这些接口, 实现登录认证、实时数据折线图展示、电子地图井盖定位及告警事件查看等功能, 形成完整的数据处理闭环。

4 系统测试和数据分析

4.1 硬件测试

为了验证系统的稳定性, 现对系统初始化、NB-IoT入网、数据上传以及数据网页可视化进行测试。测试结果表明, 系统初始化的成功率是100%, NB-IoT入网成功率仅为96%, 主要是因为高大建筑物遮挡等原因导致极少数失败。数据上传成功率为100%, 网页数据可视化成功率98%, 是因为GPS信号需要完全暴露在露天场地, 否则GPS会没信号。

4.2 功能测试

在井下可燃气体浓度测试中,为验证采集的精准灵敏性,将气体浓度报警阈值设为80ppm,超过该值智能井盖监测平台会实时弹窗提示并报警。把系统的MQ-2模块置于打火机出气口,释放可燃气体后查看平台终端数据,打火机按压0.5秒时传感器浓度33ppm未触发报警,按压1秒时82ppm、按压1.5秒时153ppm、按压2秒时230ppm均触发报警。

在井下积水高度测试中,将终端设备固定于水桶上方,打开平台并不断注水记录水位数据。该液位测量方法的精度受限于距离测量的具体实现方式以及传感器等硬件设备的固有误差特性,导致测量读数与液位实际高度存在一定差异,但综合七组独立实验的数据对比分析,测量偏差普遍维持在 $\pm 2\text{mm}$ 以内,且所有误差值均在预设的可接受范围之内,由此可确认该测量模块成功实现了对终端设备液位高度的可靠测量,其性能指标基本达到了系统预期的功能需求。

在井盖GPS定位测试中,将终端设备分别放置在学校一食堂广场、二食堂门口、美食城门口和图书馆广场,给设备上电后打开智能井盖监测平台网页,可查看到设备终端在地图上的位置,经过对比放大,能看到地图上设备的定位位置与实际放置位置误差较小,可准确查找井盖的位置。

4.3 智能井盖监测系统测试

管理人员可通过“智能井盖监测系统”实时掌握井盖的工作环境及位置信息。图4所示的智能井盖系统网页监测平台,集成设备状态监测(如MQ-2传感器、超声波传感器数据)、数据统计(含更新时间、采样频率)、水位历史数据图表及井盖地图定位界面,可直观呈现地下管道水位变化与井盖实时位置,实现智能化监测与管理。

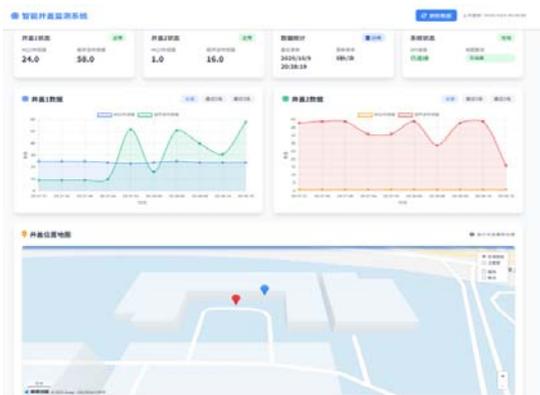


图4 智能井盖监测系统

5 结论

本研究针对井盖积水、可燃气体超标及被盗等痛点,提出NB-IoT与ZigBee融合的智能监测方案。系统可实时采集井盖GPS位置、积水深度及气体浓度数据,经ZigBee短距低功耗采集后,由NB-IoT远传至云平台实现异常报警。该设计整合ZigBee短距组网与NB-IoT广覆盖能力,实现井下数据高效上云,既提升井盖管理效率、降低人工巡检成本与风险,又具备传感器扩展潜力,可适配多场景监测需求。

[参考文献]

- [1]丁宇洁,林顺生,王洪松,等.基于GPRS无线通信技术的井盖防盗监控系统设计[J].贵州电力技术,2013,16(11):69-71.
- [2]袁野.基于RFID技术的智慧海陵智能井盖系统的设计与实现[D].扬州大学,2018.
- [3]任安虎,鲍宏海.基于ZigBee的城市道路井盖安全监测系统[J].物联网技术,2014,4(11):81-83.
- [4]李岩.基于物联网的智能井盖安全监测系统的研究[D].聊城大学,2018.
- [5]李志,韦鹏程.一种基于ZigBee的分布式井盖监控系统[J].单片机与嵌入式系统应用,2014,14(05):56-58.
- [6]尤晓萍,尤海峰.基于无线传感器网络的沙井盖监测系统[J].中国新通信,2014,16(21):96-98.
- [7]杨永超,曾刚,黄勇,等.基于Zigbee无线传感网络的窨井安全监测系统[J].安全与环境工程,2015,22(05):96-101.
- [8]李洪书.基于ZigBee与WiFi的WSN网关设计与实现[D].内蒙古大学,2015.
- [9]宋海峰.基于NB-IoT的智能井盖方案及其应用[J].电子产品世界,2020,27(10):60-62.
- [10]王悦怡,夏凡,张晗,等.基于NB-IoT的市政智能井盖系统[J].现代信息技术,2020,4(07):165-1.
- [11]邱义,郭一晶,刘挺.基于NB-IoT的智能井盖监测系统设计与实现[J].物联网技术,2020,10(09):16-18.

作者简介:

范佳乐(1998--),男,汉族,河南周口人,研究生,研究方向:机械电子工程。