

# 列车出入库自动识别系统设计

孙晓东<sup>1</sup>, 韦建荣<sup>2</sup>, 邹璞<sup>2</sup>, 张鹏跃<sup>2</sup>

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266111;

2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

**摘要:** 为了实现列车出入库信息的自动记录, 设计了一套基于物联网技术的列车出入库自动识别系统, 包括智能传感器节点、网关、服务器及客户端; 智能传感器节点自带大容量电池, 采用超声波传感器识别列车出入库, 使用 RFID 技术获取列车信息, 通过 LoRa 通信的方式将数据经 LoRa 网关发送到 LoRa 通信服务器, LoRa 通信服务器再将数据转发至数据库服务器; 智能传感器节点与 LoRa 网关之间采用 LoRaWAN 协议, LoRa 网关与 LoRa 通信服务器之间采用 MQTT 协议, LoRa 通信服务器与数据库服务器之间使用 Webservice 方式传递消息; 客户端通过 B/S 方式访问列车出入库的历史信息和实时信息; 实际应用效果表明, 系统具有功耗低、自动识别、运行稳定等特点。

**关键词:** 自动识别; RFID; LoRa; Webservice; 数据库

## Design of a Train's Incoming and Outcoming Automatic Identification System

Sun Xiaodong<sup>1</sup>, Wei Jianrong<sup>2</sup>, Zou Pu<sup>2</sup>, Zhang Pengyue<sup>3</sup>

(1. CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266111, China;

2. Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co. Ltd., Beijing 100041, China)

**Abstract:** Based on Internet of things (IoT) technology, a train's automatic identification system was designed for recording the information of train's incoming and outcoming action. The system includes intelligent sensor node, gateway, server and client. Equipped with high-capacity battery, the intelligent sensor node identified train's incoming and outcoming action by ultrasonic sensor, and got train's information by Radio Frequency Identification (RFID) technology, then transported the information to Long Range Radio (LoRa) server through LoRa gateway. Finally, database server received the information from LoRa server. LoRa Wide Area Network (LoRaWAN) protocol was used between intelligent sensor node and LoRa gateway, and Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) protocol was used between LoRa gateway and LoRa server, and Webservice technology was used between LoRa server and database server. Client can get history information and realtime information by Browser/Server (B/S) mode. The result shows that the system has advantages of low-power, automatic identification and high-stability.

**Keywords:** automatic identification; RFID; LoRa; Webservice; database

## 0 引言

动车组列车地面功能调试是动车组生产最关键的步骤之一, 为了实现数字化调试, 中车四方厂配置了十多个调试车库, 每个车库有 3 个调试台位, 总共 60 多个调试台位。以往列车出入库采用人工记录, 效率低下、管理不便, 很难满足列车数字化调试的需求。为提高调试管理效率, 保证列车出入库信息记录的可靠性, 有必要对列车出入库进行自动识别, 自动记录车库和调试台位编号、车辆编号、入库/出库、进出库时间等信息。

RFID 无线射频识别是一种非接触式的自动识别技术, 它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据, 识别工作无须人工干预, 可以工作于各种恶劣环境。目前, RFID 技术在智能仓储、智能交通等领域的应用已经非常

成熟<sup>[1]</sup>。

RFID 阅读器一般采用外部供电, 通过 LAN 口与主控计算机通信, 由软件控制进行不间断识别, 从而捕获和存储 RFID 标签的信息。这种识别方式简单, 但设备整体功耗较大。而列车数字化调试线的现场调试工装一般不具备外部供电和有线入网的条件, 需要具备长时间自供电及无线通讯的能力。因此, 需要设计一种低功耗的触发机制, 仅当列车靠近识别装置时才触发 RFID 标签的识别功能。此外, 还需要选择一种合适的无线通信方式, 既要保证通信的可靠性, 又要尽量降低通信的功耗。

本文针对动车组调试过程中车辆出入库信息自动记录的需求, 提出了一种基于 RFID 识别技术和 LoRa 无线通信技术的设计方法, 避免了现场操作人员手工记录、手工录入系统的繁琐过程, 提高了列车出入库信息记录的实时性和可靠性。

## 1 系统结构及原理

列车出入库自动识别系统基于物联网技术, 采用 LoRa

收稿日期:2019-01-02; 修回日期:2019-05-07。

作者简介:孙晓东(1992-), 男, 山东诸城人, 助理工程师, 主要从事动车组电气调试方面的研究。

低功耗无线通信技术实现调试线现场分布式信息的获取, 基于现有的数字化调试线平台实现私有云服务。系统主要由 RFID 电子标签、RFID 阅读器 (LoRa 节点)、LoRa 网关、LoRa 通信服务器、数字化调试线数据库、客户端软件等部分组成。系统架构如图 1 所示。

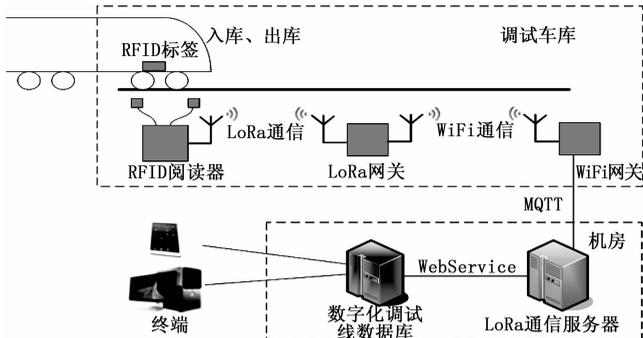


图 1 系统架构图

RFID 标签通过 RFID 打印机预先写入列车编号等相关信息, 粘贴于列车车头底部区域, 2 台 RFID 阅读器分别安装在库房调试台位两侧出入口的轨道旁。每个车库具有 3 个调试台位, 总共部署 6 台 RFID 阅读器。当列车出入库时, 会被 RFID 阅读器中的两个超声波传感器检测到, 从而触发 RFID 检测单元读取标签信息。RFID 阅读器将识别到的列车出入库信息通过 LoRaWAN 协议发送给 LoRa 网关, 再由 LoRa 网关发送给调试现场的 WiFi 网关。随后, 列车出入库信息通过 MQTT 协议发送给位于机房的 LoRa 通信服务器, LoRa 通信服务器解析数据, 并封装成符合信息化调试线标准格式的消息, 以 WebService 方式发送给调试线数据库。客户端通过 B/S 方式访问调试线数据库, 实现列车出入库状态的实时监测或者历史信息的查阅。

RFID 阅读器采用大容量电池供电, 两个低功耗超声波传感器处于连续工作模式, RFID 检测单元和 LoRa 通信单元仅在初始化配置和列车经过时才工作, 平时处于睡眠模式, 从而保证了 RFID 阅读器能够长时间自供电工作。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 RFID 电子标签

根据工作频率的不同, RFID 标签可以分为低频 (LF)、高频 (HF)、超高频 (UHF) 和微波等不同种类。RFID 标签的工作频率不仅决定着射频识别系统工作原理 (电感耦合还是电磁耦合)、识别距离, 还决定着 RFID 标签及 RFID 读写器实现的难易程度和成本。

数字化调试车间具有多个调试台位, RFID 阅读器的识别距离需要适中 (约 4 m), 距离太近则识别不到 RFID 标签信息, 距离太远则容易识别到其它台位的列车信息, 因此, RFID 标签需要工作在超高频段。另外, 考虑到列车表面为金属材料, 需要选用无源、抗金属标签。系统选用 Confidex 公司的 Silverline 系列柔性可打印抗金属电子标签, 通过 RFID 打印机将列车信息写入标签的 EPC 存储区, 并

在标签表面打印相应的可视信息。

### 2.2 RFID 阅读器

RFID 阅读器负责读取 RFID 标签的信息, 并通过 LoRa 无线通信的方式将数据上传至云端数据库。RFID 检测装置的功能框图如图 2 所示。

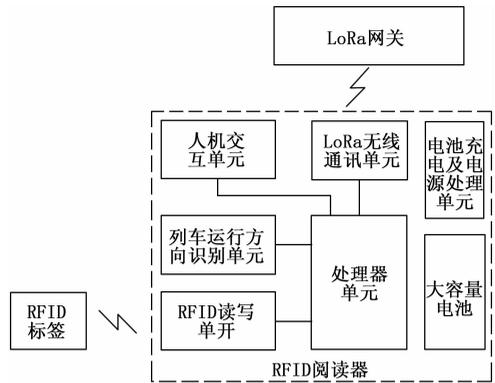


图 2 RFID 检测装置功能框图

RFID 阅读器采用自供电的方式工作, 由 6 只松下 NCR18650BD 组成的锂离子电池组 (2 并 3 串), 提供 11.1 V、6400 mAh, 总计 71.04 Wh 的电能; 提供以 TI 公司 BQ24610 芯片为核心的快充电路<sup>[2]</sup>, 充电电流可达 3 A, 充电状态具有 LED 显示。

由于 RFID 读信息和 LoRa 无线通信时功耗较大, 为了减小功耗、提高设备待机时间, 需要采用一种低功耗的触发方式, 触发信号捕获电路需要持续工作, 当列车运行且 RFID 标签靠近时才触发读取 RFID 标签的信息, 并启动一次 LoRa 无线通信。

列车运行方向识别单元实现触发信号捕获功能, 以两个超声波传感器为核心, 面向调试台位的轨道, 并呈 90° 夹角安装。设计选用 ROBOT 公司高性能超声波传感器 SRF02, 其在 6 m 的测距范围内精度可达 1 cm, 而功耗不超过 20 mW。处理器通过两个 UART 串口分别连续读取两个超声波传感器的测量结果<sup>[3]</sup>, 并通过算法实时判断列车是否进入探测区域, 以及列车运行的方向。一旦检测到列车车头经过, RFID 读写单元即被唤醒, 处理器通过 UART 串口读取 RFID 模块的识别结果。

RFID 读写单元负责读取列车上 RFID 标签的信息。RFID 模块及天线选用深圳智天行科技的产品: ZTX-MD810R 模块及 9 dBi 的圆极化天线。ZTX-MD810R 模块以 PHYCHIPS 公司的 PR9200 芯片为核心, 通过 UART 串口与外部处理器连接, 并提供一个睡眠模式控制管脚。ZTX-MD810R 模块读取信息时功率较大 (约 0.6 W), 一般处于睡眠模式 (功耗仅 100 uA), 一旦列车运行方向识别单元检测到列车车头经过, 即被唤醒, 处理器通过 UART 串口读取 ZTX-MD810R 模块的识别结果。

LoRa 无线通信单元以 Semtech 公司的 SX1278 芯片为核心, 其采用 LoRaTM 扩频调制技术, 具有接收灵敏度高、抗干扰能力强、通信距离远等优点。模块工作在 433 MHz

频段, 输出功率+20 dBm, 一般处于休眠模式(功耗仅 10 uA), LoRa 通信时被唤醒。

RFID 阅读器选用 ST 公司的 32 位超低功耗处理器 STM32L151, 其具有 32 MHz 主频、1.25 DMIPS、0.28 uA 待机功耗<sup>[4]</sup>。STM32 L151 处理器负责 RFID 阅读器各单元电路的管理。

### 2.3 LoRa 网关

LoRa 网关是连接 RFID 阅读器和数字化调试车间网络的桥梁。本系统无线通信频率不高, 数据量不大, 可选用 LoRaWAN 单通道网关。

LoRa 网关选用深圳摩仑科技的 GL2000 产品。GL2000 网关以 Semtech 公司的 SX1278 芯片为核心, 采用 LoRaWAN 协议, 支持 CLASS A 和 CLASS C 通信方式, LoRa 数据传输速率 21.875kbps, 输出功率可达 20dBm, 可以实现与数字化调试车间 6 台 RFID 阅读器的无线通信。GL2000 网关上行具有 WiFi 接口, 负责接入调试车间的网络, 通过 UDP 和 MQTT 协议与 LoRa 服务器通信。

## 3 系统软件设计

### 3.1 RFID 信息存储格式

目前, 超高频 RFID 使用最为广泛的是 EPC Class-1 Gen-2 标准, 该标准由 EPCglobal 组织于 2004 年 12 月 16 日制定, 具有标签阅读速度快、编码形式灵活、兼容其它 RFID 频谱、安全性强等优点。标准中将 RFID 标签信息存储区域分为 Reserved 区、EPC 区、TID 区和 User 区四个独立的存储区块, 其中 Reserved 区存储灭活口令和访问口令; EPC 区存储 EPC 号码; TID 区存储唯一的标签识别号码; User 区存储用户定义的数据<sup>[5]</sup>。

本系统采用 EPC GID-96 编码方案, 充分考虑车辆调试过程中列车分类的特点。EPC GID-96 通用标识符由标头和 EPC 域名管理者、对象分类、序列号 3 个字段构成。其中, 标头固定为 8-bit 的 0x35; 域名管理者表示一个组织实体, 分配 28-bit 空间; 对象分类表示该组织实体下的某一物品种类, 分配 24-bit 空间; 序列号表示某一具体的物理对象, 分配 36-bit 空间。

按照实际需求, 在 RFID 电子标签的 EPC 区存储企业代码、列车车型、列车编号及车辆号等特征类型数据。列车出入库 RFID 信息存储格式如表 1 所示。

表 1 RFID 信息存储格式 bit

字段	位数	信息
标头	8	00110101(二进制)
域名管理者	28	企业代码
对象分类	24	列车车型
序列号	36	列车编号及车辆号

### 3.2 RFID 阅读器软件

RFID 阅读器软件通过 STM32 处理器实现, 功能包括: 通过 SPI 接口与 LoRa 接口通信, 通过串口与超声波传感器、RFID 模块通信, 通过 IIC 接口控制 OLED 显示, 通过

模拟输入接口检测电池电量, 通过 IO 口进行状态监测与控制, 通过 RTC 时钟进行时间管理等。

RFID 阅读器的软件流程图如图 3 所示。

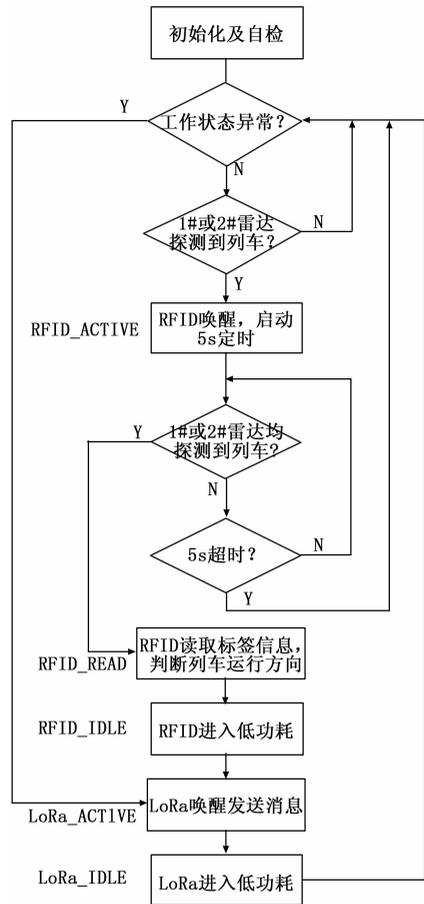


图 3 RFID 阅读器软件流程图

初始化过程包括: LoRa 通信模块初始化并处于休眠模式、超声波传感器初始化并处于连续工作模式、RFID 模块初始化并处于睡眠模式、电池电量检测和 OLED 显示初始化, 以及 IO 初始化。若初始化过程异常, 则启动 LoRa 工作, 将异常信息上报给服务器。

初始化并自检正常后, 启动超声波传感器工作, 探测是否有列车经过。当列车接近 RFID 阅读器时, 其中一个超声波传感器先探测到列车, 而另一个超声波传感器未探测到列车, 此时 RFID 模块从低功耗模式被唤醒; 当两个超声波传感器同时探测到列车, 则说明车头已经进入 RFID 阅读器的识别范围, RFID 模块读取电子标签信息, 同时根据超声波传感器的探测顺序判定该过程为列车入库或出库。

列车 RFID 标签信息被读取后, RFID 模块重新进入低功耗模式, 并唤醒 LoRa 无线通信模块, 将列车出入库信息通过 LoRa 无线通信模块发送至 LoRa 网关。之后, LoRa 无线通信模块进入低功耗模式。

### 3.3 LoRa 消息传递流程

RFID 阅读器将数据经网关发送至服务器, 最后由终端用户访问。LoRa 消息传递流程如图 4 所示。

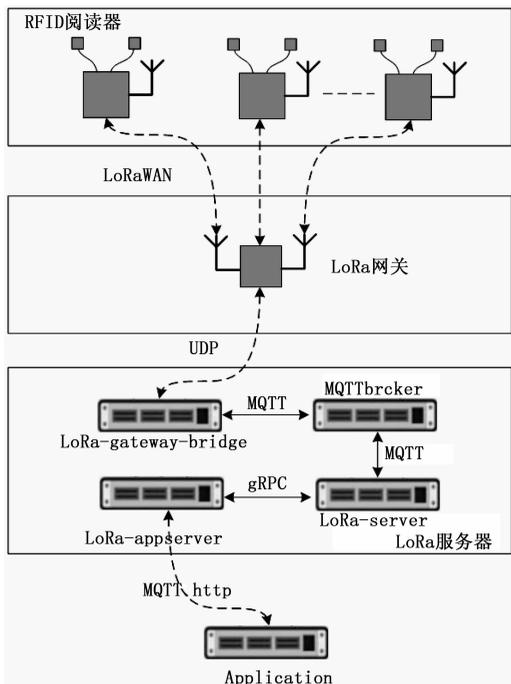


图 4 LoRa 消息传递流程图

RFID 阅读器将数据内容通过 LoRa 协议发送出去，LoRa 网关接收并解析节点发来的数据，使用 packet-forwarder 服务形成 LoRaWAN 消息数据，再通过互联网的 UDP 协议将这些数据发送至 LoRa 服务器<sup>[6]</sup>。

LoRa 服务器软件部署在 Ubuntu16.0.4 系统中，包括 LoRa-gateway-bridge、MQTT broker、LoRa-server 和 LoRa-app-server 四个服务。其中，LoRa-gateway-bridge 接收来自 LoRa 网关的 UDP 消息，然后通过 MQTT 协议方式发送给 MQTT 服务器（MQTT broker）；网络服务器（LoRa-server）负责汇总 LoRa 数据并将这些数据存储在服务器所依赖的数据库中；应用服务器（LoRa-app-server）从 LoRa-server 的数据库中读取数据，并提供 http、MQTT 之类的数据接口，方便客户端应用程序调用。上述四个服务基于 lorasever 官方提供的开源代码开发。

部署 RFID 阅读器节点时，需要将每一个节点注册到 LoRa 服务器中。将每一个 RFID 阅读器节点自身的 Device EUI 和 Application key 填入 LoRa 服务器的注册项中，LoRa-server 将依据这两个特征参数，计算出 LoRaWAN 通信过程中的密钥。

RFID 阅读器节点启动后，使用 OTAA 入网协议向 LoRa-server 传递入网请求。LoRa-server 验证阅读器节点的合法性后，将通信密钥发送给节点。此后，RFID 阅读器节点和 LoRa 服务器之间即可通过该密钥传递数据，从而保证通信的安全性。

### 3.4 Webservice 通信接口

Webservice 是一种可编程的 web 服务，通过在平台上部署基于 XML 文件格式访问的服务程序，实现跨平台、低耦合的网络数据交换。利用 XML 文件丰富的数据格式，用

户可以实现 Webservice 的稳定发布、快速发现，也可以方便的远程配置 Webservice。

Webservice 可以在任何支持网络通信的操作系统中运行，为应用程序提供数据和服务，实现应用程序之间的相互通信。

Webservice 具有以下特点：

1) 跨平台间的相互通信。两个应用程序只要能读写 XML 文件，就能通过 Webservice 实现互相通信。而不受硬件平台、操作系统、通信协议的限制。

2) 简单方便的开发、部署。用户只要获得描述 Webservice 的 WSDL 文件，就可以方便地生成客户端代理，并通过代理访问 Webservice。

3) 简洁的通信架构。Webservice 可用基于 XML 的 SOAP 来表示数据和调用请求，并通过 HTTP 协议传输 XML 格式的数据<sup>[7]</sup>。

LoRa 服务器需要与数字化调试线服务器进行信息交互，由 LoRa 服务器将车辆出入库信息发送给后者的数据库。针对现有的数字化调试线管理平台对接形式、调用方法、通信方式的管理方法，本系统建立了基于 Webservice 的数据封装与数据传输接口，实现与数字化调试线管理平台的兼容<sup>[8]</sup>。

Webservice 接口包括两类接口：车辆 RFID 信息接口和 RFID 阅读器信息接口。车辆 RFID 信息接口定义与车辆 RFID 信息相关的操作，包括车辆进出状态接口、车辆基础信息查询接口、车辆进出状态查询接口等。RFID 阅读器信息接口定义与现场检测装置信息相关的操作，包括设备电量信息存储接口、设备自检信息存储接口、设备自检信息查询接口、设备电量信息查询接口等。Webservice 接口功能如图 5 所示。

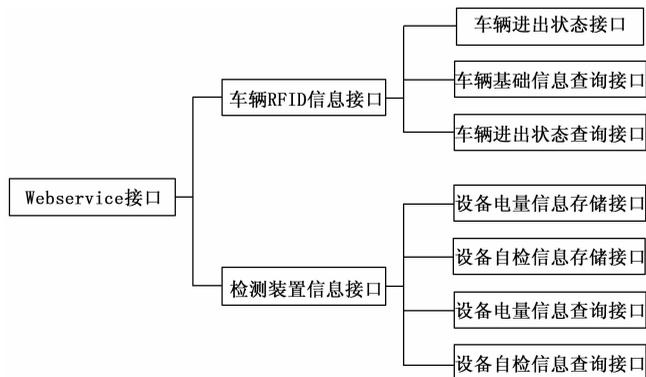


图 5 Webservice 接口功能

Webservice 接口使用 XML 文件表示信息的数据和结构，数据库服务器负责对 XML 文件进行数据解析和转化。

### 3.5 数字化调试线数据库

数字化调试线数据库负责数据的储存，为了减少大量数据的频繁写入、查询和导出等操作对系统资源的占用，本系统利用 SQLServer 数据库来储存列车出入库过程中产生的状态数据，数据的储存方式为聚簇存放<sup>[9]</sup>。它具有以

下优点:

- 1) 聚簇功能可以大大提高按聚簇码进行查询的效率;
- 2) 聚簇以后, 相同聚簇码的元组聚簇在一起, 节省了存储空间;
- 3) 聚簇功能不仅适用于单个关系, 也适用于多个关系。

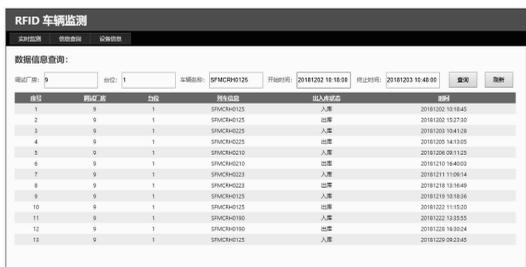
在数据库结构设计过程中, 既要分析当前系统的数据存储需求, 又要兼顾数据库已有表项结构特点, 同时还要充分考虑未来数据结构的变化, 减少数据库中的链接和迁移。在当前数据库已有的故障信息表格、状态信息表格、车辆基础信息表格和人员信息表格基础上, 新建两张数据库表格, 包括车辆 RFID 信息表格和阅读器设备信息表格, 按照各自定义的格式储存数据。

### 3.6 Web 界面

终端计算机可以通过 B/S 方式访问 web 服务器, 查询列车出入库信息, web 界面通过 C# 开发。

C# 是一种简单、安全、面向对象的程序设计语言, 它吸收了 C++、Visual Basic、Delphi、Java 等语言的优点, 继承了 C 语言的语法风格, 同时又继承了 C++ 的面向对象特性。不同的是, C# 的对象模型已经面向 Internet 进行了重新设计, 使用的是 .NET 框架的类库。其特点有: 语言简洁、保留了 C++ 的强大功能、快速应用开发功能、语言的自由性、强大的 Web 服务器控件、支持跨平台、与 XML 相融合<sup>[10]</sup>。

列车出入库信息查询界面主要包括实时监测、信息查询和设备状态监测界面。实时监测界面主要负责显示车辆出入库状态, 并按最新时间排序, 每五分钟更新一次; 信息查询界面主要用于查询指定条件下列车的出入库状态; 设备状态监测界面负责查看现场各节点设备的电量和自检状态等信息。列车出入库信息查询页面效果如图 6 所示。



序号	列车号	状态	库内位置	出入库状态	时间
1	9	1	SPMCH0125	入库	20181201 10:19:45
2	9	1	SPMCH0125	出库	20181201 10:20:00
3	9	1	SPMCH0125	入库	20181201 10:41:28
4	9	1	SPMCH0125	出库	20181201 14:13:05
5	9	1	SPMCH0125	入库	20181206 09:13:25
6	9	1	SPMCH0125	出库	20181210 16:40:03
7	9	1	SPMCH0222	入库	20181211 13:09:14
8	9	1	SPMCH0222	出库	20181215 10:18:49
9	9	1	SPMCH0125	入库	20181219 10:18:56
10	9	1	SPMCH0125	出库	20181222 11:10:20
11	9	1	SPMCH0190	入库	20181222 10:38:55
12	9	1	SPMCH0190	出库	20181228 16:30:04
13	9	1	SPMCH0125	入库	20181229 09:23:45

图 6 列车出入库信息查询页面

## 4 实验结果与分析

RFID 阅读器实物如图 7 所示, 低功耗模式下, 整体功耗小于 50 mW; RFID 阅读时, 功耗约 0.6 W; LoRa 通讯时, 功耗约 0.1 W。大容量电池可满足 1 个月的连续工作时间。

现场测试验证表明: 超声波传感器有效探测距离大于 5 m, RFID 模块可以准确识别到 3 m 以内的 RFID 标签, LoRa 通信距离可达到 400 m (调试车间最大长度), 车辆出入库信息的记录与显示正常, 数据更新与车辆出入库保持



图 7 RFID 阅读器实物图

同步。

## 5 结束语

本文根据车辆调试车间列车出入库的特点, 采用低功耗的 LoRa 无线通信传输方式, 自动将车辆出入库信息采集并及时、准确地发送至数字化调试线的数据库, 有效的降低了现场调试人员的工作强度。平台采用符合 LoRa 传输标准的 LoRaWAN 协议, 以及符合物联网通信的 MQTT 协议设计, 具有良好的通用性和可移植性, 为今后车辆调试过程中其它功能的 LoRa 传感器数据无线接入数字化调试线服务器提供了支持。

### 参考文献:

- [1] 李 铮, 孔祥瑞, 王建伟. 基于无线射频识别技术的列车车组号自动识别系统 [J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17 (04): 82-84.
- [2] 刘晓梅, 刘丹丹, 魏立峰, 等. 基于 BQ24610 的智能锂电池充电系统设计 [J]. 电子世界, 2013 (22): 121-122.
- [3] 蔡光昭, 洪远泉, 周永明. 基于 STM32 的超声波测速测距系统设计 [J]. 现代电子技术, 2014, 37 (24): 87-89.
- [4] 龚天平. LoRa 技术实现远距离、低功耗无线数据传输 [J]. 电子世界, 2016 (10): 115+117.
- [5] Li Chonghua, He Qin. Design for the logistics storage management system based on RFID [C]. Hong Kong; International Conference on Ant counterfeiting, Security, and Identification in Communication, 2009.
- [6] 程淑伟, 刘广伟, 柯佩佩, 等. 基于树莓派的远距离 LoRaWAN 网关系统设计与实现 [J]. 电子世界, 2018 (10): 114-116.
- [7] (美) 弗兰那根. JavaScript 权威指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [8] 常 杰. 复杂系统的数据分析技术在动车组数字化调试线中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (11): 3759-3761.
- [9] 孙晓东. 列车状态远程实时监控系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (07): 302-305.
- [10] Benjamin Perkins, Jacob Vibe Hammer, Jon D. Reid 著. C# 入门经典 (第 6 版) [M]. 齐立波, 黄俊伟译. 北京: 清华大学出版社, 2014.