

文章编号: 2095-2163(2022)07-0195-07

中图分类号: U285.6+

文献标志码: A

# 基于 STM32 车载查询器故障诊断系统设计

段智博<sup>1</sup>, 肖曼琳<sup>1</sup>, 金捷<sup>2</sup>

(1 上海工程技术大学 城市轨道交通学院, 上海 201620; 2 上海申通地铁集团有限公司 技术中心, 上海 201620)

**摘要:**城市轨道交通中,应答器传输系统在列车运行过程中常因为设备故障,出现信标丢失的现象,导致无法对列车进行定位而引起列车制动,对线路运行造成极大的影响。本文利用 STM32 单片机设计了一种车载查询器故障诊断系统,通过采集查询器各端口数据进行分析,即可对查询器进行故障诊断。使用该系统可快速发现故障并及时处理,保证行车安全。系统设计完成后在地铁正线进行实测,验证了故障诊断系统的可靠性,证明该系统有良好的应用价值与实际意义。

**关键词:** 查询器; 信标; STM32; 故障诊断

## Design of fault diagnosis system for on-board transponder interrogator based on STM32

DUAN Zhibo<sup>1</sup>, XIAO Manlin<sup>1</sup>, JIN Jie<sup>2</sup>

(1 School of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2 Technology Center of Shanghai Shentong Metro Group Co. LTD, Shanghai 201620, China)

**[Abstract]** In urban rail transit, the balise transmission system often loses the beacon due to equipment failure during the train operation, resulting in the inability to locate the train and causing the train to brake, which has a great impact on the line operation. In this paper, a fault diagnosis system of the inquirer is designed with STM32 single-chip microcomputer. The fault diagnosis of the interrogator can be carried out by collecting the data of each port of the interrogator and analyzing it. This system can quickly find faults and deal with them in time to ensure driving safety. The actual measurement is carried out on the main line of the subway, which verifies the reliability of the fault diagnosis system and proves that the system has good application value and practical significance.

**[Key words]** transponder interrogator; beacon; STM32; fault diagnosis

## 0 引言

城市轨道交通中,应答器传输系统是重要的列车定位系统,系统由车载定位天线、查询器、地面信标组成。查询器为系统的核心设备,其主要完成地面信标位置的获取、信标报文数据的接收与解析以及双向数据传输等功能。在实际运营过程中,由于列车振动、线路老化等原因造成设备故障,无法对列车定位,影响列车运行。目前针对车载设备的检测方法及设备较少,检修只能在试车线或车库内进行,故障处理方式是整体更换故障设备,其维修成本较高、工作效率低下,且十分依赖设备供应商<sup>[1]</sup>。

本文利用 STM32 单片机开发车载查询器故障诊断系统,该系统通过实时采集列车运行时查询器各端口数据,使用上位机故障诊断软件,即可对查询器进行故障诊断。利用该系统可以有效诊断查询器故障情况,便于维护人员快速检修与维护,降低了检

修成本,提升了工作效率。

## 1 查询器离线检测

### 1.1 查询器工作原理

应答器传输系统采用 RFID 技术,是经典的点式传输系统。该系统的工作原理为车载天线持续发送 902 MHz~928 MHz 的高频激励信号,在列车经过地面信标上方时,根据电磁感应原理,高频激励信号使信标获得能量,根据电磁感应产生的感应电压,驱动信标内部调制电路对信标携带的线路信息信号进行调制;随后发射电路将调制信号发送出去,车载天线接收后传送给查询器。查询器对接收到的信号进行放大、滤波、解调、解码后,实时传送给列控中心,实现列车定位等功能。因此,查询器是应答器传输系统的核心设备<sup>[2-4]</sup>。应答器传输系统的工作原理如图 1 所示。

**作者简介:** 段智博(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向:城市轨道交通车载美式查询器故障检测;肖曼琳(1981-),女,博士,讲师,主要研究方向:阵列信号处理、雷达信号处理、轨道交通检测技术等。

**通讯作者:** 肖曼琳 Email: manlinxiao@sues.edu.cn

收稿日期: 2021-10-27

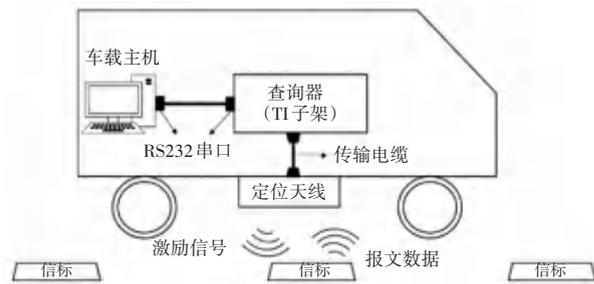


图1 应答器传输系统工作原理

Fig. 1 Working principle of balise transmission system

## 1.2 查询器端口功能简介

应答器传输系统的车载部分由车载定位天线和查询器组成,两者通过电缆相连接。在不破坏和拆解查询器的前提下,可在实验室中利用可编程电源、示波器、频谱仪等设备搭建测试环境,对查询器进行黑盒测试,确定查询器各端口功能,见表1,查询器的前面板示意图如图2所示。

利用实验室搭建的查询器检测环境,对查询器端口数据进行多次采集,统计分析端口数据后,得出端口数据与查询器工作状态的对应关系,根据端口异常数据判断查询器出现的故障情况见表2。

表1 查询器端口功能表

Tab. 1 Function table of transponder interrogator port

查询器端口	功能
电源指示部分	指示查询器供电是否充足
I/O 电压口	1号引脚指示信标读取状态 2号引脚指示电源供电状态 3号引脚射频接口开关状态
RS232 串口	输出 TI 子架解析的信标报文
射频天线接口	驱动定位天线工作

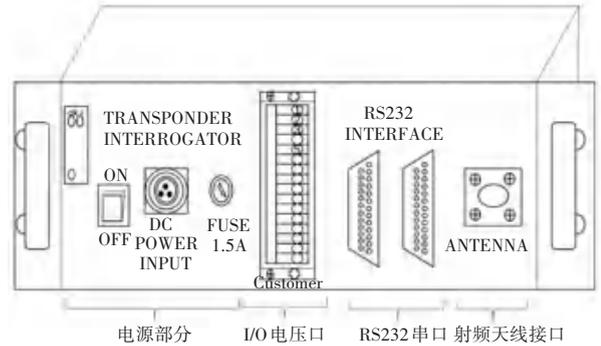


图2 查询器前面板

Fig. 2 Front panel of transponder interrogator

表2 查询器异常状态汇总

Tab. 2 Summary of transponder interrogator abnormal status

查询器状态	I/O 电压口			RS232 串口	故障原因
	一号引脚	二号引脚	三号引脚		
正常情况	扫过信标时电压由 0 V 跳变为 3.6 V 并持续 22~40 ms	持续稳定为 3.6 V	持续稳定为 5.8 V	输出十五位十六进制报文	无
异常情况(1)	高电平持续时间少于 16 ms	持续稳定为 3.6 V	持续稳定为 5.8 V	报文不完整或无报文	外界干扰
异常情况(2)	高电平持续 20 ms 以上	持续稳定为 3.6 V	持续稳定为 5.8 v	无报文	查询器内部解析模块故障
异常情况(3)	无高电平	持续稳定为 3.6 V	持续稳定为 5.8 V	无报文	定位天线或传输电缆故障
异常情况(4)	无高电平	0 V	持续稳定为 5.8 V	无报文	电源供电不足
异常情况(5)	无高电平	持续稳定为 3.6 V	0 V	无报文	射频天线开关未打开

## 2 系统设计与实现

根据查询器端口数据与工作状态的对应关系,本文设计开发了查询器故障诊断系统。故障诊断系

统由硬件采集设备与故障诊断软件组成。其中,硬件采集设备实现查询器端口数据的实时采集、传输与存储;软件部分则利用 MATLAB Appdesigner 工具,设计开发故障诊断软件。该软件可在上位机对

采集到的数据进行分析处理、波形绘制、快速判断并显示查询器故障情况。故障诊断系统的整体架构如

图 3 所示。

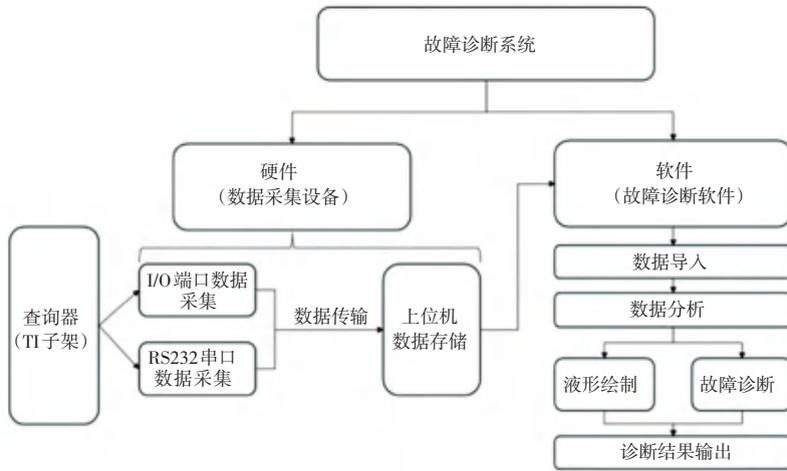


图 3 故障诊断系统整体框架

Fig. 3 Overall framework of fault diagnosis system

由图 3 可见,故障诊断系统的主要功能如下:

- (1) 实时采集查询器 I/O 端口 1、2、3 号电压数据以及 RS232 串口数据报文并传输至上位机存储;
- (2) 上位机故障诊断软件对采集到的数据进行分析处理:
  - ① 判断有无信标丢失及解析异常信标;
  - ② 判断电源供电是否充足、射频天线工作状态是否良好;
  - ③ 根据采集到的数据判断风险信标位置。

### 2.1 硬件设计

故障诊断系统采用 STM32F103ZET6 单片机芯片作为硬件电路的主控芯片,该芯片是双 RC 晶振,可提供 8 M 和 32 K 的稳定时钟频率。电路调试方式可使用 JTAG、SWD,利用 J-LINK 下载器下载控制程序,实现高速低成本的开发方案。

单片机主控电路负责查询器各端口数据的采集以及传输,考虑到查询器各端口数据类型不一致,因此在采集 I/O 电压口模拟量数据时,选择 AD7606 模数转换芯片进行数据采集,串口数据的采集选用 MAX3232 电平转换芯片。为保证数据高速传输且减少数据丢失,选用 W5100 单片网络接口芯片通过以太网进行数据传输<sup>[5-6]</sup>。

#### 2.1.1 电源稳压电路设计

故障诊断系统的电源电路是为了驱动 STM32 单片机芯片、AD7606 模数转换芯片、W5100 单片网络接口芯片以及 MAX3232 电平转换芯片等部件,这些芯片所需供电电压均为 3.3 V。设计通过 LM1117 稳压器,将 5 V 的输入电压转换为芯片所需的供电电压,以保证电路供电稳定。电源稳压电路如图 4 所示<sup>[7-8]</sup>。

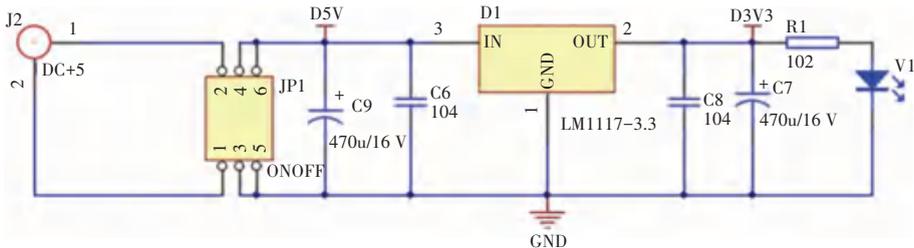


图 4 电源稳压电路

Fig. 4 Power supply voltage stabilizing circuit

#### 2.1.2 I/O 电压口数据采集电路设计

AD7606 芯片可支持 8 路数据同步采样,可以满足本系统数据采集的需求。数据采集电路如图 5 所示。该电路将查询器 I/O 电压口 3 个引脚的模拟电

压数据通过 AD7606 芯片进行模数转换,将一号引脚与 P2-1 引脚相连,二号引脚与 P2-2 引脚相连,三号引脚与 P2-4 相连。该芯片进行模数转换时,芯片采样率设定为 1 000 Hz,占空比为 50%<sup>[7-8]</sup>。

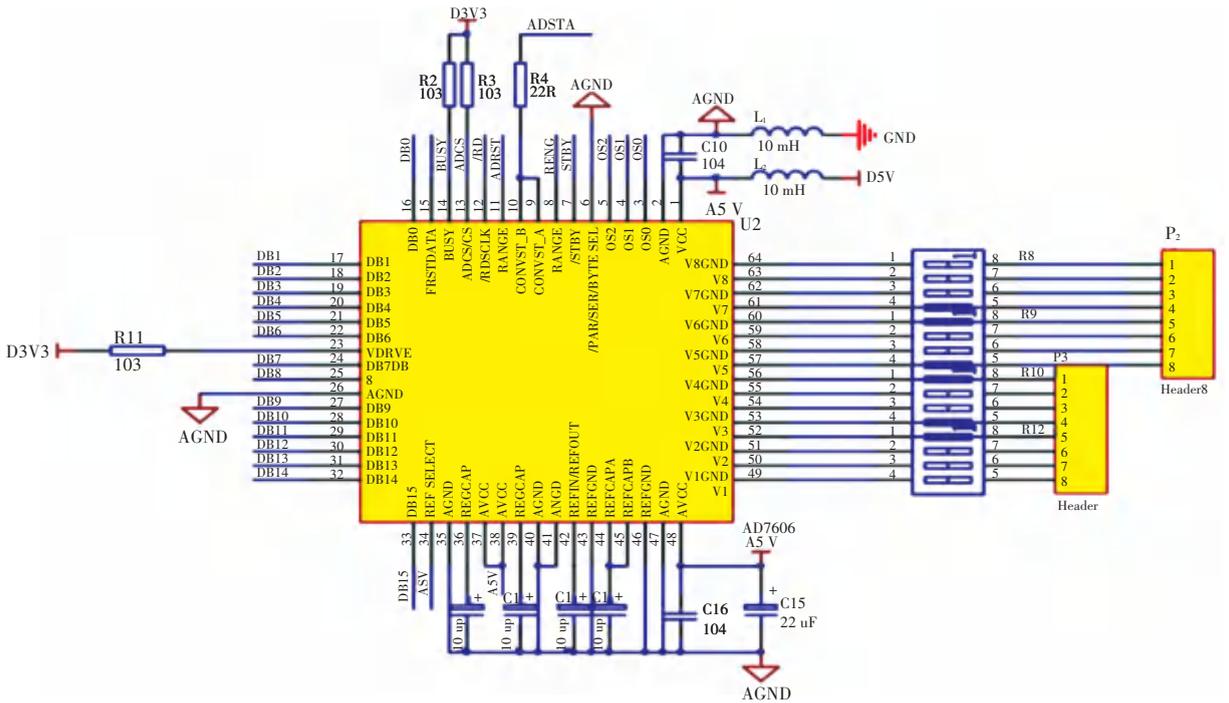


图 5 数据采集电路

Fig. 5 Data acquisition circuit

2.1.3 串口数据传输电路设计

口数据,该电路使用 MAX3232 电平转换芯片采集串口电平信号,电路设计如图 6 所示<sup>[7-8]</sup>。

串口数据传输电路负责采集查询器 RS232 串

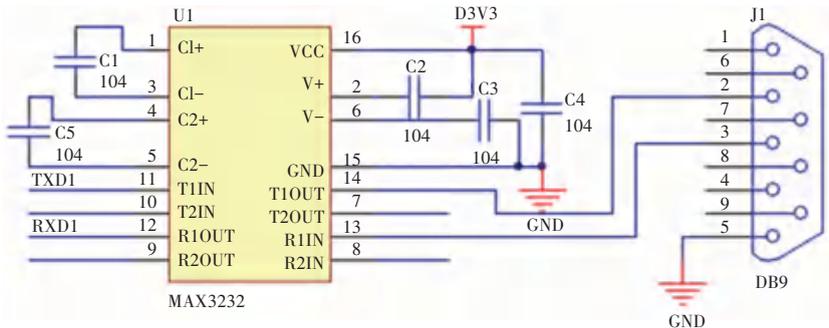


图 6 串口数据电路

Fig. 6 Serial port data circuit

2.1.4 数据传输电路设计

2.2 软件开发

数据传输电路将采集到的数据通过 W5100 网络接口芯片送入上位机网口,电路设计如图 7 所示。为提升传输速率、减少数据丢失,数据传输选用以太网数据传输方式,传输协议为 UDP 协议<sup>[9-10]</sup>。

MATLAB 是一款集成数学计算、数据分析、算法应用、程序开发等功能的科学计算平台,在科研领域有着广泛的应用。由于其语言简单直观、界面友善、数值计算功能强大等特点,在数据处理领域有着举足轻重的地位。鉴于 MATLAB 强大的数据处理与分析能力,本文选用 MATLAB 作为上位机数据分析处理的工具。选用 MATLAB 的好处不仅可以快速高效的处理数据,同时使用其自带的 MATLAB Appdesigner 工具可进行上位机软件界面的设计及功能的实现。

2.1.5 主控制程序

主控制程序是控制硬件电路工作的核心。电源接通后,初始化系统数据并驱动单片机芯片,控制模数转换芯片、串口电平转换芯片和网络接口芯片进行数据采集与传输。主控程序利用 C 语言编写,软件平台为 keil5,可实现对程序进行编写、编译以及烧录等功能。主控制程序部分代码如图 8 所示。

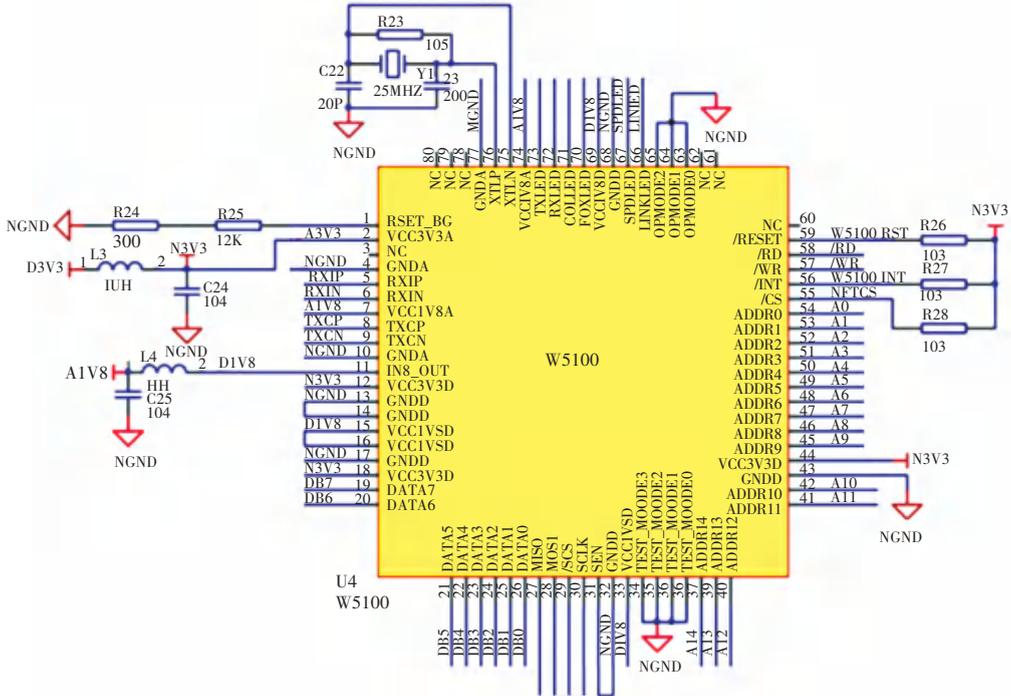


图 7 数据传输电路

Fig. 7 Data transmission circuit

```

#define SOCKET_0 0x00
#define SOCKET_1 0x01
#define SOCKET_2 0x02
#define SOCKET_3 0x03

typedef struct {
    unsigned char CLIENT_PORT[4]; //客户端端口号
    unsigned char HOST_IP[4]; //服务器IP地址
    unsigned char HOST_DCHAR[4]; //服务器物理地址
    unsigned char HOST_PORT[4]; //服务器端口号

    unsigned char W5100_GATEWAY[4]; //网关
    unsigned char W5100_SUBMASK[4]; //子网掩码
    unsigned char W5100_DHAB[4]; //物理地址
    unsigned char W5100_IP[4]; //IP地址
    unsigned char W5100_PORT[2]; //端口号
    unsigned char W5100_VTRT[2]; //重发时间
    unsigned char W5100_VRCR; //重发次数
}W5100PARA;

extern W5100PARA W5100Dip;
extern STRVARIABLE VariaDip;

extern void DelayUS(unsigned long time);
extern void DelayMS(unsigned long time);
extern void Fortinit(void);

```

图 8 主控制程序代码

Fig. 8 Main control program code

故障诊断软件的主要功能是对采集到的查询器端口数据进行分析与处理,依据查询器端口数据与工作状态的对应关系来判断查询器是否故障。故障诊断软件的设计流程如图 9 所示,具体功能如下:

- (1) 上位机存储数据的导入与处理。
  - ① 判断是否有信标丢失或解析异常的信标;
  - ② 判断实际运行过程中查询器供电及射频端口是否异常。

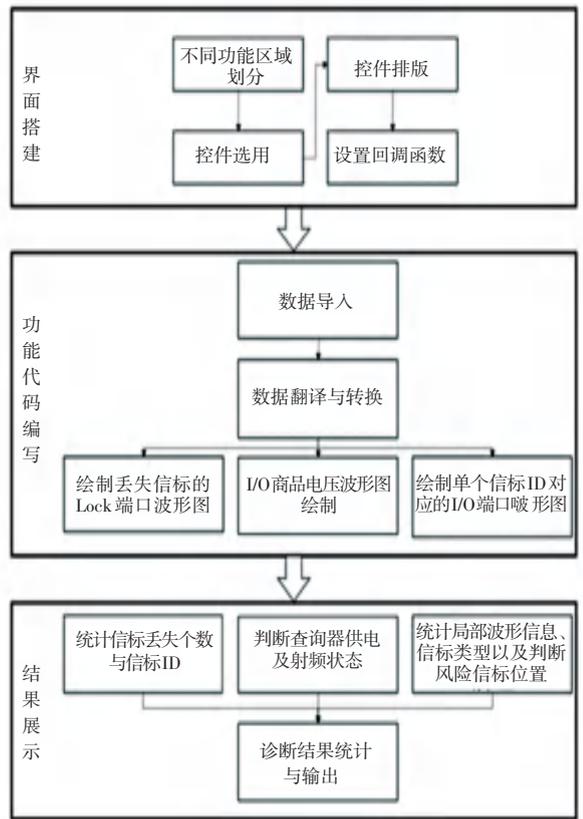


图 9 故障诊断软件

Fig. 9 Fault diagnosis software

(2) 根据输入的信标 ID, 绘制列车经过该信标

时查询器 I/O 端口波形图。

(3) 统计正常与异常解析的信标数, 以及丢失的信标以及存在丢失风险的信标各自所占的比例以及信标 ID。

故障诊断软件界面分为主程序、查询器状态检测、局部波形绘制、诊断结果 4 个模块。模块功能的实现通过在控件的回调函数中编写功能代码, 回调函数是实现人机交互的桥梁。

在主程序模块中, 利用 MATLAB 中的 `uigetfile` 函数实现上位机数据导入功能, 编写功能代码实现数据处理与分析、统计信标丢失等功能。查询器状态检测模块, 根据主程序分析处理的数据来判断查询器电源供电是否充足、射频端口工作是否异常。在局部波形绘制模块中, 根据输入的信标 ID 绘制列车经过该信标时查询器 I/O 端口电压波形并统计波形参数信息。诊断结果模块中, 自动统计所有信标处的波形参数信息, 并对信标进行分类。统计完成后显示采集到的信标总数、丢失信标个数以及风险信标个数以及信标 ID, 并绘制各类信标所占的百分比。部分功能代码如图 10 所示。

```

[filename,pathname]=uigetfile('*.visc');
if ~isequal(filename,0)
    app.actualid.Value=fullfile(pathname,filename);
    StrArrayNew={'msg:实际信标ID文件路径显示成功'};
    logRefresh_func(app,StrArrayNew);
else
    StrArrayNew={'error:文件路径显示失败!'};
    logRefresh_func(app,StrArrayNew);
    return
end
end

% Button pushed function: Button_2
function Button_2Pushed(app, event)
[filename,pathname]=uigetfile('*.csv');
if ~isequal(filename,0)
    app.obtainid.Value=fullfile(pathname,filename);
    StrArrayNew={'msg:采集数据文件路径显示成功'};
    logRefresh_func(app,StrArrayNew);
else
    StrArrayNew={'error:文件路径显示失败!'};
    logRefresh_func(app,StrArrayNew);
    return
end
end

% Button pushed function: Button_6
function Button_6Pushed(app, event)
data=xlsread(app.obtainid.Value);
tagid=xlsread(app.actualid.Value);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%电压14轴%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
data1=data;
for i=1:size(data,1)
    if isnan(data(i,17:22))
        data1(i,13:14)=data(i-1,13:14);
        data1(i,15:16)=data(i-1,15:16);
        data1(i,19:20)=data(i-1,19:20);
    end
end

```

图 10 软件功能代码

Fig. 10 Software function code

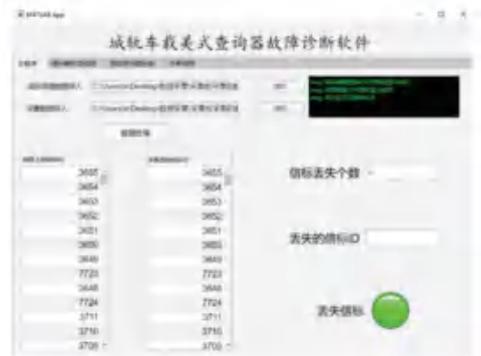
### 3 系统功能验证

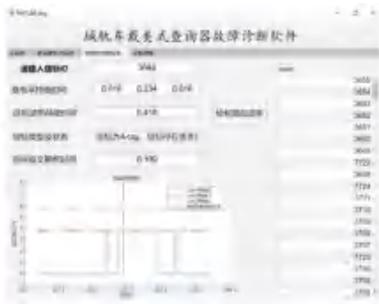
为验证查询器故障诊断系统的实用性及可靠性, 本次实验实时采集上海地铁 9 号线列车运行时查询器各端口数据, 并存储到上位机, 并将上位机存

储的数据利用故障诊断软件进行分析。

在列车运行时, 利用故障诊断系统采集查询器各端口数据, 并导入到上位机的故障诊断软件中, 点击“数据处理”按钮执行主程序。实际线路上共有 213 个信标, 数据采集到 213 个, 信标丢失个数为 0, 说明列车运行时无信标丢失, 主程序运行结果如图 11(a) 所示。点击“绘制 I/O 端口波形”按钮执行查询器检测功能, 查询器状态检测结果如图 11(b) 所示。根据波形图显示, I/O 端口的 2、3 号端口电压稳定, 且供电指示灯与射频端口指示灯均显示为绿色, 说明查询器供电以及射频端口在列车运行时工作正常。

输入信标 ID, 点击“绘制局部波形”按钮显示列车经过该信标时查询器 I/O 端口的电压波形并统计波形信息, 局部波形绘制结果如图 12(a) 所示, 诊断结果界面如图 12(b) 所示。诊断结果中显示共采集到 213 个信标数据, 其中 166 个信标正常解析, 47 个信标存在丢失风险。将故障诊断系统的诊断结果与列控中心结果进行对比, 诊断结果与列控中心保持一致, 验证了故障诊断系统的实用性与可靠性。





(a) 局部波形绘制结果



(b) 诊断结果

图 12 故障诊断结果

Fig. 12 Fault diagnosis results

## 4 结束语

目前国内针对车载应答查询器的故障检修仍是整体更换车载设备,无法找出故障的具体位置进行针对性的检修,检修成本较高且效率低下。本次设

计的查询器故障诊断系统可对实际线路上采集到的数据进行分析并进行故障诊断,及时发现故障及时处理,在保障列车运行安全的同时,提升故障检测维修效率,降低维修成本,有良好的应用价值与实际意义。后续仍需多次进行上线测试,不断完善故障检测系统功能。

## 参考文献

[1] 乔志远. 美式应答器的在线动态监测诊断系统设计与研究[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(S2): 104-106, 110.

[2] 占礼辉, 黄璞, 刘小磊. 冰雪天气对 RFID 美标的影响及防范探究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2019, 16(9): 74-77.

[3] 陈献彬. 基于 FPGA 的便携式应答器检测设备的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.

[4] 王潇濛. BTM 测试工装软件硬件设计[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.

[5] 冉亮. 便携式应答器检测工具的研究与设计[D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.

[6] 李思南, 李泽滔. 基于 STM32 的智能车位检测系统设计[J]. 智能计算机与应用, 2020, 10(9): 132-134, 140.

[7] 张启龙, 陈湘潭. 基于 STM32 的智能互联台灯设计[J]. 智能计算机与应用, 2019, 9(3): 151-155, 158.

[8] 孙二威, 吴振磊. 基于 STM32 的智能数据采集系统[J]. 甘肃科技纵横, 2021, 50(8): 1-3.

[9] 于广, 高照玲, 吴桐, 等. 基于 ATT7022E 和 STM32 的电力数据采集系统[J]. 电气传动, 2021, 51(12): 35-40.

[10] 余宁. 基于 STM32 的振弦式传感器数据采集系统的设计[D]. 西安: 电子科技大学, 2019.

(上接第 190 页)

[6] 程学珍, 朱晓林, 杜彦铤, 等. 基于神经模糊 Petri 网的高压断路器故障诊断研究[J]. 电工技术学报, 2018, 33(11): 2535-2544.

[7] Barbara Cannas, Alessandra Fanni, Stefano Manetti, et al. Neural network-based analog fault diagnosis using testability analysis[J]. Neural Computing and Applications, 2004, 13(4): 288-298.

[8] XuKun, Li Shunming, Li Ranran, et al. Deep domain adversarial method with central moment discrepancy for intelligent transfer fault diagnosis[J]. Measurement Science and Technology, 2021, 32(12): 124005.

[9] SUN Wei, TAN Bin, WANG Qiqi. Multi-step wind speed forecasting based on secondary decomposition algorithm and optimized back propagation neural network[J]. Applied Soft

Computing Journal, 2021, 113(PA): 107894.

[10] 潘强, 孙必伟. 模拟电路故障诊断中的特征信息提取[J]. 电子科技, 2013, 26(8): 116-119, 154.

[11] 姚海燕, 李勋章, 杨秀芹. 模糊故障树理论在航空充电设备故障诊断中的应用研究[J]. 计量与测试技术, 2021, 48(6): 82-84.

[12] Yu Li, Zhen Pan. Analog Circuit Fault Diagnosis Methods Based on RBF Neural Network[J]. Telecommunications and Radio Engineering, 2019, 78(13): 628-631.

[13] Meheran Aminian, Faran Aminian. Neural network based analog-circuit diagnosis using wavelet transform as preprocessor[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems-II: Analog and Digital Signal Processing, 2000: 151-156.

(上接第 194 页)

[2] 高柏, 朱兰. 从“世界工厂”到工业互联网强国: 打造智能制造时代的竞争优势[J]. 改革, 2020, 316(6): 30-43.

[3] JASPERNEITE P J. Towards the Smart Factory-Status and open issues[C]// 19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA '2014). IEEE, 2014: 1.

[4] 何群星. HC 叉车监控终端的研究与开发[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2018.

[5] ZHAO K, ZHU M, XIAO B, et al. Joint RFID and UWB Technologies in Intelligent Warehousing Management System[J].

IEEE Internet of Things Journal, 2020, (99): 1.

[6] PATA S D, DAN L M, POIENAR M, et al. Management System for the Control of the Forklifts Activity in a Factory[C]// 2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), 2019: 1-4.

[7] KIRSCH F, MIESEN R, VOSSIEK M. Precise local-positioning for autonomous situation awareness in the Internet of Things[C]// Microwave Symposium. IEEE, 2014: 1-4.

[8] 刘佳宁, 李冰林, 刘伟强, 等. 基于 ZigBee 技术的智能仓储管理系统[J]. 智能计算机与应用, 2021, 11(6): 88-91, 95.

[9] 王宇飞. 基于 ZigBee/RS-485 双模式通信的环境监控系统的研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2018.