

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.010

基于 NB-IoT 的地上消火栓在线监测系统

王伏林¹, 赵林强¹, 龙 荣², 孙秧青², 彭宏江³

(1. 湖南大学 机械与运载工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 湖南省金鼎消防器材有限公司, 湖南 长沙 410151; 3. 湖南克拉维智能设备有限公司, 湖南 长沙 410152)

摘 要: 针对目前地上消火栓状态监测系统的不足,提出一种基于 NB-IoT 技术的地上消火栓在线监测系统。该系统由智能消火栓终端、NB-IoT 基站、IoT 核心网、IoT 平台和地上消火栓监测管理系统组成,能够实现消火栓工作状态(地理位置、水压、水温、倾斜、漏水、用水者身份、阀门开启、流量)的信息采集和数据存储,同时集成 WebGIS 地图实现消火栓的可视化,并在消火栓出现异常时弹出告警信息。此外,该系统还能够全面监测地上消火栓工作状态,具有功耗低、网络连接能力强、室内及地下室覆盖能力好的特点,可为地上消火栓监测和分析决策提供有效信息。

关键词: 地上消火栓; 监测系统; 信息采集; NB-IoT

中图分类号: TU99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0055-05

Ground Fire Hydrant Online Monitoring System Based on NB-IoT

WANG Fu-lin¹, ZHAO Lin-qiang¹, LONG Rong², SUN Yang-qing², PENG Hong-jiang³

(1. College of Mechanical and Vehicle Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Hunan Jinding Fire Equipment Co. Ltd., Changsha 410151, China; 3. Hunan Kravi Intelligent Equipment Co. Ltd., Changsha 410152, China)

Abstract: A ground fire hydrant online monitoring system based on NB-IoT is proposed to overcome the shortcomings of existing online monitoring system of ground fire hydrant. The system consists of intelligent fire hydrant terminals, NB-IoT base stations, the IoT core network, the IoT platform and the monitoring and management system of ground fire hydrant, realizing information collection and data storage of ground fire hydrants operation condition (geographical location, water pressure, water temperature, slope, water leakage, water user identity, valve opening, flow), realizing fire hydrants visualization by WebGIS, and popping up alarm message for abnormal fire hydrants. The system can monitor the operation condition of ground fire hydrant comprehensively, and has the characteristics of low power consumption, strong network connectivity, good indoor and basement coverage. It provides an effective information to monitor ground fire hydrant and analyze decision-making.

Key words: ground fire hydrant; monitoring system; information collection; NB-IoT

作为一种室外消火栓,地上消火栓在城镇、居民区、企业事业单位等地随处可见,为了保证其供水的安全性和可靠性,需要对地上消火栓定期检查。传统的手段是派巡查人员到现场依次对各个消火栓工作状态巡查,并记录每个地上消火栓的位置、供水水压、消火栓是否完好、是否有人偷水等信息^[1]。地

上消火栓分布距离大,每个消火栓在巡查时需要记录的信息多,巡查工作耗时长;地上消火栓的供水压力等信息不能直接观察得到,需要借助一定的工具测量,巡查工作难度大;有的地上消火栓位置偏僻,可能出现巡查遗漏;当地上消火栓出现异常时,工作人员往往不能及时发现这种异常,如果此时突发火

灾,地上消火栓将很难发挥作用。

基于物联网(IoT)的地上消火栓在线监测系统能够对地上消火栓实时监测,避免了现场巡查带来的各种不便^[2-7],但在功能方面还不够完善,无法判断用水者身份、监测流量及开阀等;采用 GPRS 模块功耗高、网络连接能力弱、室内及地下室覆盖能力差。

针对现有地上消火栓在线监测系统的不足,提出一种监测更全面、传输性能更好的基于 NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) 的地上消火栓在线监测系统。在功能方面,除研究消火栓位置、供水压力、碰撞及漏水监测外,还对用水者身份识别、流量监测等功能进行研究;在传输方面,采用无线传输 NB-IoT 模块取代 GPRS 模块,功耗更低、网络连接能力更强、室内及地下室覆盖能力更好^[8]。

1 地上消火栓在线监测系统的需求分析

为便于消防员灭火时快速找到性能良好的地上消火栓,防止消火栓水资源盗用等,需要实时掌握地上消火栓工作状态。根据调研分析,需要对消火栓以下信息进行监测:①地理位置。便于消防员及维修人员快速准确找到消火栓。②进水口水压。防止灭火时,水压不足,造成灭火时机的延误。③进水口水温。防止冬季阀门处水结冰,造成无法取水。④是否倾斜。及时发现被碰撞致倾斜的消火栓并维护。⑤是否漏水。及时发现漏水的消火栓,并及时处理,防止水资源浪费。⑥用水者身份。及时发现非法取水行为,并制止。⑦阀门是否开启。监测阀门开启程度及消火栓是否存在用水行为。⑧流量。监测消火栓用水量。

2 地上消火栓在线监测系统结构设计

基于 NB-IoT 的地上消火栓在线监测系统架构如图 1 所示。

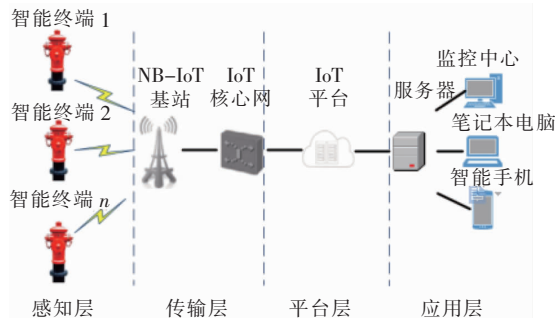


图 1 基于 NB-IoT 的地上消火栓在线监测系统架构

Fig. 1 Online monitoring system architecture of ground fire hydrant based on NB-IoT

感知层是集成微控制器、传感器模块及 NB-IoT 模块的智能消火栓终端装置。传感器模块用于监测消火栓地理位置、进水口水压等信息,微控制器用于与传感器模块和 NB-IoT 模块交互,NB-IoT 模块用于将智能消火栓终端连接到 NB-IoT 基站。

传输层由 NB-IoT 基站和 IoT 核心网组成。NB-IoT 基站用于将众多智能消火栓终端汇接到 IoT 核心网中,为智能消火栓终端建立用户面承载,传递上下行业务数据;IoT 核心网承担与智能消火栓终端非接入层交互的功能,并将 IoT 业务相关数据转发到 IoT 平台进行处理。

平台层用于接收 NB-IoT 模块发送过来的 IoT 数据,解析后存于 IoT 平台上,并开放数据查询接口供应用层获取。

应用层是运行在服务器上的地上消火栓监测管理系统,负责接收、存储、管理和分析 IoT 数据,用户可以通过控制中心、笔记本电脑、智能手机在管理系统上查看地上消火栓当前的位置、水压、倾斜等信息,也可历史查询、修改数据上报频率等,当地上消火栓工作异常时,系统弹出告警信息告知用户。

3 地上消火栓在线监测系统的实现

3.1 智能消火栓终端硬件的实现

智能消火栓终端硬件由微控制器、监测消火栓工作状态的多个传感器模块、NB-IoT 模块及电源模块组成,如图 2 所示。

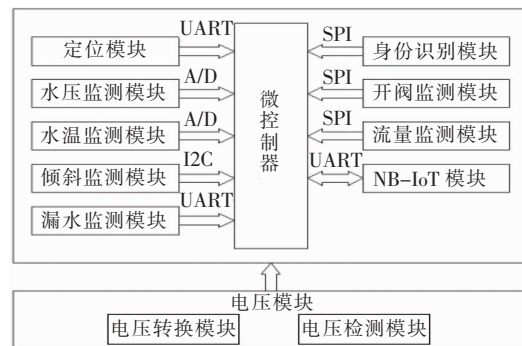


图 2 智能消火栓终端硬件设计示意

Fig. 2 Schematic diagram of intelligent fire hydrant terminal hardware design

① 电源模块

为避免市电供电带来布线不便及漏电危及行人安全等问题,采用电池供电。选用 2 节可充电的大容量 3 000 mA·h 的 18650 型锂电池,串联后电压为 7.4 V。

为满足终端硬件供电电压,增加电压转换模块,通过稳压芯片 LM7805 将电压从 7.4 V 降为 5 V,通过稳压芯片 AMS1117 将电压从 5 V 降为 3.3 V。

为了保证电源有效供电,增加电源电压检测模块,选用上海如韵电子出品的 CN301 电池电压检测芯片,该芯片特别适合单节或多节锂电池电压检测且具有极低功耗的特点。当电池电压低于设定的下行阈值时,CN301 输出低电平,当电池电压大于上行阈值时,CN301 输出高电平。

② 微控制器

选用 TI 公司生产的 MSP430F149 芯片作为微控制器,该芯片集成度高、外围模块丰富,并具有超低功耗等特点。该芯片供电电压为 3.3 V,支持 UART、I2C、SPI 等通信接口。

③ NB-IoT 模块

选用上海移远基于华为海思芯片平台研发的 BC-28 模组,该模组是一款超紧凑、高性能、低功耗的多频段 NB-IoT 无线通信模块。该模组供电电压为 3.3 V,工作温度为 $-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$,通过 UART 与 MSP430F149 通信。

④ 定位模块

选用 NEO-7M GPS 模块,采用新一代 U-blox 芯片,是一款超紧凑、低功耗、超高灵敏度、具备全方位功能的定位模块。该模块供电电压为 3.3 V,工作温度为 $-40 \sim 80^{\circ}\text{C}$,通过 UART 与 MSP430F149 通信。

⑤ 水压监测模块

选用 MSP300-100 压力传感器,安装于消防栓进水口附近,监测消防栓进水口水压。该传感器供电电压为 5 V,工作温度为 $-20 \sim 85^{\circ}\text{C}$,量程为 $0 \sim 0.69 \text{ MPa}$ 。该传感器输出量为模拟信号,将输出量通过模数转换芯片 AD7794 转换后,通过 SPI 发送给 MSP430F149。

⑥ 水温监测模块

选用 PT100 温度传感器,安装于消防栓阀门附近,监测消防栓阀门处水温。该传感器供电电压为 5 V,量程为 $-200 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 。该传感器输出量为模拟信号,将输出量通过模数转换芯片 AD7794 转换后,通过 SPI 发送给 MSP430F149。

⑦ 倾斜监测模块

选用 MEMS 三轴加速度计 MMA8453Q 传感器,以 Z 轴竖直的方式安装于消防栓帽盖处,监测消防

栓是否倾斜。该传感器供电电压为 3.3 V,通过 I2C 将消防栓倾斜时的传感器重力加速度值发送给 MSP430F149。

⑧ 流量监测模块

选用超声波探头作为流量传感器,监测消防栓内水的流速与流量。基于时差法的超声波流量传感器结构如图 3 所示。

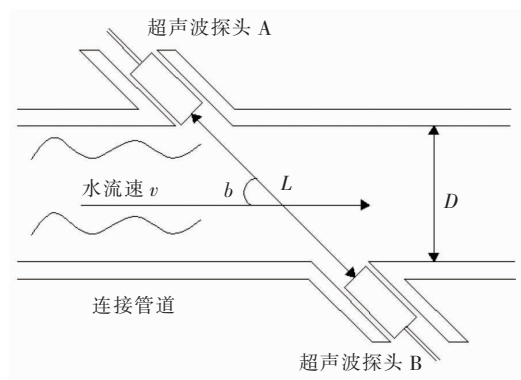


图 3 超声波流量传感器结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of ultrasonic flow sensor structure

消防栓内水流速(v)和流量(Q)计算如下^[9]:

$$v = \left(\frac{L}{t_A} - \frac{L}{t_B} \right) / 2 \cos b \quad (1)$$

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot v(t) dt \quad (2)$$

式中: b 为两探头连线与水流方向的夹角; L 为两探头之间的距离; D 为连接管道内径; t_A 为 A 探头发出超声波信号到 B 探头接收该信号所需时间; t_B 为 B 探头发出超声波信号到 A 探头接收该信号所需时间。

t_A 、 t_B 通过 TDC-GP22 时间间隔测量芯片计算,通过 SPI 接口将时间间隔传给 MSP430F149。当 MSP430F149 监测到消防栓阀门打开后,向 TDC-GP22 发出控制信号,芯片 TDC-GP22 的引脚 FIRE-UP 向探头 A 发射超声波触发信号,经 START 引脚接收后,TDC 控制单元开始计数;当 TDC-GP22 的引脚 FIRE-DOWN 接收到探头 B 传回来的超声波触发信号时,完成 t_A 的计算; t_B 同理可得。

⑨ 开阀监测模块

开阀监测模块用于监测阀门开启。由于阀瓣位移测量不便,通过一套齿轮啮合结构获取阀杆转角来判断阀门开启。阀杆转角监测结构如图 4 所示。选用英飞凌的 TLE501x 磁性角度传感器作为测量元件,该传感器供电电压为 5 V,通过 SPI 接口将监

测的转角值发送给 MSP430F149。

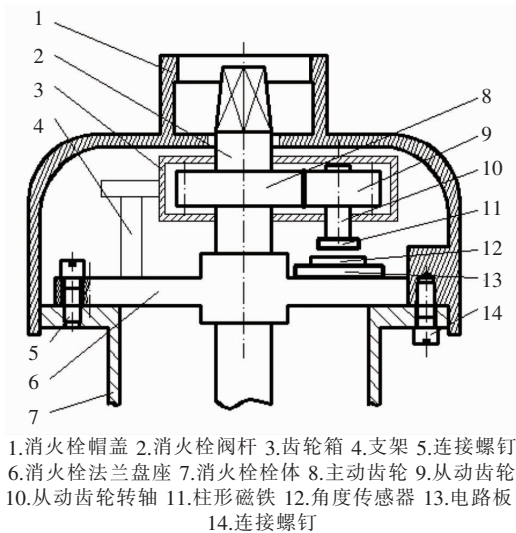


图 4 阀杆转角监测结构示意图

Fig. 4 Monitoring structure diagram of valve stem angle

⑩ 漏水监测模块

选用 S3 - WDT - P 漏水探头。该探头基于液体导电原理制成,处于常开状态;当发生漏水时,探头导通输出电信号。该探头供电电压为 5 V,通过 UART 将电信号发送给 MSP430F149。

⑪ 身份识别模块

采用 RFID 识别器与 RFID 卡,识别用水者身份。将识别器安装在消防栓帽盖内,消防工作人员配备 RFID 卡。在开阀监测模块监测到用水行为前后的一小段时间内,若微控制器接收到识别器识别的卡信息,则说明用水者为消防工作人员;若微控制器未接收到识别器识别的卡信息,则用水者可能为盗水者,将此告警信息上传至管理系统,需尽快派消防工作人员前去查看。

选用 AS3992 芯片作为 RFID 识别器。该识别器供电电压为 5 V,工作温度为 $-40 \sim 110^{\circ}\text{C}$,通过 SPI 将识别的卡信息发送给 MSP430F149。智能消防栓终端结构如图 5 所示,微处理器、传感器模块、NB - IoT 模块及电源模块安装在帽盖和连接管道处。

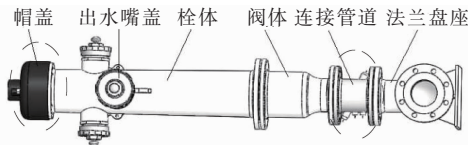


图 5 智能消防栓终端装置示意

Fig. 5 Schematic diagram of intelligent fire hydrant terminal structure

3.2 智能消防栓终端软件实现

智能消防栓终端主程序由配置定时器、传感器数据采集及处理、数据上传、接收用户指令等功能组成,程序的工作流程如图 6 所示。

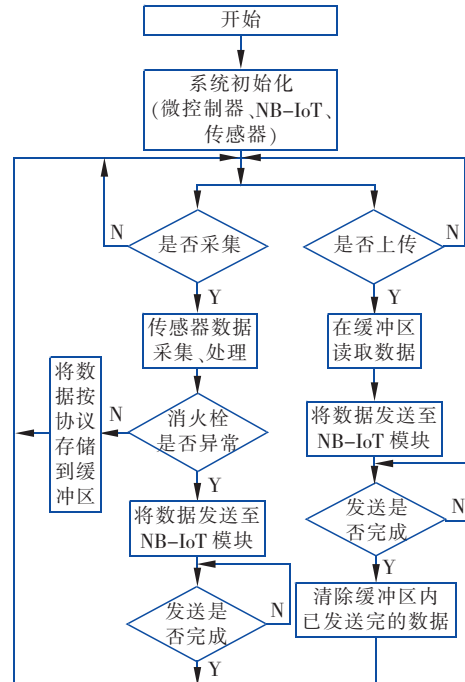


图 6 智能消防栓终端主程序流程

Fig. 6 Flow chart of intelligent fire hydrant terminal main program

① 对微控制器初始化,打开定时器及中断,设置每个传感器的数据采集周期和数据上传周期等,对 NB - IoT 及传感器初始化。

② 判断是否需要数据采集、数据上传等。若需要采集,进入步骤③;若需要上传,进入步骤④。

③ 采集并处理该传感器数据,若数据表明消防栓异常,直接上传该数据,上传结束后返回步骤②;若数据未表明消防栓异常,将数据按协议存储到缓冲区,返回步骤②。

④ 在缓存区读取数据,通过 @ 指令将数据发送至 NB - IoT 模块,数据发送完毕后清除缓冲区内已发送的数据,返回步骤②。

3.3 地上消防栓监测管理系统实现

地上消防栓管理系统主要由数据库、WEB 网页、WebGIS 三部分组成。数据库采用 MySQL 关系型数据库,用于存放消防栓各监测信息数据表和消防栓编号数据表,各监测信息表之间通过消防栓编号关联;WEB 网页采用 B/S (Browser/Server) 结构模

式,使用Java语言、JSP动态网页技术、MySQL数据库和Tomcat服务器设计开发;WebGIS基于SharpMap类库开发,通过提取GPS_DATA表中的经纬度信息来进行消火栓位置的显示。

WEB网页实现了地上消火栓状态监控,可查看消火栓设备信息、状态信息及告警信息等。WebGIS实现了地上消火栓在地图中的显示,可查看某位置附近消火栓,也可通过消火栓编号查看消火栓地址,方便使用与维护。

4 系统运行情况

2019年8月,该系统投入试运行,在长沙市区范围内安装了57个智能消火栓终端。在历时4个多月的试运行过程中,系统能可靠监测、上传各消火栓待监测量;消火栓终端在连续工作3个月左右时,电源电压开始下降,需要更换一次锂电池;通过消火栓管理系统显示的告警信息,工作人员及时维护了异常消火栓和制止了盗水行为,减少了异常消火栓造成的经济损失和盗水行为。

5 结论

设计了一种基于NB-IoT的地上消火栓在线监测系统,基于物联网技术实现了地上消火栓地理位置、水压、水温、倾斜、漏水、用水者身份、阀门开启、流量的实时监测、云存储、动态查询、数据分析等功能,基于WebGIS技术实现了消火栓在地图中显示的功能,可方便消防人员及时掌握消火栓工作状态和快速找到目标消火栓。将NB-IoT模块应用到地上消火栓在线监测系统中,使系统终端具有功耗低、覆盖广、连接强的优点,对未来智慧消防的发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 彭烨,李松杰,张鹏. 浅析如何做好市政消火栓维护管理工作[J]. 市场周刊,2018(7):21-22.
PENG Ye, LI Songjie, ZHANG Peng. Analysis on how to do the maintenance and management of municipal fire hydrants[J]. Market Weekly, 2018(7):21-22(in Chinese).
- [2] SHETH A, SRIVASTAVA B, MICHAELLES F. IoT-enhanced human experience[J]. IEEE Internet Computing, 2018, 22(1):4-7.
- [3] 姚妍彬,卢成伟. 取水栓及消火栓远程实时监管系统[J]. 给水排水, 2017, 43(3):113-115.

YAO Yanbin, LU Chengwei. Water supplied hydrant and fire hydrant real-time monitoring system[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(3):113-115(in Chinese).

- [4] 周蓉蓉. 基于物联网的消火栓监测管理系统[J]. 消防技术与产品信息, 2015(8):26-29.
ZHOU Rongrong. Fire hydrant monitoring and management system based on Internet of Things[J]. Fire Technique and Products Information, 2015(8):26-29(in Chinese).
- [5] 彭烨,幸敏力,黄凯宁. 基于物联网智能消防栓监测系统应用研究[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2015, 24(2):36-39.
PENG Ye, XING Minli, HUANG Kaining. Intelligent fire hydrant monitoring system for city fire[J]. Journal of MUC(Natural Sciences Edition), 2015, 24(2):36-39(in Chinese).
- [6] 黄超,孙进春. 消火栓在线监测与定位系统研究[J]. 消防科学与技术, 2015(8):1059-1061.
HUANG Chao, SUN Jinchun. Online monitor and location system of fire hydrant[J]. Fire Science and Technology, 2015(8):1059-1061(in Chinese).
- [7] 黄凯宁. 城市智能消火栓监控系统设计与应用[J]. 供水技术, 2015, 9(5):50-54.
HUANG Kaining. Design and application of urban intelligent fire hydrant monitoring system[J]. Water Technology, 2015, 9(5):50-54(in Chinese).
- [8] RATASUK R, MANGALVEDHE N, ZHANG Y, et al. Overview of narrowband IoT in LTE Rel-13[C]//IEEE. Proceedings of IEEE Conference on Standards for Communications & Networking. Berlin: IEEE, 2016:1-7.
- [9] 王伟智. 基于TMS320超声波流量计测控平台开发[D]. 成都:电子科技大学, 2011:15-17.
WANG Weizhi. Development of Measurement and Control Platform Based on TMS320 Ultrasonic Flowmeter[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2011:15-17(in Chinese).

作者简介:王伏林(1970-),男,湖南长沙人,博士,副教授,研究内容主要集中在数字化制造、机械再制造工程、计算机辅助工程。

E-mail:18874083485@163.com

收稿日期:2019-10-29

修回日期:2019-12-25

(编辑:丁彩娟)