

基于 NB-IoT 的智能膜式燃气表系统设计与实现

陶 陶¹, 梅金东², 王小林², 王爱国¹

(1. 安徽工业大学 计算机科学与技术学院, 安徽 马鞍山 243002;

2. 安徽工业大学 工程研究院, 安徽 马鞍山 243002)

摘要: 针对目前机械式的膜式燃气表存在的抄表效率低、数据管理困难等问题, 设计了一种基于 NB-IoT 数据传输方式的智能膜式燃气表远程抄表系统, 该系统以 STM32 作为主控制器进行数据处理与指令控制, 使用 OV7670 图像传感器采集燃气表刻度值, 通过 NB-IoT 方式实现数据的传输, 最后在物联网云端进行数据的集中分析与持久化存储, 给出了远程抄表系统详细的软硬件设计方法; 经实验测试表明, 该系统可以准确地获取燃气表数据, 稳定高效的运行, 解决了传统膜式燃气表存在的问题, 满足远程抄表应用场景的要求, 具有良好的应用前景。

关键词: NB-IoT; STM32; 膜式燃气表; 远程抄表; 嵌入式系统

Design and Implementation of Intelligent Membrane Gas Meter System Based on NB-IoT

Tao Tao¹, Mei Jindong², Wang Xiaolin², Wang Aiguo¹

(1. School of Computer Science and Technology, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China;

2. Engineering Research Institute, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract: Aiming at the problems of low meter reading efficiency and difficulty in data management of current mechanical membrane gas meters, a remote meter reading system for smart membrane gas meters based on NB-IoT data transmission is designed. The system is based on STM32. The controller performs data processing and command control, uses the OV7670 image sensor to collect gas meter calibration values, realizes data transmission through NB-IoT, and finally conducts centralized analysis and persistent storage of data in the Internet of Things cloud, giving remote meter reading. The detailed software and hardware design method of the system is presented. Experimental tests show that the system can accurately obtain gas meter data, operate stably and efficiently, solve the problems of traditional membrane gas meters, meet the requirements of remote meter reading application scenarios, and has a good application prospect.

Keywords: NB-IoT; STM32; membrane gas meter; remote meter reading; embedded system

0 引言

随着物联网通信技术的快速发展和加快建设智慧城市的需求, 智能燃气表开始在千家万户中普及开来^[1]。由于早期部分小区的天然气管道铺设限制, 部署了传统膜式燃气表的用户无法更换新型的燃气表, 膜式燃气表是多年前就投入使用的一种基于滚轮计数法的机械表, 燃气的使用量通过滚轮上面的刻度标识出来, 需要专门的工作人员上门查看燃气表数据, 然后纸质记录。

这种方式, 费时费力, 效率低下, 无法实现数据的远程管理, 严重制约了各大燃气供应公司的管理效率。

针对上述存在的问题, 本文设计了一种采用嵌入式图像识别技术采集燃气表数据, 利用 NB-IoT (Narrow band Internet of things, 窄带物联网) 通信技术进行数据的传输,

实现燃气表数据的远程采集功能的智能膜式燃气表系统。这种设计的优点在于数据采集方式准确高效, 数据传输抗干扰能力强, 数据管理公开透明。天然气公司可以利用管理系统实时查看燃气表的状态信息, 及时的处理燃气表的各种异常问题, 防止危险情况的发生。用户可以通过手机终端软件浏览当前的天然气使用量、历史记录等信息。智能膜式燃气表系统解决了传统膜式燃气表存在的抄表效率低下的问题, 提高了天然气供应公司的管理效率。

1 系统整体设计

智能膜式燃气表系统框架如图 1 所示。系统设计参照物联网分层体系划分为三层: 数据感知层、网络传输层、应用管理层^[2]。数据感知层主要完成燃气表刻度信息的采集、发送终端数据、接收控制指令等功能。网络传输层主

收稿日期: 2020-07-20; 修回日期: 2020-08-31。

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(1908085MF212); 赛尔网络下一代互联网技术创新项目(NGII20190305)。

作者简介: 陶 陶(1977-), 男, 安徽无为, 副教授, 主要从事嵌入式系统, 无线传感器网络方向的研究。

通讯作者: 梅金东(1991-), 男, 安徽蚌埠人, 硕士研究生, 主要从事嵌入式系统, 物联网通讯技术方向的研究。

引用格式: 陶 陶, 梅金东, 王小林, 等. 基于 NB-IoT 的智能膜式燃气表系统设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(3): 243-247.

要将感知层数据利用 NB-IoT 基站发送给物联网服务器，然后经结构化处理后存入到数据库中。应用管理层主要是在 PC 端和手机端实时的处理燃气表节点的状态信息。

数据感知节点的低功耗、高可靠性设计是整个系统高效运行的基础。终端节点采用独立干电池供电，主要的功耗集中于数据的采集与传输上，为了整体上长期保持在一个低功耗的水平状态，从两个角度进行系统设计，一方面对这部分程序的有效执行时间进行严格的限制，采用定时器的定时中断思路，设置指定的时间点触发数据采集模块工作，不在此时间内则系统保持待机模式，节省功耗；另一方面对程序进行精简设计，将图像传感器采集到的原始图像数据进行数据压缩，减少识别程序的数据处理量，从而降低指令执行产生的硬件功耗。终端节点所处的运行环境会随着居民小区的位置不同而发生改变，需要考虑消除一些不稳定的环境因素对电路造成的干扰，系统设计了独立的看门狗程序，在系统不能正常响应的情况下对系统进行复位，并记录故障信息供系统优化作参考，从而保证系统的正常工作。

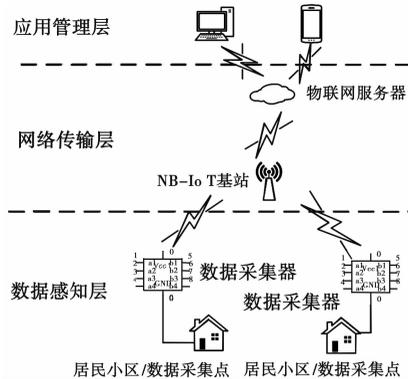


图 1 系统框架

2 系统硬件设计

硬件设计结构如图 2 所示。整个硬件系统由 STM32L471RG 主控制微处理器、M5310A 无线传输模块、燃气表刻度识别模块、电源模块、MQ-5 燃气检测模块、报警模块、时钟模块构成。各个模块之间功能相互独立，通过硬件接口进行数据的交换。主控制 STM32L471RG 微处理器通过外置引脚与其他模块连接，实现与模块的数据传输与指令控制。燃气表刻度识别模块利用图像传感器 OV7670 拍摄燃气表上面的刻度，经 AL422B 缓存芯片输出给主控制微处理器，微处理器运行嵌入式图像识别算法计算出燃气值，通过 M5310A 传输模块发送到管理后台，从而实现燃气数据的远程采集功能。电源模块的设计基于终端节点的低功耗、高可靠性要求对系统进行能量的管理与分配^[3]。MQ-5 燃气检测模块是对燃气表接口部位进行安全监测，如果燃气发生了泄露，会触发报警模块，上传异常信息至管理系统，以便天然气供应公司及时的维护和管理。

2.1 STM32L471RG 主控制微处理器

STM32L471RG 是由 STMicroelectronics（意法半导体）

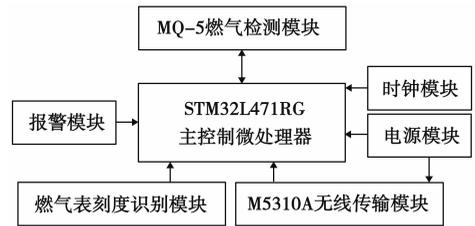


图 2 硬件设计结构

公司生产的一款超低功耗高性能的嵌入式 ARM 微控制器（Micro Control Unit, MCU），基于 Cortex-M4 架构，CPU 主频高达 80 MHz，拥有 128 kB 的 SRAM、1 MB 的 Flash，采用 LQFP64 封装。该芯片是系统的数据处理中心和指令控制中心。芯片资源满足终端节点的硬件设计要求。

2.2 燃气表刻度识别模块

燃气表刻度识别模块由图像传感器 OV7670 与 AL422B 图像数据存储芯片共同构成。OV7670 是 OmniVision 公司生产的一款具有 30 W 像素的 CMOS 图像传感器模块^[4]，可以输出 320 × 240 像素大小的 QVGA 格式图像数据，对环境温度要求不敏感，抗干扰能力强，在各种复杂条件下都能对燃气表的刻度进行很好地取景。OV7670 的电路原理如图 3 所示。AL422B 芯片是 AverLogic 公司生产的一块存储容量为 384 k × 8 bits 的专门用于图像数据存储的 FIFO 芯片^[5]，支持高速的异步串行 I/O 读写操作。由于 OV7670 图像采集速度和 STM32L471RG 的 I/O 引脚读取速度不一致，并且直接处理 OV7670 采集的图像数据对 STM32L471RG 的资源消耗较大，故采用 AL422B 芯片做图像数据缓存区。AL422B 的电路原理如图 4 所示。

OV7670 的像素时钟 PLCK 引脚与 AL422B 的数据读入时钟 WCK 引脚相连，用于写时钟信号控制。AL422B 的 DI0-DI7 引脚接收 OV7670 的 D0-D7 数据输出，STM32L471RG 主控制器从 AL422B 的 DO0-DO7 引脚顺序读入图像缓存数据。数据的输出信号由 OE 引脚输入，数据的读取信号由 RE 引脚输入，由主控制器控制。

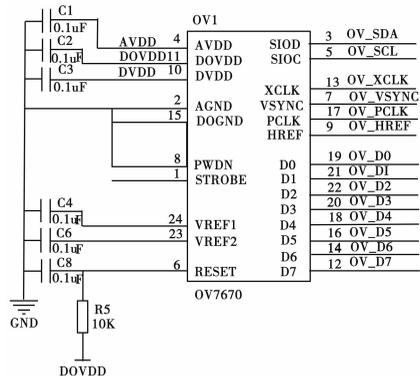


图 3 OV7670 电路原理图

2.3 M5310A 无线传输模块

NB-IoT 是聚焦于低功耗广域网（Low-Power Wide-Area Network, LPWAN）领域的一种新兴物联网数据传

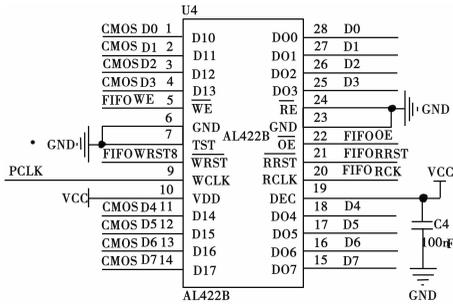


图 4 AL422B 的电路原理

输协议^[6]。相比较于 LoRa、SigFox、GPRS 等 LPWAN 领域的其他通信技术, NB-IoT 构建于蜂窝网络^[7], 使用 License 频段, 可以直接部署于 GSM、UMTS 或 LTE 网络^[8], 消耗 200 kHz 左右的带宽。

M5310A 是一款基于华为海思 Hi2110 芯片的低功耗、深覆盖、集成度高的工业级 NB-IoT 无线通信模组。模组包含的基本电路有: 电源模块、通用异步收发器 (UART) 模块、射频 (radio frequency, RF) 电路模块、SIM (subscriber identity module) 卡模块、串行调试 (serial wire debug, SWD) 模块、模/数转换 (analogue-to-digital conversion, ADC) 模块^[9]。

M5310A 模组通过串口 RXD、TXD 与 MCU 进行的数据传输。发送数据的时候, MCU 通过 RXD 引脚将燃气表数据发送给 M5310A 模块, 然后 A/D 模块将数字信号转换成模拟信号经 RF 射频电路发送出去; 接收数据的时候, A/D 转换模块将 RF 电路接收的模拟信号转换成数字信号, 通过 TXD 引脚发送给 MCU。在一次数据收发结束之后, 模组进入 PSM (Power Saving Mode) 节电模式, 停止大部分的连网活动, 此时模组的最大耗电为 5 μ A。M5310A 模组与 STM32L471RG 主控制微处理器的通信电路如图 5 所示。

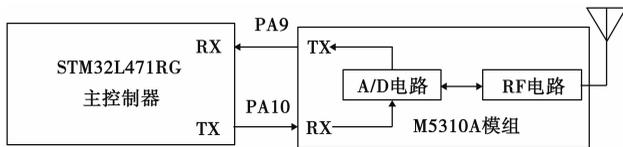


图 5 M5310A 通信电路

2.4 电源模块

稳定的电压输入直接关系到系统工作的稳定性和性能的可靠性^[10], 考虑到各硬件模块所需要的电压有所差异, 所以电源模块采用四节 1.5 V 干电池串联并使用低压差线性稳压器 TPS709 系列芯片为系统各硬件子模块进行分级供电。TPS709 系列芯片是德州仪器专门针对功耗敏感型应用而设计的超低静态电流器件, 此系列芯片输入电压范围是 2.7~30 V, 可提供固定输出电压范围是 1.2~6.5 V, 温度范围内其误差仅为 2%。其中 TPS70933 芯片输出电压 3.6 V, 为 STM32L471RG 主控制芯片供电, TPS70939 芯片输出 3.9 V 电压, 为图像传感器 OV7670 和 AL422B 缓存芯片提供工作电压。MCU 使能稳压芯片的 EN 引脚, 置其为高

电平, 使其输出满足各模块需求的工作电压, 模块正常工作; 置 EN 引脚为低电平, 模块处于低功耗待机模式。

3 系统软件设计

整个系统是在 Keil4 集成环境下利用 C 语言进行开发的, 按照模块化的编程思想, 将系统划分为: STM32L471RG 芯片驱动设置模块、燃气表刻度识别模块、无线通信模块、MQ-5 燃气检测模块等。软件模块设计如图 6 所示。

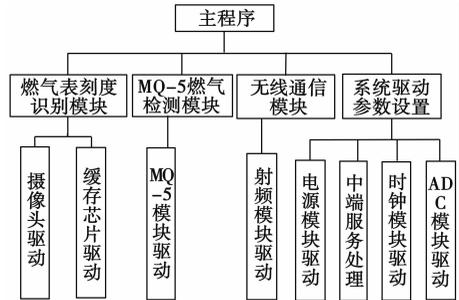


图 6 软件模块设计

3.1 主程序设计

主程序执行流程如图 7 所示。系统通电完成后, 首先对各个模块的初始化验证, 以确定硬件可以正常上电、工作。接着判断燃气表终端是否已在系统中进行注册, 注册过的终端可以正常接入系统。MQ-5 燃气检测子模块初始化之后就会实时检测燃气表周围的气体浓度, 当浓度过高时, 触发报警机制。在燃气表正常工作的情况下, 系统处于低功耗模式, 在设定的时钟中断被触发的时候, 调用燃气表刻度识别子程序采集燃气数据, 通过无线通信子程序完成数据的上报, 实现膜式燃气表数据的远程采集功能。

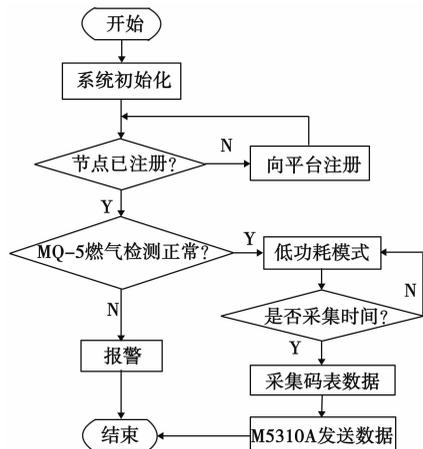


图 7 主程序执行流程

3.2 无线通信模块设计

M5310A 模组通信流程如图 8 所示, 系统上电后, M5310A 模组首先进行初始化, 主控制器利用预先设置的 AT 指令对模块进行 IMEI 号、IMSI 号、波特率等基础参数设定, 随后检测 SIM 卡状态以及当前的网络信息强度, 判断是否符合入网要求, 入网成功后物联网云端就会记录下这个终端设备的信息, 设备激活成功。燃气数据上报指令

到来时根据 NB-IoT 网络传输协议对码表刻度数据包进行组帧发送，发送完成之后，模组进入低功耗待机模式，等待下一次数据发送指令的到来。

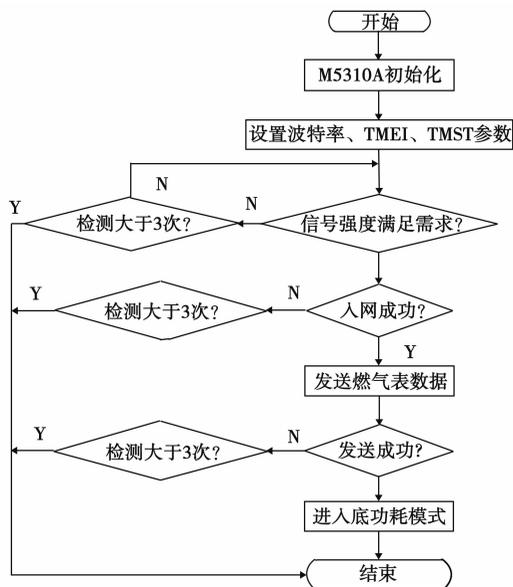


图 8 M5310A 模组通信流程

3.3 燃气表刻度识别模块设计

燃气表刻度识别模块采用的是 OV7670 摄像头模组，刻度值识别流程如图 9 所示。系统通电后，首先会对 OV7670 传感器模组及缓存芯片 AL422B 初始化，配置 OV7670 摄像头拍摄一帧彩色图像的分辨率为 320 * 240，直接输出的数据格式为 RGB565，每一个像素点大小为 2 B，一帧图像的占用的空间为 150 kB。接着根据时钟模块设定的采集时间去拍摄燃气表的刻度，将这个图像数据写入到 AL422B 芯片中，STM32L471RG 微控制器读取缓存芯片的图像数据，识别出其中的具体数值，然后通过 UART 串口发送给 M5310A 模组，最后上传至物联网服务器，服务器程序对刻度数据进行规格化处理后存入到数据库中永久保存。一次数据采集完成之后，刻度识别模块进入低功耗待机模式，等待下一次时钟中断的到来再次执行采集程序。嵌入式图像识别算法的编程方法分为以下四步：

1) 图像预处理。OV7670 输出一帧 RGB565 格式的图像数据大小为 150 kB，一个像素点大小 2 B。STM32L471RG 的 SRAM 大小为 128 kB，无法直接进行处理，所以先对图像数据进行压缩，做法是从 AL422B 中读取后 8 位，提取 B 通道的 5 位数据值，转换成标准 RGB888 格式的 B 通道 8 位数据^[11]。这样一个像素点 B 通道数据占用 1 个字节，相同分辨率的图片大小就变成了 75 kB，MCU 完全有能力处理这个数据。

2) 对待识别的区域进行定位。本系统研究的燃气表刻度数值为 5 位，因此定位区域长度只要包含 5 位数字字符的长条区域即可，由于只要识别数字，因此，采用反向阈值对步骤①的数据处理更为合适，反向阈值后的图像为“黑

字白底”，后续的字符定位更容易处理，然后再对数字区域需要进行上下左右定位，从而确定数字区域的边界。

3) 字符提取。对数字区域内的字符粗分割。将步骤 2) 得到的数字区域进行分割，实现燃气表字符的粗定位。由于燃气表的数字区域是 5 个字符，并且字符之间的间距都是固定的，因此可以根据中间字符的位置计算左右字符的边界数据。然后通过自适应阈值算法突出数字字符的特征，过滤干扰字符的信息，使得细粒度字符框内只包含有字符数据，实现字符的细定位。

4) 字符识别。首先制作标准的字符模板库，然后使用数字模板匹配算法对细定位字符进行数字识别，从而获取到燃气表刻度的实际值。

在嵌入式平台上实现图像识别算法，首先要考虑的是硬件资源是否支持，其次是运行识别算法的功耗。STM32L471RG 微控制器仅有 128 kB 的 SRAM，因此选择在 X86 平台的 VS2010 软件上制作标准字符的码表刻度数据模板然后以一维数组的形式保存下来移植到嵌入式程序中。将提取后的字符与标准模板库进行匹配，逐一识别出具体的刻度数字。然后将刻度数据添加上终端设备标志信息后封装成 JSON (javaScript object notation, JS 对象表示法) 数据格式的字符串经 NB-IoT 模块发送给物联网服务器，云端程序对数据进行规格化处理，进行持久化保存，供管理人员及居民用户实时查看。

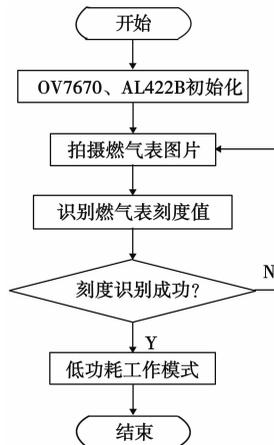


图 9 刻度值识别流程

4 系统测试与分析

系统测试程序的开发环境为 Visual studio 2010，采用 C++ 语言进行开发设计。测试过程中，对燃气表刻度识别时间与 NB-IoT 模组数据传输时间分别进行了记录，其测试结果示例如表 1 所示。从实验结果中可以看出，燃气表刻度值的识别，在 7 次数据统计中，结果都在 3 000 ms 的时间范围内，均值为 2 428.6 ms，图像识别算法运行时间满足系统要求，时间波动在允许的误差范围内。NB-IoT 无线模组的网络信号强度平均值在 -55.1 dB，信噪比的平均值为 24.2 dB。上传 36B 的燃气量数据需要的平均时间为 830.3 ms，从刻度识别开始到上传至服务器的总耗时平均

为 3 544.6 ms。7 次试验的结果均在预期范围内, 满足远程抄表的要求。

表 1 终端耗时测试结果

数据编号	码表刻度识别耗时/ms	信号强度/dB	信噪比/dB	数据传输耗时/ms	总时间/ms
1	2 300	-53.2	25.4	800	3 100
2	2 500	-54.2	25.2	796	3 296
3	2 100	-56.1	25.1	784	3 884
4	2 800	-54.8	23.4	910	3 710
5	2 600	-55.6	22.7	830	3 430
6	2 000	-55.2	22.6	850	3 850
7	2 700	-56.3	25.1	842	3 542
均值	2 428.6	-55.1	24.2	830.3	3 544.6

5 结束语

传统的机械式膜式燃气表在早期的燃气计量方面发挥了重要的作用, 但是随着社会信息化的发展, 其存在的缺陷也逐步暴露出来, 抄表效率低是天然气供应公司亟待解决的问题。

本文给出了一种基于 NB-IoT 数据传输方式的膜式燃气表远程抄表解决方案。通过对不同小区环境下实验结果的分析得出结论: 该系统可以在低功耗水平下稳定准确的采集燃气表数据, 系统数据库能够长期保存用户的使用数据, 实现了对燃气数据的规格化管理, 很好地解决了传统膜式燃气表由于物理缺陷导致的抄表难、数据管理混乱等

问题, 提高了天然气供应公司对膜式燃气表的管理效率。

参考文献:

[1] 洪 儒. 基于窄带物联网智能燃气表系统设计与实现 [J]. 传感器与微系统, 2019 (3): 113-116.

[2] 叶许红. 一个基于物联网的动力和环境监控系统的设计实例 [J]. 计算机科学, 2012, 39 (B06): 210-211.

[3] 吕 阳. 基于环境监测的无线传感器网络节点管理器的硬件设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2020.

[4] 李慧敏, 樊记明, 杨 笑. 基于 STM32 和 OV7670 的图像采集与显示系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2016, 35 (9): 114-117.

[5] 陈向春, 侯智斌, 张 峰. FIFO 芯片和单片机实现的图像采集系统 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012, 12 (4): 55-58.

[6] 刘 磊, 孙超山. 低功耗远距离无线通信技术及其军事应用分析 [J]. 通信技术, 2018, 51 (2): 331-336.

[7] 孟 凡, 王金忠. NB-IoT 联合组网及优化策略 [J]. 电信工程技术与标准化, 2018, 31 (6): 27-31.

[8] 杨 峰, 初 强. NB-IoT 技术特点与前景 [J]. 中国新通信, 2017, 19 (14): 80.

[9] 王宜怀. 嵌入式技术基础与实践 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.

[10] 王建强, 许 鹏, 谢正光, 等. 无线燃气表抄表系统的集中器设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2014 (5): 132-137.

[11] 何 云. 家用燃气表码盘自动识别系统设计与实现 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2018.

(上接第 237 页)

本文在传统研究的基础上提出了一种基于 5G 无线通信技术的城市轨道交通信息传输系统, 针对系统框架、硬件、软件进行优化。经实验验证, 该系统能够有效解决传统系统传输速率、丢包率、越区切换时间等问题, 具有很强的实际应用价值。

参考文献:

[1] 王玉博, 潘 路. 城市轨道交通隐患排查治理信息系统设计与实现 [J]. 都市轨道交通, 2018, 31 (6): 56-65.

[2] 黄 宇, 陈 宇, 刘仰丽. TD-LTE 承载 CBTC 车地无线通信在武汉地铁的应用 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (S1): 48-52.

[3] 高 翔. 5G 移动通信技术在城市轨道交通车地无线通信系统中的应用 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (z2): 61-64.

[4] 马洋洋, 王 璇, 邝香琦, 等. 基于贝叶斯攻击图的 CBTC 系统安全风险评估 [J]. 铁道标准设计, 2019, 63 (8): 155-161.

[5] 邹劲柏, 张科博, 洪 翔, 等. 5G 在城市轨道交通中的应用前景分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22 (7): 75-78.

[6] 王发平, 缪立新, 杨 朋. 新型车地无线通信 eLTE-U 的综合承载研究及测试 [J]. 兰州交通大学学报, 2019, 38 (2): 43-50.

[7] 肖宾杰. 基于 TD-LTE 的现代有轨电车专用无线通信系统设计方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (11): 39-43.

[8] 赵朝娜, 郑国莘, 徐 靖, 等. 基于裂缝波导的车地无线通信系统性能指标测试分析 [J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22 (1): 50-55.

[9] 李 强, 田 雨, 张旻海, 等. 构建基于 5G 通讯技术的大型社会活动医疗急救保障系统 [J]. 中华急诊医学杂志, 2019, 28 (10): 1231-1236.

[10] 宁 滨, 莫志松, 李开成. 高速铁路信号系统智能技术应用及发展 [J]. 铁道学报, 2019, 41 (3): 1-9.

[11] 吕希奎, 王奇胜, 孙培培. 基于三维地理信息系统与建筑信息模型融合的城市轨道交通线路设计方法 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (12): 112-115.

[12] 刘懂懂. 城市轨道交通长期演进 (LTE) 综合承载系统的可靠性设计 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (9): 44-47.

[13] 张雁鹏, 党建武, 林俊亭. 基于 IEEE802. 11ac 标准的城市轨道交通 CBTC 系统切换算法 [J]. 兰州交通大学学报, 2018, 37 (1): 63-70.

[14] 谢媛媛, 蒙 恬, 赵志刚. 城市轨道交通工程测量数据处理系统优化设计及应用 [J]. 微型电脑应用, 2019, 35 (4): 120-122.

[15] 冯浩楠, 范 楷, 段宏伟, 等. 城市轨道交通信号系统互联互通协议框架研究 [J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21 (11): 63-68.