

# 基于 NB-IoT 的智慧井盖监测系统设计与实现

朱代先<sup>1</sup>, 王力立<sup>1</sup>, 刘冰冰<sup>2</sup>, 孙小婷<sup>1</sup>, 胡齐涛<sup>1</sup>, 刘刚<sup>3</sup>

(1. 西安科技大学 通信与信息工程学院, 西安 710054; 2. 西安科技大学 电气与控制工程学院, 西安 710054; 3. 句容市博远电子有限公司, 江苏 镇江 212400)

**摘要:** 针对现有城市井盖因数量多且管理部门管理不善而造成的安全问题, 设计了一种以 NB-IoT 低速率窄带物联网技术为核心的智慧井盖监测系统; 应用低功耗芯片 STM32 采集井盖的压力和位移以及窨井下的甲烷浓度和水位, 通过 NB-IoT 模块上传至服务器, 实现采集终端与服务器之间低功耗的信息交互; 结合智能井盖管理系统和手机 APP 软件设计, 可直观地掌握井盖的分布状况和在线状态; 测试结果表明, 该系统工作稳定且数据传输可靠, 减轻了管理人员和检修人员的工作压力, 并且在一定程度上预防了安全事故的发生, 实现了对城市井盖的智能化管理, 为智慧市政以及大数据分析提供技术基础。

**关键词:** NB-IoT; 智慧井盖; 远程监测; 报警

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

Zhu Daixian<sup>1</sup>, Wang Lili<sup>1</sup>, Liu Bingbing<sup>2</sup>, Sun Xiaoting<sup>1</sup>, Hu Qitao<sup>1</sup>, Liu Gang<sup>3</sup>

(1. College of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. College of Electrical and Control Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 3. Jurong Boyuan Electronics Co., Ltd., Zhenjiang 212400, China)

**Abstract:** In view of the safety problems caused by the large number of existing city manhole covers and poor management of management departments, this paper designs a smart manhole cover monitoring system with NB-IoT low-rate and narrow-bandwidth Internet of Things technology as the core. In this paper, the low-power chip STM32 is used to collect the pressure and displacement of the manhole cover and the methane concentration and water level under the wellbore, and upload it to the server through the NB-IoT module to realize the low-power information exchange between the collection terminal and the server; combined with the intelligent manhole cover management system and mobile APP software design, can intuitively grasp the distribution of the manhole cover and online status. The test results show that the system works stably and the data transmission is reliable, which reduces the labor pressure of managers and maintenance personnel, and prevents the occurrence of safety accidents to a certain extent, realizes the intelligent management of urban manhole covers, and provides the technical foundation for smart municipality and big data analysis.

**Keywords:** NB-IoT; smart manhole cover; remote monitoring; alarm

## 0 引言

随着城市化进程的加速, 城市覆盖面积不断扩大, 井盖的数量与日俱增。井盖不仅数量多, 而且属于不同的部门监管, 造成市政部门监管难度大。井盖被盗以及爆炸等安全事故时有发生, 直接威胁行人和车辆通行安全, 影响城市道路平整和市容环境<sup>[1]</sup>。目前, 城市井盖的巡查基本都需要人力, 井盖出现故障后, 需要巡视人员或者市民上报, 所以维修人员不能及时到达现场来解决问题, 使市民的安全性大大降低。因此, 加强城市井盖的维护和安全管

理工作, 已成为当前市政部门重视和解决的现实问题。

随着物联网技术的发展, 低功耗广域网 (LPWAN) 技术明显优于传统的物联网技术<sup>[2]</sup>。目前主流的低功耗广域网有 NB-IoT、LoRa 和 Sigfox 等。2017 年 6 月《关于全面推进移动物联网 (NB-IoT) 建设发展》的发布, 物联网行业尤其是 NB-IoT 产业得到了国家政策的大力支持。NB-IoT 工作在授权频段, 相较于 LoRa 和 Sigfox 具有干扰性强、安全性高、实时性好的优点。并且, 在相同的频段下, 基于 NB-IoT 的窄带物联网技术, 增益超过 20dB, 形成深度覆盖、海量连接的优良架构<sup>[3]</sup>。通过 NB-IoT 与传感器连接, 解决了城市井盖下传感器信号回传以及信号质量的问题。

史瑞刚等<sup>[4]</sup>采用 ZigBee 无线通信技术设计了一种道路井盖监测系统, 终端传感器采集到的数据通过 ZigBee 组网传输至协调器, 然后再通过 RS485 总线与上位机进行通信,

收稿日期: 2019-04-04; 修回日期: 2019-04-29。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61302133); 陕西省自然科学基金 (2016JM6086)。

作者简介: 朱代先 (1970-), 男, 安徽安庆人, 博士研究生, 副教授, 主要从事嵌入式系统、无线定位、智能机器人方向的研究。

从而实现了对接井盖的远程监测。赵士鹏等<sup>[5-6]</sup>利用无线通信技术和无线传感技术,设计了一款基于 ZigBee 和 GPRS 的智能井盖监控系统,提高了对城市井盖的管理效率。虽然基于 ZigBee 和 GPRS 的井盖监测系统在某程度上实现了对城市井盖的集中管理,但在后期维护和系统稳定性方面存在一定的缺陷。因此,本文结合 NB-IoT 技术设计了一种智慧井盖监测系统,管理人员和维修人员可在地图和列表上清楚地掌握井盖的分布以及在线状态,对故障井盖进行自动报警、精确定位,使井盖管理智能化、故障检修便捷化,以减少城市井盖安全事故的发生。

## 1 需求分析与系统总体方案设计

### 1.1 需求分析

以往的城市井盖管理存在很多问题,例如井盖巡查、维护基本要人力;井盖发生故障时,维修人员无法确定井盖的精确位置;井盖的种类分为燃气、电力、通信等,属于不同的部门,管理方式不同导致管理不善、工作效率低下<sup>[7]</sup>。针对以上问题,本文设计的智慧井盖监测系统有以下几个功能:

- 1) 井盖故障自动报警,精确定位,可从平台 web 界面以及手机 App 界面显示故障信息和实现定位;
- 2) 每个井盖都有属于自己的 ID,可从平台和 APP 随时查看井盖的运行状态和在线状态;
- 3) 井盖的工作记录,历史查询。

### 1.2 系统总体方案设计

本文所设计的智慧井盖监控系统是由数据采集层、通信层、应用服务层和用户层组成的,系统的总体架构如图 1 所示。

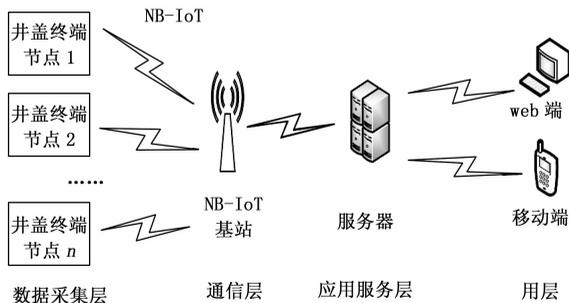


图 1 系统总体架构图

数据采集层主要对井盖的压力、位移和井下的甲烷浓度和水位进行在线监测和异常情况上报,完成井盖相关信息的采集;通信层主要是采集终端通过 NB-IoT 模块将采集到的数据上传至 NB-IoT 基站,进而上传到服务器;应用服务层主要负责将采集到的数据进行处理、存储和发布;用户层主要通过 PC 端或者手机端从服务器获取数据,进行显示、异常报警等。

## 2 系统硬件设计

智能井盖监测终端设计是系统硬件设计的重要组成部分,其设计影响整个系统的高效性和可靠性。监测终端硬

件设计包括 3 个部分分别是:主控制模块、通信模块、传感器模块。以一个监测节点为例进行介绍,系统的硬件结构如图 2 所示。智慧井盖监测终端主控制器与传感器模块、NB-IoT 模块之间均采用 UART 通信方式。同时使用锂电池给监测终端提供 8 V 直流电源。采集终端开机完成初始化后,主控芯片 STM32 进入待机模式等待定时器唤醒,同时 BC26 模块在设定时间内无任何操作,会自动进入 PSM 模式。定时器时间到达后,主控芯片 STM32 退出待机模式,开始采集井盖的位移和压力以及井下水位和甲烷浓度,然后将这些数据发送给 NB-IoT 模块,此时 STM32 再次进入待机模式,NB-IoT 模块收到数据后退出 PSM 模式,主控芯片发送 AT 指令将数据经射频天线发送给 NB-IoT 基站,然后再与服务器建立连接传输数据。

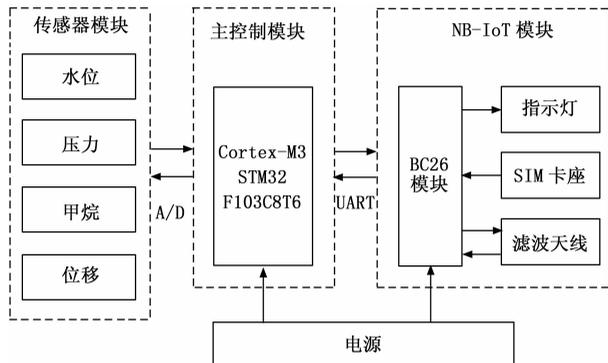


图 2 系统硬件组成框图

### 2.1 主控制器电路设计

考虑到 STM32 与传感器可方便地进行数据传输,并且能满足系统功能的要求,故选用 STM32F103C8T6 单片机作为该系统的主控制器。STM32F103C8T6 工作频率最高达到 72 MHz,内核使用的是高性能的 ARM Cortex™-M3 32 位的 RISC 内核,内置高速存储器(高达 512 K 字节的闪存和 64 K 字节的 SRAM),具有丰富的 I/O 端口和联接到两条 APB 总线的外设。STM32F103C8T6 包含 2 个 PWM 定时器、3 个 12 位的 ADC 和 4 个通用 16 位定时器,还包含标准和先进的通信接口:多达 2 个 I<sup>2</sup>C 接口和 SPI 接口、3 个 USART 接口、一个 USB 接口和一个 CAN 接口<sup>[8]</sup>。该芯片工作温度范围为 -40~+105℃,以及它的省电模式也完全符合本系统的设计需要。

以 STM32F103C8T6 为核心的智慧井盖监测终端主要完成以下功能:

- 1) 数据的采集:利用甲烷传感器监测井下是否有燃气泄漏现象;液位传感器用来监测井下水位是否超标;压力和位移传感器用来监测井盖是否被移动或被盗窃。
- 2) 数据的传输:主控制器负责将传感器采集到的数据打包发送给通信模块,BC26 模组接收到主控芯片的指令退出 PSM 状态,进入连接状态,NB-IoT 卡立即将数据通过射频天线将井盖的数据经 NB-IoT 核心网发送到服务器。

## 2.2 NB-IoT 模块电路设计

NB-IoT 无线通信模块是由 BC26 模组以及 NB 卡卡座、串口电路、滤波天线、复位电路组成, 由电源模块供电。BC26 模块硬件电路如图 3 所示。

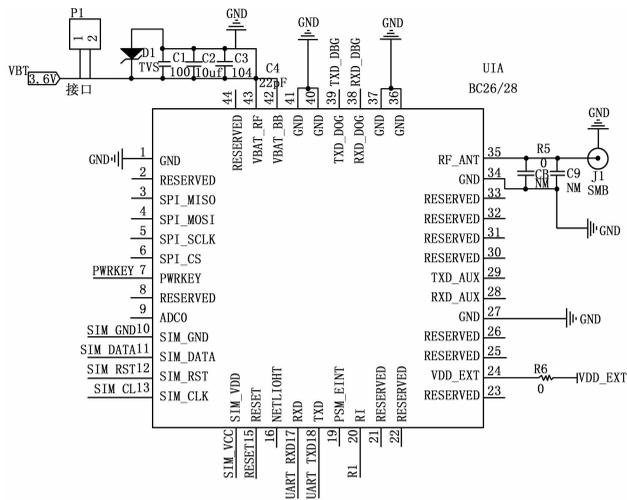


图 3 BC26 模块电路图

在设计方面, 兼容移远通信 GSM/GPRS 系列的 M26 模组采用 LCC 封装, 便于 2 G 客户快捷地切换到 NB-IoT 网络。BC26 模块与 STM32 单片机采用串口通信, STM32 通过向 BC26 模块发送 AT 指令, 完成对 BC26 的设置和相关信息的发布。BC26 工作电压范围在 3.1~4.2 V 之间, 该模组具有 3 种工作模式: CONNECT、IDLE 和 PSM, 根据实际需求切换工作模式极大地降低了系统的功耗。IDLE 状态下电流为 6 mA, PSM 状态下电流仅为 5  $\mu$ A, 这种模式更适合 NB-IoT 技术的应用场景。

为了降低功耗, 当 STM32 进入待机模式时, 单片机会给无线通信模块发送关机脉冲, 关闭无线通信模块<sup>[9]</sup>。当定时器到达时间或者某一传感器给单片机发出唤醒信号需要上传信息时, 单片机唤醒后给 BC26 模块发送开启指令使其退出 PSM 模式, 然后将接受到的数据发送至服务器。过一段时间后仍未收到主控芯片发来的指令, BC26 模块会自动进入休眠模式, 等待下一次唤醒。

## 2.3 传感器模块设计

本设计对传感器进行选择 and 电路设计均依据低功耗和安全稳定原则。

本系统液位传感器采用的是压差式液位传感器 AS-136, 当传感器检测到井下水位发生变化时, 会产生一个电压差, 根据此变化来监测水位的变化。

由于井盖承受的压力具有一定的限度, 故当井盖长期被重物掩埋时, 会对井盖造成伤害, 影响井盖的使用寿命, 故需要对井盖压力进行检测。压力检测模块主要由两个部分组成: 压力传感器模块和数据转换模块。压力传感器 (HL-8) 经过数据转换模块 (HX711) 连接至 STM32 处理器, STM32 通过 I<sup>2</sup>C 通信方式读取数据转换模块中的

数据。

本设计选用甲烷传感器 MQ-4 对窖井下甲烷气体是否泄漏进行监测。该传感器工作方式当检测到甲烷气体时, 产生相应的电压值, 由模拟信号输出端口 (AO) 输出, 甲烷浓度增大时, 输出端口的电压值成比例增长。由 STM32 端口内置 A/D 转换进行对 AO 输出的电压值检测, 测定甲烷气体浓度。

为防范“井盖吃人”或被恶意盗取, 本设计采用 ADLX345 三轴加速度传感器来监测井盖是否发生偏移。ADXL345 功耗低, 具有阈值可调的睡眠和唤醒工作模式。当监测终端处于待机状态时, 安装在井盖上的加速度传感器发生偏移并且监测到的值大于阈值, ADLX345 传感器会主动唤醒单片机使其进入工作模式, 此时传感器测量 20 次的加速度值并发送给 STM32 内部。在单片机内部计算 20 次的平均值, 如果平均值大于阈值, 则立即将报警信息上传到服务器; 如果平均值小于阈值, 单片机和加速度传感器都进入待机模式, 等待下一次被唤醒。因此, 选用 ADLX345 三轴加速度传感器来监测井盖是否发生偏移。该传感器灵敏度高, 可以起到实时动态监测井盖位移的功能。

上述 4 个传感器在数据采集时经过与 STM32 处理器通信后, 完成对数据的原始采集, 但需要对数据进行二次处理, 对于液位传感器与甲烷传感器, 由于其使用了 STM32 内置的 12 位 AD 转换模块, 故采用均值滤波的方式来保持数据的稳定准确性。而对于 HX711 模块与 ADLX345 传感器, 其内置芯片完成了相应数据的运算, 故 STM32 通过传感器采集的数据可以直接进行使用。

## 3 系统软件设计

智慧井盖监控系统软件设计主要包括井盖控制终端主控制器的软件设计、智慧井盖管理平台以及手机终端软件设计。

### 3.1 监控终端软件设计

井盖监控终端软件设计主要包括: 主程序、终端服务程序、串口接收服务程序。主程序流程图如图 4 所示。主程序首先对 STM32 串口以及定时器进行初始化, 然后对 NB-IoT 模块进行初始化, 初始化完成后 STM32 和 NB-IoT 模块都进入休眠模式。定时器设定的时间到达后, 向采集端发送运行状态查询命令, 完成井盖状态参数的定时采集, 并按规定的协议将井盖状态数据上传至服务器。

### 3.2 智慧井盖管理系统软件设计

智慧井盖管理系统软件采用 B/S (浏览器/服务器) 模式进行设计, 数据库采用 MySQL, 系统服务端采用 J2EE 技术架构。管理软件在整个智慧井盖管理系统中起着承前启后的作用, 一方面管理软件采用 MQTT 协议与服务器进行数据传输, 管理软件接收到来自服务端的数据, 解析数据并存储在数据库中; 另一方面, 管理软件从 MySQL 数据库中获取数据。智慧井盖管理系统分为: 智能井盖管理模

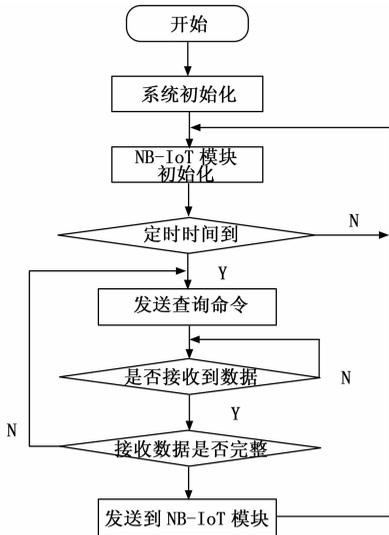


图 4 主程序流程图

块、区域与巡检员管理模块、智能井盖日志、APP 消息模块、平台参数管理模块和系统权限管理模块。智慧井盖管理系统软件设计流程图如图 5 所示。

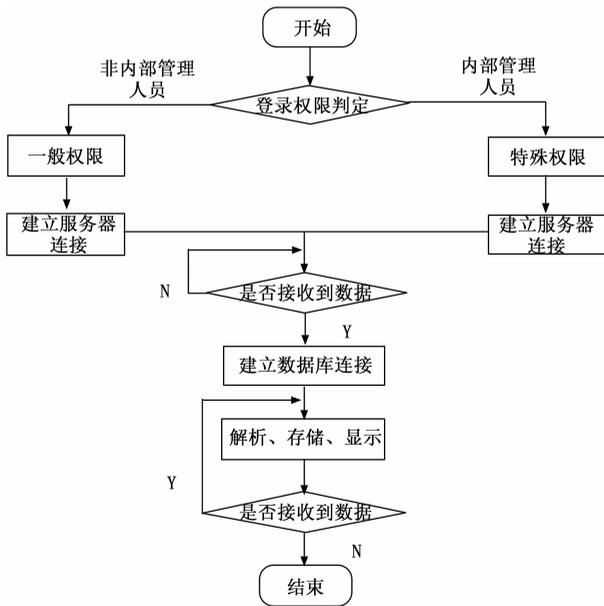


图 5 智慧井盖管理系统软件设计流程图

### 3.3 手机终端软件设计

系统的手机终端主要针对巡检员而设计，采用 Android 系统开发，实现了对异常信息的接收并实现了和服务器端数据交互。在井盖发生异常时，实现定位及导航功能。具体的手机终端软件设计流程图如图 6 所示。

### 4 系统测试与应用

该系统已经进行了现场测试，通过多次长时间测试运行结果表明该系统稳定可靠，达到了很好的预期效果。由图 7 中可以直观地掌握各个区域井盖数量以及在线状态。在列表方式中，以列表的方式显示每个井盖的具体信息，

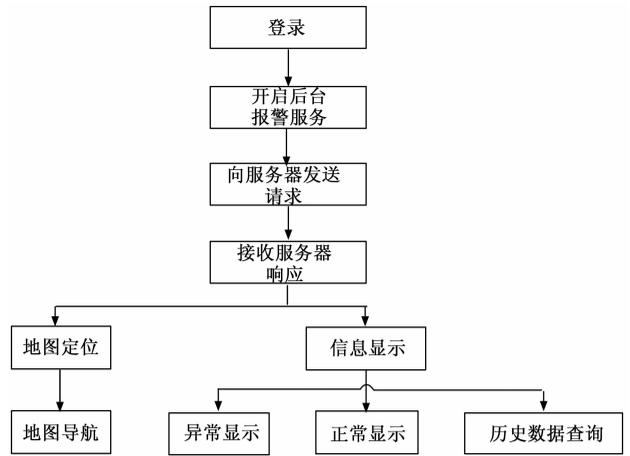


图 6 手机终端软件设计流程图

包括井盖的 ID（每个井盖的唯一识别号）、名称、地址、蓝牙密码（新增井盖初始化应用）、水位、压力、燃气浓度、位移等信息，并且可以对井盖进行启/停（废弃井盖或者启用井盖）操作，在操作栏中可以对井盖信息修改、删除与修改蓝牙密码，在搜索栏里面可以查询任意一个井盖信息。在地图方式中，以更加直观的形式显示了每个区的井盖数、离线数、异常数。通过放大地图则会显示出每个地方井盖的具体信息。



图 7 智能井盖管理系统主界面

图 8 左图表明在手机终端可以在地图模式下清楚地查看各个井盖的分布以及井盖的具体信息；右图表明手机终端在列表模式下，显示了每个井盖的基本信息，包括 ID 号、名称、位移、浓度、水位、压力等。当有异常情况发生时，管理平台 and 手机终端都会收到报警信息，减少了人工巡检和维护的成本，通过手机精确定位故障点，以减少故障检修的时间。

### 5 结束语

针对城市井盖所出现的管理弊端和安全问题，本文结合嵌入式技术、窄带物联网技术和数据库技术，提出并实现了基于 NB-IoT 的智慧井盖监测系统的设计。实现了对

