

铁路道口列车运行安全监测系统的研究与应用

夏炳勋, 田学刚

(潍坊科技学院 智能制造学院, 山东 潍坊 262700)

摘要: 为保障铁路道口行车安全, 利用移动数字通信公网的互联网接入平台通用分组无线业务 (general packet radio service, 简称 GPRS) 作为通讯手段, 成功研发出一套全新的铁路道口行车安全监测系统; 该系统不仅能够实时显示铁路道口部位列车运行情况, 还可以结合列车行进位置, 将监测数据进行信息化处理, 并利用数据分析功能, 对可能出现的安全问题发出警告; 将这项技术用于列车与铁路道口进行试验, 结果证明: 当系统监测到电气特性指标超出安全范围或者是道口信号设备出现问题时, 能够及时向工作人员发出警报, 根据列车进出道口状态及运行状态迅速做出相应的处理。

关键词: 铁路道口; 安全监测; 监测技术; 远程监测; 系统

Research and Application of Train Running Safety Monitoring System at Railway Crossing

XIA Bingxun, TIAN Xuegang

(School of Intelligent Manufacturing, Weifang University of Science and Technology, Weifang 262700, China)

Abstract: In order to ensure the driving safety of railway crossing, a set of new railway crossing driving safety monitoring system has been successfully developed by using the Internet access platform General Packet Radio Service (GPRS) of the mobile digital communication public network as a means of communication. The system can not only display the train running conditions at the railway crossing in real time, but also process the monitoring data information combined with the train travelling position, and the data analysis function is used to warn about the possible safety problem. This technology is applied and tested at the train and railway crossing, and the results show that, when the system detects that the electrical characteristic index exceeds the safe range or the crossing signal equipment trouble happens, it can quickly send an alarm to the staff, the trouble is promptly solved according to the state and operation of the train entering and leaving the crossing.

Keywords: railway crossing; safety monitoring; monitoring technology; remote monitoring; system

0 引言

国内铁路研发成果推动高速列车的快速发展, 不仅体现在行车速度的提升, 还表现为通车频次的提高。与此同时也给列车的运行安全带来了不小的压力, 特别是对铁路道口部位的安全运行管理提出了更高要求。因此, 传统的人工操作和安全防护设施监测手段已经无法满足行车需求, 成为铁路道口行车安全的重要问题^[1]。

目前普遍采用对讲机向驻站员提醒列车的接近情况, 主要靠人员责任心来维系安全系数, 使安全工作压力过大, 长期压力下, 容易引起工作人员工作上的疏漏, 而导致行车事故甚至人员伤亡, 因此需要采取合理有效的防范措施。但是, 铁路沿线环境安全问题排查时间紧、工作量

大、整治困难, 受环境人员素质等因素影响, 经常出现漏洞和失误。随着铁路安全管理的日益严格, 通过人力和物力进行安全防护的方式与当前需求不相匹配, 如今铁路道口设计更加复杂, 安全防护设备的数量多且安装位置不集中, 因此无法通过一套控制设备进行统一的管理。现在安全设备的运转和维护仍旧依靠安全员的日常检查来完成。这种方式不仅效率低下, 而且在安全性上无法得到充分的保障^[2-3]。

由上述分析可以得出, 为了满足各种铁路区段道口安全防护的需要, 必须研发出一种全新的安全防护监测系统。这种系统必须同时实现以下几点使用要求: 1) 适用各种情况下的外部条件, 不同铁路线、地形的道口都可以满足使

收稿日期: 2022-08-17; 修回日期: 2022-11-17。

作者简介: 夏炳勋(1992-), 男, 山东潍坊人, 硕士, 助教, 主要从事铁路交通监测方向的研究。

田学刚(1980-), 男, 山东潍坊人, 硕士, 副教授, 主要从事电力设备监测方向的研究。

引用格式: 夏炳勋, 田学刚. 铁路道口列车运行安全监测系统的研究与应用[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(1): 59-64.

用要求；2) 系统的防护监测功能能够完全摆脱铁路电务区间的限制；3) 能够及时记录、上传、分析列车行进位置以及铁路道口的位置和安全防护装置运行情况。最终将车辆和道口信息进行整合，全面掌握列车与道口距离、行进速度与防线等信息，提前作出预判预警，减少人工防护作业压力，提升自动化防护设备可靠程度^[4]。

1 系统构架

本系统呈现的是一套完整的铁路道口安全防护信号装置的监测方法。这套系统由安放在车内和铁路道口的硬件设备以及具有多种控制功能的软硬件组成。系统网络连接主要通过 GPRS 无线网络连接，由于铁路具有一定的长度，而且两侧沿线的地质结构复杂，道口分布离散，铁路道路的位置不集中，通过预埋电缆进行信号传输远没有 GPRS 无线传输方式经济可靠，更重要的是无线数据传输方式在日常维护上具有较大优势^[5]。

1.1 硬件架构

本系统一共由 3 个硬件架构组成，分别是主站、子站和客户端。

主站部分：功能主要包括采集数据的分析和计算、客户端应用服务、系统管理和日常维护以及 web 站点发布等，同时需要做好通讯保障、数据分析和带有全球广域网 (web) 功能的工作站。

子站部分：首先是终端设备的研发，主要有两部分构成，分别为安装于列车内部和列车道口，前者监测列车行进数据，主要有位置、速度、方向等，车内设备利用 GPRS 网络与子站连接，将数据上传至主站^[6-7]；道口设备将采集、接受的模拟信号、设备开关量传输至系统服务器，并根据服务器反馈指令完成预警动作，以语音提醒的方式告知铁路员工和旅客。其次是客户端系统设计，对应满足具有安全防护管理权限的客户进行基本业务操作和相关应用的使用。

1.2 软件架构

软件架构包括 3 个模块：客户端、服务层（主要包括通讯服务、绘图维护服务、web 服务和管理服务）和数据层（主要包括实时库和历史库）。

软件架构中主要内容介绍如下。

实时库服务：保存和处理前置机节点广播的数字量、模拟量数据帧，再按照设定的理论模型值和网络拓扑结构算出故障点和给出报警信号，并告知列车过道口所处的状态，实时库和人机界面、历史库系统进行通讯。

历史库服务：保存必要的模拟量信息、设备信息、报警信息等，和实时库系统进行通讯且将数据写入服务器。

Web 发布服务：通过 Web 服务把系统的应用功能提供给权限用户。

权限管理服务：主要管理各级人员权限。

通信服务：负责接收和发送数据，把数据传输给实时

数据库。

1.3 通信服务架构

安全防护系统子站利用车载以及道口无线终端，收集并上传车辆位置和道口设备的运行数据，具体传输线路如图 1 所示。

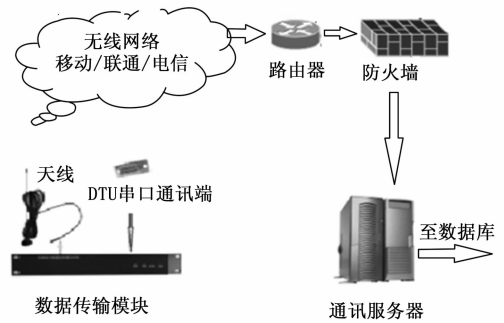


图 1 通信架构图

从图 1 来看，所有数据的传输过程采取的是无线透明信息通道，为确保数据在传输过程中处于安全状态，系统 DTU 模块采取的是串口运行模式，该模式首先将串口导入的数据进行打包处理，然后通过无线互联网上传至运营商的网络机房，并利用虚拟专用网络 (VPN) 或宽带网络，通过路由装置和系统防火墙与通讯服务器连接，最后由接受数据的通讯服务器还原为串口信息，并传输至数据服务器设备进行数据分析，然后以相同数据路径回传数据，相应终端设备最终得到 DTU 串口数据，以上为数据传输的全部过程^[8-10]。

而这个系统的关键技术在于保证网络的稳定和安全，还提供了安全技术解决方案，以确保数据安全可靠。采取措施如下：

1) 网络之间互连的协议 (Internet Protocol, 简称 IP) 过滤技术。

信号监测中心系统能够为用户提供多种应用服务，但所有客户端必须通过无线商用互联网 IP 进行登录，简单来讲就是借助中国移动互联网 (China Mobile Network, 简称 CMNET) 才能登录信号监测中心系统，并进行一些运维操作。鉴于用户的访问方式，监测系统通过采用用户 IP 过滤的方式，防止非法 IP 访问监测系统，为系统的安全运行提供最大保障。

2) 身份授权和密码认证体系。

为了进一步保障安全性，在 IP 过滤技术的基础上又增加了密码验证环节，并预先将访问用户的登录信息录入到系统中，包括客户端 MAC 地址及登录验证密码，用户可以通过用户身份标识号 (Identification, 简称 ID) 和对应的密码来认证信息并访问系统。

3) 数据安全加密通道。

为保障监测数据在传输过程中的安全可靠，所有采集

到的数据的都必须经过算法加密后再进行传输, 本系统采用的是数据加密标准 (data encryption standard 简称 DES)。

4) 访问过程跟踪。

数据监测系统还会记录全部访问用户的信息, 主要内容有客户身份信息、用户 IP 信息、访问时间信息、数字签名认证信息、维护等, 为维护人员查询操作记录提供有效的数据支撑。

5) 数据完整性校验。

为避免数据在传输过程中出现错误和缺失的现象, 监测系统通过十六位循环冗余码 (cyclic redundancy check, 简称 CRC) 对数据进行校验, 只有通过 CRC 检验的监测数据才能被传输。

2 监控与预警功能研制

2.1 主监控功能研制

客户端设备的使用和管理权限有严格等级划分, 包含 4 个用户等级, 从高到低分级分别为路局、各段、车间和工区, 方便各个用户结合工作需求对监测设备进行分级管理和使用^[11]。

道口报警信息通过如图 2 的模拟图的方式展现出来, 当列车位置信息与所监测的状态出现问题 (例如缺失或者错位) 的时候, 就会立即通过网络或者手机短信的方式进行报警, 让相关人员立即对此进行协调和处理。

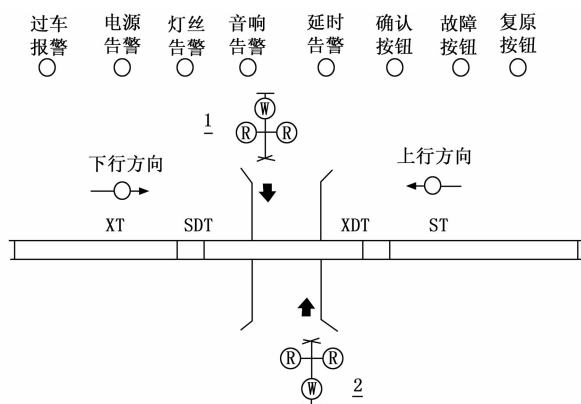


图 2 道口报警管理模拟图

道口报警管理模拟图表示的具体设备包括以下四部分:

1) 信号机。

如图 2 所示, 其中数字“1”对应的是 1 号铁路到的信号设备, 相应的数字“2”对应 2 号铁路道口的信号设备, 相应铁路道口上的白色信号指示灯用圆圈“R”表示, 红色信息指示灯用圆圈“W”标记。

2) 轨道控制条件。

在道口安全监测系统的模拟图中, 分别用符号“ST”、“XDT”、“SDT”和“XT”标记不同的继电器装置。根据列车经过继电器装置的时间先后, 并根据“ST”——“XDT”——“SDT”——“XT”轨道电路继电器占用顺

序来对道口的设备进行控制。

3) 道口控制区段方向条件。

以泰安至肥城铁路线之间的 K22+511 m 铁路道口为例, 列车道口站内控制主要是针对列车上行到达通知继电器 (SDT) 以及列车下行接近通知继电器 (XT) 的控制条件。如果列车以上行方向通过铁路道口, 输出占用条件需同时满足道口设备实测列车上行到达通知继电器 (SDT) 以及列车下行接近通知继电器 (XT) 的控制条件。而列车行进方向是下行时, 道口设备采集的实际数据和标准数据一致, 主要包括通过时间和通过顺序, 此时实际列车过道占用条件等同于标准情况下列车过道占用条件^[12]。

除上述情况外, 还有一些非标准铁路道口控制电路可能存在于其他道口信号装置中。针对这种情况, 会在图中用列车通过带红光非标准控制条件进行标识, 同时, 列车实际通过铁路道口时, 对应铁路道口列车占用轨道的实际情况也会在监测设备的模拟图中显示出来。

由于在控制铁路道口的电路是由多个相对独立的继电器和电路装置组成的, 因此在继电器 XT 与 SDT、ST 和 XDT 之间可能会存在控制装置监测的盲区, 因此, 当列车道口通过的是模拟列车, 且列车长度较短或者是单列车时, 控制装置监测器监测不到列车, 模拟图不显示模拟红光带, 只显示铁路道口实际通车情况。

4) 告警指示灯。

8 个告警指示灯反应的是铁路道口对应的 8 个实际工作情况, 分别是“1”过车警示灯、“2”电源警示灯、“3”灯丝警示灯、“4”音响警示灯、“5”故障警示灯、“6”复原警示灯、“7”延时警示灯、“8”确认警示灯, 正常运转状态不显示, 出现故障显示红色灯报警。

2.2 列车过道口预警功能研制

列车在正常运行时, 车载信息装置按照预设的时间间隔和传输频率将列车的全球定位系统 (global positioning system, 简称 GPS) 定位信息上传至控制系统服务器, 当其与道口预警装置达到一定的距离时, 系统服务器依据位置数据计算得出列车距离预警道口的长度, 并判断列车对于道口的相对速度和行进方向^[13]。数据计算的整个过程与列车行进步同步开展, 服务器只要接收到新 GPS 数据就会对其进行重新计算。

2.2.1 启动预警命令功能

列车实时位置经过系统服务器的计算, 导出结果为列车向着道口方向行进且到达预警位置, 系统服务器将迅速把相关参数传输至将通过的铁路道口监测装置, 此时预警装置将以语音和电子屏的方式向站内员工和乘客进行预警提醒, 且实时监控道口安全防护设施是否处于正常运行状态, 当工作人员处理不到位时会迅速做出处置^[14]。

2.2.2 停止预警命令功能

列车通过铁路道口后, 根据实时监控的位置信息计算

结果,显示列车与道口相对于行进方向相反,且超过预警距离时,预警装置的服务器则判断为预警解除,同时向道口的预警提示设备发送暂停预警提示的命令,相应装置接到暂停预警的命令后,将立即停止语音或电子屏提示^[15]。列车驶离距离和车速有关,行车速度越慢,相对距离越近,反之则距离越大。

1) 例如:列车车速为 36 km/h (10 m/s) 时, GPS 信息刷新时间间隔为 30 s, 则有:

$$10 \text{ m/s} \times 30 \text{ s} = 300 \text{ m}$$

即列车驶离预警终端设备且距离为 300 m 后停止预警。

2) 例如:列车车速为 72 km/h (20 m/s) 时, GPS 信息刷新时间间隔为 30 s, 则有:

$$20 \text{ m/s} \times 30 \text{ s} = 600 \text{ m}$$

即列车驶离预警终端设备且距离为 600 m 后停止预警。

3) 例如:列车车速为 120 km/h 及以上时, 服务器在列车驶离道口 1 km 时下发停止预警命令。

2.2.3 暂停预警和恢复预警功能

当列车驶近车站道口但却未到停车点需要提前停止行进时, 此时列车上的终端设备传输的位置数据不在发生变化, 监控设备检测到的速度降为 0, 系统服务器计算判定列车为停车状态, 系统服务器发送暂停预警命令给道口客户端设备, 此时道口终端预警设施也会立马暂停预警行为, 并同步对外语音输出: “车停!” 的提示音, 在列车重新启动行至预警位置期间不发出预警提示。

当列车再次正常启动到接近道口时, 系统服务器判定列车到达预警位置, 重新启动与正常过道口车辆相同的预警机制, 相关语音、电子屏提示设备也恢复到原来的工作状态; 假如列车启动后沿着远离道口方向运动时, 则预警装置不发出预警提示, 全面解除预警状态^[16]。

3 道口监测单元开发与研制

3.1 嵌入式中央处理器芯片结构及原理

道口监测单元所使用的芯片为 C8051F 系列的混合信号系统单片机, 该系列的单片机由 SiliconLab 芯片生产企业研究设计, 达到了工业级标准, 并采用嵌入式的集成方式, 包含标准双向 I/O 接口线 64 根, 内外部采用配置字方式相连接, 实现资源共享。主中央处理器 (central processing unit, 简称 CPU) 包括温度传感器、定时器、内部振荡器、电源监视器、电压比较器、看门狗定时器、电压基准、可编程计数/定时器阵列, 储存方面含有 64 k 字节的程序 FLASH 存储器和 4352 字节 SRAM 存储器, 集成有 2 路 12 位 DAC、2 路 12 位 DAC、8 路 12 位 ADC、8 路 8 位 ADC, 以及 PGA、SMBUS/I2C、SPI、边带扫描接口等元器件, 特别是 12 位 ADC 可以实现 100 ksps 的实时采集速率, 8 位 ADC 采集速率更高, 可达到 500 ksps, 所以, 设备完全可以满足模拟信号快速高效的采集要求。

3.2 信号采集

3.2.1 信号灯信号输入采集

通过图 3 的电路图来看, 信号灯被施加某一驱动电压时, 此时在电路中产生电流 I , 考虑信号灯一般功率较小, 因此电路中电流大小介于 10 mA 到 100 mA 之间, 电流通过弱电电流互感器 CT 被线性转换为电压信号, 由于该电压信号与电流呈线性关系, 因此 ADC 实际检测出的电压信号线性对应点灯电流大小^[17]。

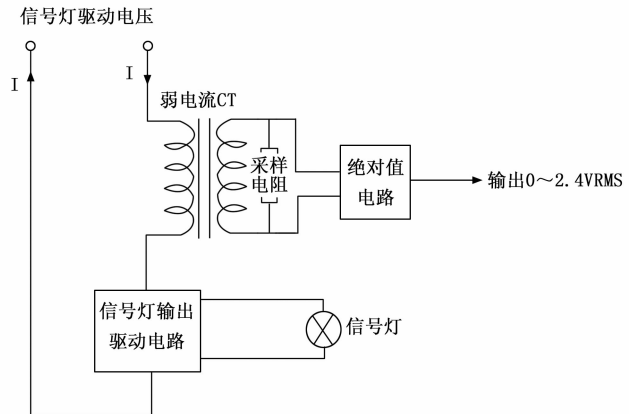


图 3 信号灯采集电路图

实测的 ADC 电压 $U_d = R \times I$, 则 $I = U_d / R$, 信号灯电阻 $R_d = U_{\text{点灯电压}} / I = (U_{\text{点灯电压}} / U_d) \times R$ 。

通过测量得到信号灯两端的电压为 220 V/50 Hz 的交流电压, 根据计算可得信号灯的电阻。此计算电阻值方法适用于钨丝材质和 LED 材质的信号灯。特别指出, 钨材质的灯丝通电时温度升高, 实际电阻值将提高为常温状态下的七到十倍。

3.2.2 开关量输入采集

如图 4 (a) 为常开点线路图和 (b) 常闭点线路图所示, 电路采用光电耦合装置, 继电器设为常闭点和常开点, 整个回路的采集节点为继电器初始状态时的接点。

3.2.3 模拟信号输入采集

如图 5 (a) 所示, 对 220 V 交流电进行降压得到所需的 ±2.4 V 交流电, 为了满足 CPU ADC 的要求, 再通过电路进行处理, 输出有效值电压为 0 ~ 2.4 V 的直流电压信号。

如图 5 (b) 所示, 由于电路中直流电压信号比较高, 通过电阻进行降压, 经缓冲后输入线性光电隔离装置输出可以保证 CPU ADC 元件稳定运行的电压。

3.3 车载信息单元开发与研制

3.3.1 车载设备主单元模块

列车内安装有可以接受其 GPS 位置信息的车载装置, 系统服务器通过无线网络接收位置信息^[18]。IMX28 主板是以 ARM926EJ 为内核的 ARM9 处理器作为主 CPU, 主板频

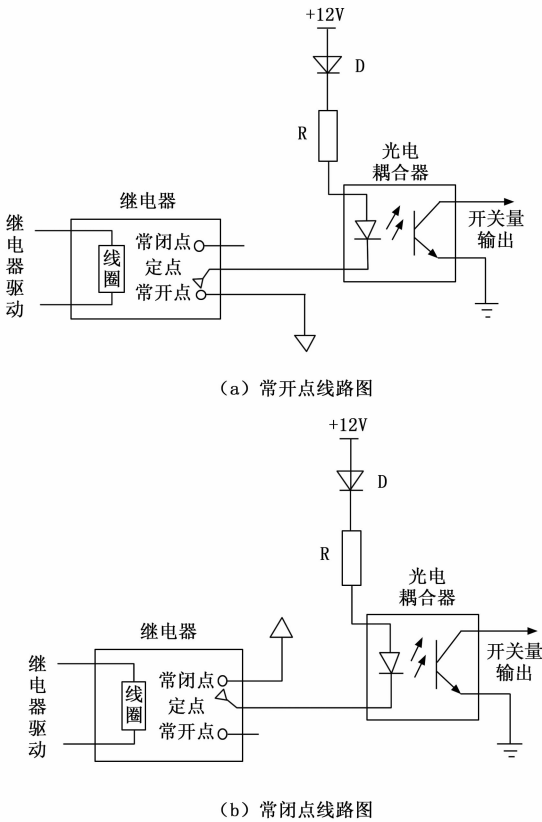


图 4 常开点、常闭点线路图

示双机热备的两部分, 两者之间相互备份, 该设备在以 GPRS 为网络环境下的自动闭塞、非自动闭塞线路段和车站 内设有安全监测管理系统的线路段得到广泛适用。相关参 数见表 1。

表 1 车载设备参数表

序号	主要技术项	参数指标
1	电源	直流 110 V
2	信息上报周期	时速小于 120 km 时, 地理位置为 30 s, 大于 120 km 时, 地理位置信息上报周期为 1 次/km
3	心跳周期	120 s
4	正常运行温度范围	-25 °C ~ +70 °C
5	保存温度范围	-40 °C ~ +85 °C

4 设备安装与测试

4.1 设备安装

4.1.1 道口设备的安装

铁路道口设备的主机采用水平的方式进行安装, 位置 选在道口设备柜的水平隔板的某层。配备吸盘式 GPRS 天 线。为满足具有语音提示功能的扩音器在室外极端天气下 的使用效能, 设备增加了防水性能^[19]。此外由于昼夜客流 量和噪音分贝的不同, 扩音设备还可设定有昼夜两个音量 模式可以定时自动调节。通常从早七点到晚七点为正常音 量大小, 其他时间的音量为该时段音量的 1/6, 既能满足 工作需要, 又可以保障周围住户正常的生活秩序。

铁路道口控制装置的按钮主要分布在前板和后板。

4.1.2 车载设备的安装

车载终端的两种外形和加固设计, 充分考虑设备的实 用性和安装的便捷性。其一是在设备前面板预留孔位, 通 过螺栓和三脚架进行加固。其二是设备底部面板左右两边 各有一个耳孔, 在安装车载设备的平面上进行打孔后固定。 列车可以根据预留空间的情况和工作需求合理选择车载设 备固定方法。双机热备工作状态下的设备面板, 其中“1” 部分施加 5 V 直流电, 指示灯亮起表示该部分正常工作, 位置系统和网络连接系统有序运转。

4.1.3 备用电源

为保证设备供电, 车载设备内置备用电源, 日常工作 情况下, 设备工作电源除维持正常运转外, 还提供充电功 能, 并在内置电路管理系统的作用下, 进行电源切换。一 旦出现外部供电不足或者断电的情况, 内置备用电源立即 启动, 主机正常运转不受影响^[20]。备用电源的续航通常超 过八小时。需要注意的是, 应避免长期使用内置备用电源 进行工作, 否则将影响备用电源的电池寿命, 过度放电的 备用电池由于供电不足, 还可能造成主机电路出现故障。 由于主电源既要维持主机运转, 又要为备用电源充电, 此 时电热损耗较大, 在备用电源充电完成之前, 主机外壳会 发生温度明显上升的情况。充电完成后, 热损耗降低, 机

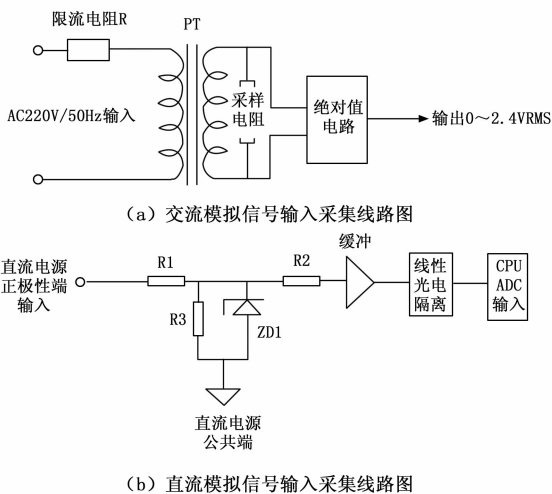


图 5 交直流模拟信号输入采集线路图

率达到了 454 MHz, 该主板支持包括 DDR2、mDDR、 SDRAM 等多种格式的内存芯片, 可以支持 6 个硬件串口, 内部设置电源管理, 外部电压输入达到 +5 V 就能满足使用 要求。集成线路板线路布局严格参照 EMC/EMI 标准, 为 6 层设计规格, 可在 -40 ~ +85 °C 的温度区间内进行工作。

3.3.2 车载信息单元样机说明

车载设施的前部面板中, 数字“1”和数字“2”表

壳温度下降恢复正常温度。

本次测试选择鱼池与泰安两个站点之间作为测试地点,道口距离两个站点分别为 12 km 和 11 km。

4.2 铁路道口监测

根据用户工作权限和实际使用情况,在客户端服务系统界面设置有树状菜单栏,展开后铁路系统工作人员可以方便查看列车电务段及其下属的车间子项和工区子项;车间选项可以查看下属工区子项;工区子项可以查看所控制的铁路设施。

4.3 报警记录查询

控制系统能够记录报警信息,并且可以查询报警系统最新状态和历史数据、实时报警信息、历史报警信息等内容。其中实时报警信息更新时间间隔为三分钟,以便及时显示最新的报警信息。

报警条件和报警权限可以根据工作需要提前设置,表 2 所列出的就是报警装置的具体设置的报警条件,一旦发生满足条件的情况,就会通过手机短信向工作人员发送报警信息。

表 2 报警条件表

序号	报警名称	条件
1	交流 220 V 电源	<140 V (根据配置) 持续时间>60 s
2	24 V 直流电源	20 V(根据配置) 持续时间>60 s
3	7.5 V 直流电源	<5.5 V(根据配置) 持续时间>60 s
4	1 路音频信号电压	报警继电器(数字量 33)状态为 1 1 路音频信号小于 0.1 V(根据配置) 持续时间大于 90 s
5	2 路音频信号电压	报警继电器(数字量 33)状态为 1 2 路音频信号小于 0.1 V(根据配置) 持续时间大于 90 s
6	信号灯灯丝报警	白灯灯丝继电器(数字量 29/28)与红灯灯丝继电器(数字量 3/2)状态组合除 0000 或 1111 之外的组合。 持续时间>2 s

5 结束语

利用移动数字通信公网的互联网接入平台 GPRS 作为通讯手段,研制开发了一种铁路道口设备远程监测系统,该系统有效实现了机车、道口等的地理位置信息和设备监测信息的自动上传,不会因地理空间分布条件苛刻而受到影响,整体运用上较为灵活且成本较低,采用了安全技术保证了网络的稳定和安全。这套系统包括车载设备和道口终端设备等终端设备。车载设备放置和固定于列车上并和 110 V 电源相连接,天线放在无遮挡的地方。道口设备和扬

声器相连,用在行人和道口员等的安全预警。终端设备有正常工作和异常工作两种语音提示,便于提醒设备的工作状态,向铁路道口可控可防提供了有利条件,做到及时消除铁路道口存在的安全隐患,进一步提升安全系数。

参考文献:

- [1] XU Z, ZHANG P Y, LIU P C. Digital IF GPS Signal Simulator Design [J]. Instrumentation, 2018, 5 (4): 11-18.
- [2] 任小东, 张永丽, 牛旭龙. 铁路信号集中监测系统安全隔离机制研究 [J]. 铁道通信信号, 2020, 56 (3): 3.
- [3] 徐航, 张敏慧. 从工程设计角度对道口信号新国标的解读和分析 [J]. 铁道通信信号, 2021, 57 (5): 38-41.
- [4] 田方伟. 铁路道口远程集中监控系统的实现要点分析 [J]. 中国新技术新产品, 2021 (5): 21-23.
- [5] 陈雪花, 余建煌, 王爱东, 等. 基于 5G 技术矿区铁路道口自动控制系统的研究 [J]. 电脑知识与技术, 2021, 17 (21): 143-145.
- [6] 李电强. 矿区铁路道口无人值守系统研究与应用 [J]. 煤炭与化工, 2021, 44 (7): 87-89.
- [7] 李拓. 基于 MATLAB 图像处理的高速铁路异物侵限检测技术研究 [J]. 技术与市场, 2018, 25 (6): 18-22.
- [8] 刘立辉. 铁路道口钢轨变形监测系统的研究 [J]. 哈尔滨铁道科技, 2018 (2): 12-14, 17.
- [9] 袁天玉, 徐蕾. 中国铁路道口标准在海外工程中适应性探讨 [J]. 铁道通信信号, 2018, 54 (5): 9-11.
- [10] 赵力帅, 李耕宇, 武振宇, 等. 基于分层异构数据库系统的历史数据归档技术 [J]. 电信科学, 2018, 34 (S1): 174-178.
- [11] 范昊. 专用线铁路无人值守道口远程控制探讨与实施 [J]. 特钢技术, 2020, 26 (1): 64-66.
- [12] 宋海东. HTK-DB 型列车接近道口报警装置的研究 [J]. 哈尔滨铁道科技, 2020 (2): 5-9.
- [13] 朱菊香, 张铭, 周翔, 等. 基于地感线圈的道口自动护栏 PLC 控制系统设计 [J]. 电声技术, 2022, 46 (4): 75-78, 82.
- [14] 刘东铭, 贾聪. 铁路道口远程集控系统在枣庄矿区铁路的应用 [J]. 山西建筑, 2019, 45 (6): 257-258.
- [15] 刘燕. 关于新钢公司铁路道口集中管理的探讨 [J]. 中国金属通报, 2019 (4): 265-266.
- [16] 牛英俊. 无人铁路道口自动控制方案设计与研究 [J]. 铁道通信信号, 2019, 55 (5): 30-33.
- [17] 李明华, 陈艳亭, 周新力. 基于多元联系系数集对分析法的道口安全评价 [J]. 华东交通大学学报, 2019, 36 (4): 75-80.
- [18] 李育冰, 胡闯. 铁路车辆智能检测防护机器人设计研究 [J]. 电气化铁道, 2019, 30 (5): 91-93.
- [19] 陈武. 基于 GPRS 模块的无线通信系统设计 [J]. 通信电源技术, 2018, 35 (10): 156-158.
- [20] 易焱华. 浏览器风格 C/S 应用程序主界面的设计与实现 [J]. 信息系统工程, 2018 (8): 114-115.