

基于 NB-IoT 的实时被动式井盖监测系统

吴 坚, 骆江波

(浙江科技学院 机械与汽车工程学院, 杭州 310023)

摘 要: 在城市现代化建设过程中,与地下燃气管道、排水通道、通信线路配套的路面井盖不断增多。为了加强对井盖的状态监测,提高城市安全管理水平,特设计了一种基于窄带物联网(narrowband internet of things, NB-IoT)技术的单跳式井盖监测系统。该系统结合被动触发设计可检测井盖是否被搬动,并采集终端电池的电量。经过组网测试验证,该监测系统能够准确、实时地监测井盖的状态。

关键词: 井盖管理;NB-IoT;实时监测;被动触发

中图分类号: TP277.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2018)01-0026-06

A real-time passive manhole cover monitoring system based on NB-IoT

WU Jian, LUO Jiangbo

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University
of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: In the process of urban modernization construction, the pavement manhole covers which are matched to all kinds of underground gas pipelines, drainage channels and communication lines have been ever increasing. In order to strengthen condition monitoring of the manhole covers and improve the level of urban safety management, a single hop manhole cover monitoring system based on the narrowband Internet of Things (NB-IoT) technology is designed and combined with the passive triggering design to detect whether a manhole cover is moved and collect the terminal battery power. Through the networking test and verification experiment, the monitoring system can monitor conditions of the manhole cover accurately and timely.

Keywords: manhole cover management; NB-IoT; real-time monitoring; passive trigger

随着中国城市建设的发展,城市基础设施建设事业也得到了持续快速的发展。城市中给水、排水、燃气、热力、电力和通信等各类市政公用设施日益增加,城市路面的各类管线设施的井盖也相应地不断增多^[1]。全国特大型城市各类井盖总数量均在 100 万个以上,大型城市在 80 万个以上,中型城市在 50 万

收稿日期: 2017-07-22

通信作者: 吴 坚(1965—),男,江西省玉山人,教授,硕士,主要从事冷链物流装备、数控技术研究。E-mail:wujian@zust.edu.cn。

个以上^[2]。近年来,由于城市中井盖管理不善,造成全国范围内各类伤人、损车事件频发,严重影响了市民的出行安全,造成不良的社会影响^[3]。

针对以上问题,国内外一些高校和研究机构都进行了相应的研究并提出了解决方案,以对井盖实施有效管理。有研究者提出用传感器检测井盖的破裂^[4]、位移^[5-6]、倾角^[7]、光照强度^[8],并将监测结果通过 ZigBee 无线网汇总至 GPRS 网关^[9-10],然后上传至服务器^[11-12]。也有研究者提出,将监测到的物理量通过 433 Mbit 无线网汇总至 GPRS 网关,再上传至服务器^[13]。这些解决方案都能够远程监测井盖状态,但是大都以自组网加 GPRS 网关的两跳方式进行数据传输,其网络部署需要考虑较多因素,后期网络需要持续维护,传输距离较长时需要使用路由中继。

为了避免以上方案存在的问题,笔者提出将窄带物联网(narrowband internet of things, NB-IoT)技术应用于实时被动式井盖监测系统(以下简称系统)。同时采用被动触发和休眠相结合的设计,以降低检测终端功耗,加长检测终端使用年限。

1 NB-IoT 技术

NB-IoT 是一种符合 3GPP 标准的新型无线接入技术,能为物联网提供广域覆盖。NB-IoT 使用 License 频段,在上行和下行传输数据时,最小只消耗 180 kHz 的系统带宽^[14],可直接部署于 GSM 网络、UMTS 网络或 LTE 网络,以降低部署成本、实现网络平滑升级^[15]。NB-IoT 具有以下特点。

1)深度覆盖。在相同的频段下,NB-IoT 网络比 3G、4G 等现有网络信号强度增益 20 dB 左右,覆盖面积扩大 100 倍。这使得在地下车库、地下室、地下管道等手机信号难以到达的地方,NB-IoT 信号也可以覆盖。

2)海量连接。NB-IoT 的一个扇区能够支持多达 10 万个连接,城区每平方千米可接入终端 30 万个^[16]。

3)传输速率和功耗低。NB-IoT 射频带宽为 180 kHz,上行下行峰值速率不大于 250 Kbit/s^[17],聚焦小数据量、小速率应用,因此 NB-IoT 设备功耗可以做到非常小。

4)稳定可靠。NB-IoT 使用全球授权频段,传输网络由运营商现网升级而来,安全可靠。

5)终端部署优势明显。NB-IoT 终端所采集的数据可直接通过基站上传云端,相比于 Zigbee、Lora、蓝牙等无线传输技术,省去了组网步骤和网关,使得终端部署更加灵活,垂直应用更加方便。

6)成本低。相比于其他无线技术,NB-IoT 技术低功耗低速率的特性使其芯片需要更小的缓存、更低的 RF 设计要求、更小的体积,这些技术指标的降低决定了 NB-IoT 芯片成本能够更低^[18]。

NB-IoT 技术主要面向低成本、低功耗、低速率和广覆盖的应用场景^[7],如远程抄表、资产跟踪、智能停车、智慧农业、智慧物流、市政管理、智能电网和智能楼宇等。

2 系统设计

系统结构如图 1 所示,它由包含电子器件的井盖检测终端、NB 通信基站、核心网、服务器和用户组成。检测终端通过 NB-IoT 模组与附近基站通信,数据经由核心网传输至服务器,运行在服务器上的应用程序将数据处理后产生报表和报警信息,发送至维修人员的移动终端,管理人员也可以在管理平台上查看所有井盖的状态。井盖检测终端处理器平时处于休眠状态,传感器和通信模组处于掉电状态,以达到省电的目的。处理器以 6 h 的周期自动唤醒,给传感器和通信模组上电,采集井盖姿态、自身的电量,然后将数据与井盖编号等固定信息融合后上传给服务器。在通信时,服务器可以发送指令给终端,修改其唤醒周期。当外界使井盖发生倾斜时,检测终端内的

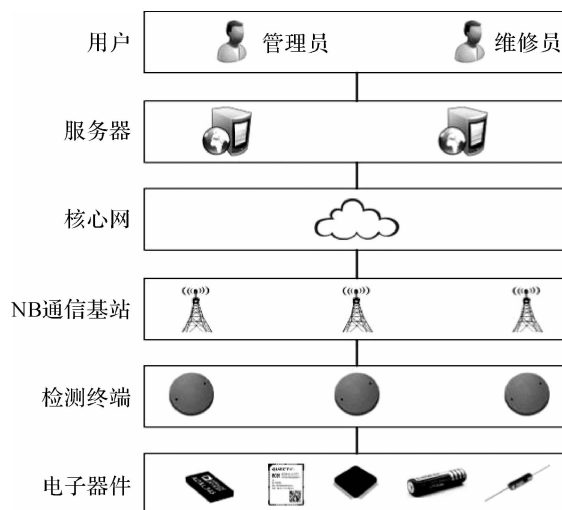


图 1 系统结构

Fig. 1 System structure

倾角开关状态发生变化,产生信号唤醒处理器,处理器被唤醒后,控制电源芯片给三轴加速度传感器和通信模组供电,读取井盖的姿态。终端将信息发送至服务器,服务器应用程序产生报警信息,通知相关人员及时检修。

2.1 硬件设计

检测终端硬件组成如图 2 所示,由 NB-IoT 模组、CPU、三轴加速度传感器、倾角开关、电源控制芯片和电池组成。

NB-IoT 通信模组采用华为海思的 BC95 模块,该模块支持 NB-IoT 通信标准,硬件通信接口为 UART,使用 AT 命令控制,休眠功耗低至 $5\ \mu\text{A}$,内嵌 UDP 和 CoAP 协议,是目前 NB-IoT 通信的理想选择。BC95 在使用时有 PSM、Idle、Active 3 种模式,最大工作电流分别是 $5\ \mu\text{A}$ 、 $6\ \text{mA}$ 、 $300\ \text{mA}$ 。终端选用 18650 锂电池作为电源。电源控制使用双路供电的设计,采用开关电源芯片 TPS62120 为 CPU 和被动触发电路供电,用开关电源芯片 TPS82150 为 BC95 模组和加速度传感器供电,平时开关电源芯片 TPS82150 处于关断状态。当需要采集井盖姿态并上报时,CPU 控制开关电源芯片打开,给 BC95 模组和传感器供电。

CPU 采用 STM32L053C8T6 芯片,该芯片带有 64 KB Flash、8 KB RAM、2 KB EEPROM,12 bit 精度的 ADC 接口和 2 个串口,并且支持 8 种低功耗模式。

被动触发设计使用了 4 个单向倾角开关来检测井盖在 x 、 y 、 $-x$ 、 $-y$ 4 个方向的倾斜。当井盖被撬起以后, x 、 y 、 $-x$ 、 $-y$ 中 1 个或 2 个方向的倾角开关状态发生变化,产生上升沿或者下降沿信号,唤醒 CPU,终端开始采集井盖姿态并上报。

姿态采集传感器采用三轴加速度传感器 ADXL345,三轴加速度传感器可以检测重力加速度在芯片 x 、 y 、 z 3 个方向的分量,因此可以用来测量井盖的倾斜角度。传感器通过四线式 SPI 接口与 CPU 进行通信。

2.2 软件设计

2.2.1 软件流程

检测终端的软件使用前后台系统,每个任务按顺序执行,其流程如图 3 所示。

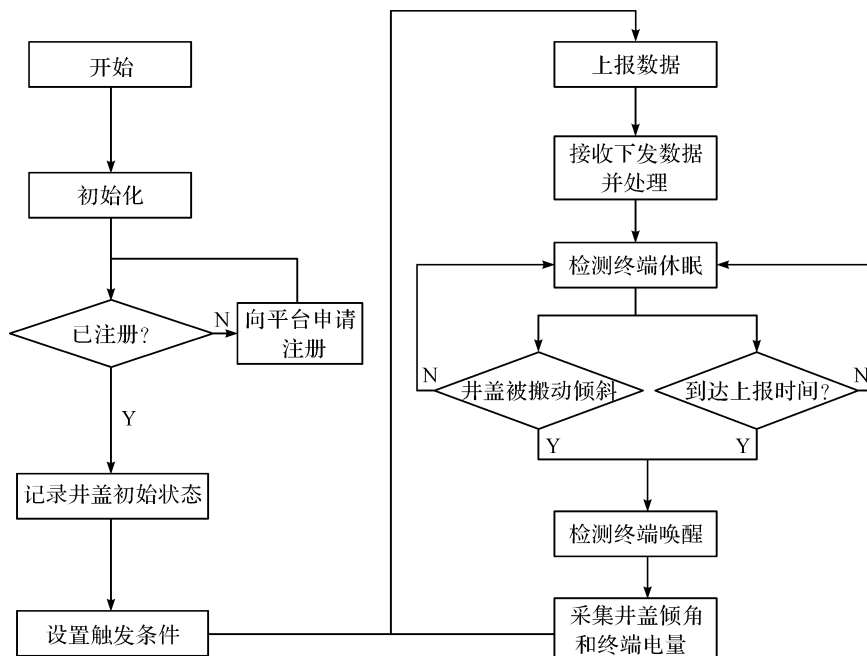


图 3 终端软件流程图

Fig. 3 Terminal software flowchart

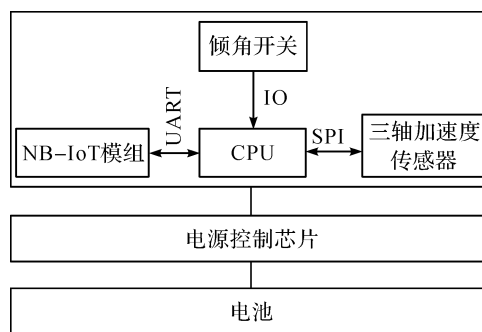


图 2 检测终端硬件组成

Fig. 2 Composition of detecting terminal hardware

2.2.2 通信协议设计

通信协议是检测终端与平台通信时对数据包格式的约定,只有按照约定的格式上报和解析,才能正常完成上报和下发。通信协议设计如表 1~2 所示。

表 1 上报协议

Table 1 Agreement of updating

名称	内容	长度/B	数据类型
帧头	0xFD	1	无符号字符型
设备编号	设备数字编号	8	无符号字符型
角度 $\theta/(^{\circ})$	传感器 x 轴与重力方向的夹角	3	无符号字符型
角度 $\alpha/(^{\circ})$	传感器 y 轴与重力方向的夹角	3	无符号字符型
角度 $\beta/(^{\circ})$	传感器 z 轴与重力方向的夹角	3	无符号字符型
电池电压/V	电压	3	无符号字符型
请求注册	请求注册(0xF1)/不请求注册(0xF0)	1	无符号字符型
上报类型	被动触发上报(0xF1)/主动上报(0xF0)	1	无符号字符型
帧尾	0xFF	1	无符号字符型

表 2 下发协议

Table 2 Agreement of issuing

名称	内容	长度/B	数据类型
帧头	0xFD	1	无符号字符型
上报周期/min	上报间隔	4	无符号字符型
被动触发使能	使能被动触发(0xF1)/关闭被动触发(0xF0)	1	无符号字符型
帧尾	0xFF	1	无符号字符型

2.2.3 姿态解算

三轴加速度传感器可以检测 x 、 y 、 z 3 个轴方向上的加速度,当传感器静止处于倾斜状态时,其 x 、 y 、 z 轴与重力加速度方向形成的夹角分别为 θ 、 α 、 β ,重力加速度在 x 、 y 、 z 轴方向上的分量分别为 g_x 、 g_y 、 g_z ,而 g_x 、 g_y 、 g_z 可由三轴加速度传感器测得。通过重力加速度分解(图 4),可知 $g_y = g \cos \alpha$,从而 $\alpha = \arccos(g_y/g)$,同理可得 $\theta = \arccos(g_x/g)$, $\beta = \arccos(g_z/g)$ 。

2.3 系统容错策略设计

系统的容错设计主要考虑外部环境的不确定性。导致系统不正常工作的因素可能来自倾斜的路面、过往车辆、作业、元件失效和雷电等。因此,系统容错策略主要针对以下几种情况。

2.3.1 安装误报

由于终端会被安装在井盖背面,所以安装时会先给终端上电,然后才安装。为了避免安装时由于翻转井盖导致终端误报信息,所以软件上采用注册机制,终端上电后会向平台请求注册,注册完毕后才开启被动触发功能。

2.3.2 作业误报

很多时候需要翻开井盖进行作业,为了避免此类情况造成的误报,在作业前,需要由平台下发指令给终端,使指定的井盖关闭被动触发的功能,待平台确认作业完毕后,下发控制指令使终端开启被动触发功能。

2.3.3 触发失效

倾角开关可能因为质量或工艺等原因不能产生触发信号,而通过使用三轴加速度传感器,可以得知井盖当前姿态。因此,平台通过比较井盖当前姿态和初始姿态,得知井盖是否塌陷倾斜。

2.3.4 抖动误报

在实际应用中,大部分安装井盖的路面倾斜程度都不同。这样带来的问题是,当路面倾斜度接近

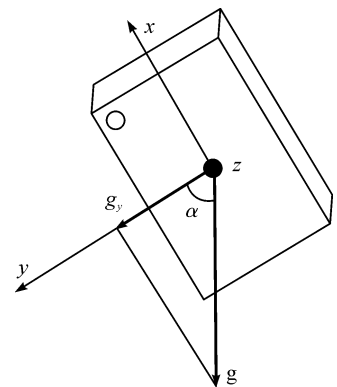


图 4 重力加速度分解

Fig. 4 Decomposition of gravitational acceleration

倾角开关的动作角时,微小的抖动便能使倾角开关状态发生变化,从而产生误报。为解决此类问题,倾角开关需要选择合适的灵敏度。井盖的安装根据城市道路检查井盖技术规范,如图 5 所示。图 6 为井盖翘起后的示意图,其中 A 为井座支承面至顶面的高度, D 为井盖直径, ω 为井盖被撬起时的倾角。

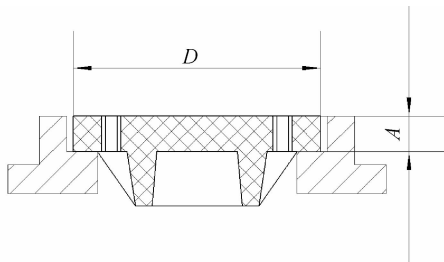


图 5 井盖安装

Fig. 5 Installation of manhole cover

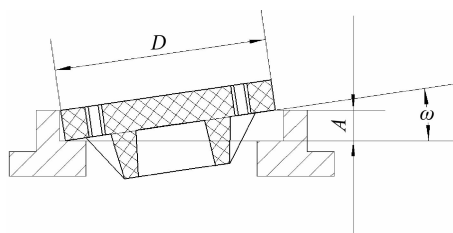


图 6 井盖翘起示意图

Fig. 6 Diagram of manhole cover prying up

由图 5~6 可知,

$$\omega = \arcsin(A/D).$$

假设井盖对路面的容忍倾斜角度为 γ , 考虑到路面有倾斜, 那么倾角开关的动作角 ψ 至少为:

$$\psi = \omega + \gamma.$$

同理, 对方形井盖也应该选择同样动作角的倾角开关。

2.3.5 终端损坏

在户外环境下, 由于高温、低温、雷电等因素均可能导致终端不工作, 为了让管理平台掌握终端是否正常工作, 终端需要周期性主动向平台上报井盖状态。

3 系统测试与分析

使用动作角为 10° 的倾角开关, 电脑运行 UDP 服务器并做好端口映射, 等待检测终端连接上报。BC95 预先配置南向地址和 PLMN(公共陆地移动网络), 使用自动找网方式进行联网。将检测终端静止放置, 待其进入休眠后, 慢慢倾斜终端, 通过串口打印信息观察终端是否被唤醒, 并记录终端被唤醒时的倾角。通过串口打印信息记录终端的唤醒时间点、连上服务器的时间点、上报信息的时间点和下发数据到达终端的时间点, 通过 UDP 服务器记录数据下发的时间点、上报数据到达的时间点。联网过程和上报过程如图 7~8 所示。

最后整理各个环节的数据, 如表 3 所示。

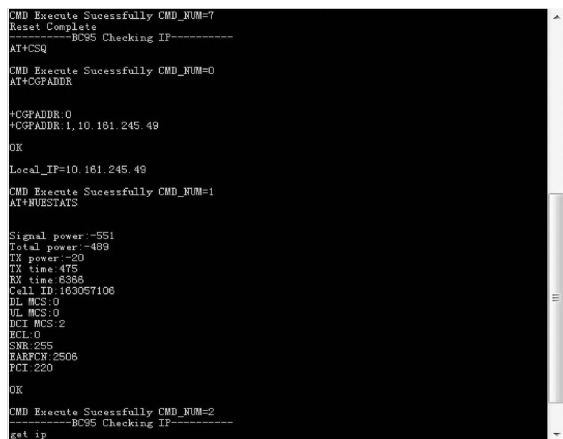


图 7 联网过程

Fig. 7 Networking process



图 8 上报过程

Fig. 8 Updating process

表3 测试结果
Table 3 Test results

数据编号	实际唤醒 角度/(°)	信号强度/ dB	信噪比/ dB	从唤醒到连上 服务器耗时/s	数据上报 耗时/ms	数据下发 耗时/ms
1	10	-54.4	25.3	33	767	785
2	9	-53.3	25.6	34	752	769
3	10	-54.3	24.2	33	764	782
4	10	-56.7	24.4	32	798	817
5	10	-56.7	22.4	35	795	814
6	11	-55.5	22.8	35	779	798
7	10	-56.4	25.2	34	795	814
8	9	-54.9	23.3	35	771	790
均值	9.875	-55.275	24.15	33.875	777.625	796.125

从表3中可以得出,测试环境NB网络信号强度均值为-55.275 dB,信噪比均值为24.15 dB。8组实验中,终端被唤醒时的倾角均值为9.875°;终端联网过程较慢,平均需要33.875 s;对于24 B的上报数据和7 B的下发数据,传输用时均值分别为777.625 ms和796.125 ms。

4 结 论

笔者运用NB-IoT技术设计了一种实时被动式井盖监测系统,该系统能够准确地响应井盖的倾斜产生报警事件,较稳定快速地联网和传输数据至服务器,并通过被动触发和终端休眠相结合的设计,解决了NB-IoT在智能井盖应用中实时要求和省电要求相冲突的难题,从而实现了井盖实时监测系统的优化。

参考文献:

- [1] 赵士鹏. 基于 ZigBee 和 GPRS 的智能井盖远程监控系统设计[J]. 电子世界, 2016(17):158.
- [2] 李志,裴军芳. 一种基于 Zigbee 的分布式井盖监控系统[J]. 科技通报, 2015, 31(3):170.
- [3] 王猛,刘珈池,王阔瑞,等. 基于物联网技术的城市小区智能井盖管理系统[J]. 价值工程, 2016(2):80.
- [4] 颜明博,毛晓惠,孙琪,等. 井盖分布式智能安全监测报警系统[J]. 信息与电脑(理论版), 2016(5):97.
- [5] 郑丰收,周文,宋永明. 城市井盖智能化管理[J]. 测绘通报, 2013(增刊 2):55.
- [6] 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(5):96.
- [7] 任安虎,鲍宏海. 基于 ZigBee 的城市道路井盖安全监测系统设计[J]. 物联网技术, 2014(11):81.
- [8] 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(21):96.
- [9] 解兆延,徐文青,张延波,等. 基于 ZigBee 技术的防盗井盖控制系统的设计与实现[J]. 电子世界, 2014(17):145.
- [10] 马爱丽,曹梦宇,唐玮璇,等. 基于智能井盖的物联网+市政一体化系统[J]. 物联网技术, 2016(3):105.
- [11] 徐培龙,叶敏,徐建,等. 基于 Zigbee 组网技术城市窨井实时监测系统[J]. 自动化与仪器仪表, 2011(4):65.
- [12] 赵继东,马泽恺,杜庆治. 数字化城管系统:一种井盖安全监测系统[J]. 现代物业(上旬刊), 2014, 13(12):134.
- [13] 党磊,潘良波,陶为翔. 城市井盖监控预警平台的研究及应用[J]. 办公自动化, 2014(增刊 1):356.
- [14] WANG Y P E, LIN X, ADHIKARY A, et al. A primer on 3GPP narrowband internet of things[J]. IEEE Communications Magazine, 2017, 55(3):117.
- [15] 张旭,邓菲菲,何天爱. NB-IoT 的技术背景及面临的挑战[J]. 电脑知识与技术, 2017, 13(6):89.
- [16] 贾雪琴,张云勇. NB-IoT 运营策略[J]. 中兴通讯技术, 2017(1):21.
- [17] 鲁娜,朱雪田,张成良. NB-IoT 运营商面临的机遇与挑战[J]. 中兴通讯技术, 2017(1):29.
- [18] 彭雄根,李新,陈旭奇. NB-IoT 技术的发展及网络部署策略研究[J]. 邮电设计技术, 2017(1):58.