

铁路机车运行监测语音提示系统设计

邱建东¹, 蒋兆远¹, 汤旻安²

(1. 兰州交通大学机电技术研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州理工大学机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要 根据铁路单司机值乘改革的需要, 设计了基于高性能 AVR 单片机的嵌入式机车运行状态监测语音提示系统. 系统基于 RS485 总线的多机通信网络, 从机载设备中提取数据, 并运用内嵌式专家系统对机车运行状态进行监控, 对设备故障进行初判, 对运行关键位进行瞭望, 并模拟副司机进行语音提示. 经现场实际使用, 起到了良好的效果.

关键词 机车; 状态监测; 多机通信; 内嵌专家系统

中图分类号 TP3 **文献标志码** A

The design of voice prompt system for locomotive running monitor

QIU Jiandong¹, JIANG Zhaoyuan¹, Tang Minan²

(1. Mechatronic T&R Institute, Lanzhou Jiaotong University, Gansu LanZhou 730070, China; 2. School of Mechanical and Electronic Engineering, Lanzhou University of Technology, Gansu Lanzhou 730050, China)

Abstract According to the need for the reform of the Railway Single Driver system, a set of voice monitoring system for locomotive running status based on high-performance microcontroller AVR has been designed. Running in single-bus multiprocessor communication network based on RS485 bus, the system extracts data from airborne equipment and uses embedded expert system to monitor the status of the locomotive equipment, to get preliminary judgment of equipment failure, to observe running critical bits and simulate co-driver voice prompts. The effect used in the actual field shows it can meet the actual requirements very well.

Key words locomotive; status monitoring; multiprocessor communication; embed expert system

铁路传统的机务值乘模式是双司机作业, 正司机负责主要的机车操控, 副司机负责协助正司机进行设备检查、观察瞭望、故障处理等. 随着铁路改革, 单司机值乘方式正慢慢成为主流, 这种值乘模式虽然能有效地节约成本, 但是给机车乘务员带来了很大的精神和身体压力, 造成行车安全隐患. 如果能够设计一套系统, 尽可能模拟副司机的工作, 在机车运行到需要注意的关键位置或者机车设备故障时, 给正司机准确清晰的语音提示, 就能够有效帮助司机尽快度过转型的不适应阶段, 同时有效促进司机标准化操作, 确保行车安全. 基于此思想, 通过机载信息平台的数据共享方式, 设计了嵌入式机车运行状态监测语音提示系统, 该系统能够作为一个车载信息共享处理平台, 补充LKJ机车监控装置的报警提示信息, 部分模拟原副司机的一些工作职能, 从而更好地为“单司机”值乘模式做好服务.

1 系统结构设计

系统主要模拟副司机 3 方面的工作职能: 1) 机车运行关键位提示; 2) 设备运行状态检查; 3) 设备故障诊断. 其中, 机车运行关键位是机车运行中的一些需要司机重点关注的公里标. 双司机模式下, 在这些“关键位”副司机都会提示司机进行某些操作或者提高注意力. 副司机呼唤应答的主要内容有: 防护信号注意、慢行注意、仪表注意、尾部风压注意、信号注意等等.

收稿日期: 2014-05-20

基金项目: 甘肃省自然科学基金 (1208RJZA292); 甘肃省科技支撑计划 (090GKCA009, 1304GKCA023)

作者简介: 邱建东 (1974-), 男 (汉族), 高级工程师, qiupeter327@163.com.

系统模拟副司机这 3 方面工作，需要提取必要的信息。这 3 方面的信息源主要来自机车的 TAX 箱、电气控制柜、微机柜和其他机载检测装备。TAX 箱又称机车安全信息综合监测装置，是一个开放式信息平台，所有与列车运行及安全检测设备有关的数据信息均能通过 TAX 箱 485 接口周期地向外传送，方便用户获取。机车电气控制柜内的开关量信号，能够反映劈相机状态、主接地状态及各种通风机工作状态等辅助设备状态。机车微机柜内可以得到主变压器、副变压器原边副边的电压电流、牵引电机电枢电压电流、牵引电机励磁电流等模拟信号，这些信号反映了机车主体设备工作情况，且已调理成适合 A/D 转换的电平信号。此外，目前机车上也安装了很多在线检测装置，例如增压器在线监测系统，这些装置一般都提供对外输出接口和协议，可以充分利用其检测信息来辅助机车运行状态判别。

机车工作环境恶劣，电磁环境复杂，本系统需要从 TAX 箱、微机柜、电气控制柜内采集数据，而且又需要在两端司机室进行语音提示，信号传输距离比较长，因此可靠的通信设计是本系统的成败关键。目前机车上安装的很多检测装置都具有 RS485 接口，而且 TAX 箱的信号基础模式也是 RS485，因此本系统设计了基于 RS485 总线的多机串行通信系统。系统的体系结构如图 1 所示。

系统基于 RS485 总线构建了一个单总线多机通信系统，是一种主从式广播构架。系统包含一台主机，多台从机，各从机之间不互相通信。系统的主机主要处理从机发送过来的信息，并根据信息进行语音播报。从机根据设置不同，分别进行关键位置信息提取、开关量信号提取、模拟量信号转换提取、与机载其他监测装置通信及信息获取等功能。

2 硬件系统设计

由于本系统是基于 RS485 总线的多机系统，通信的构架是核心，其次是主机及分机设计。本系统最终处理结果是要给司机一个准确清晰的语音提示，因此，语音装置设计也是本系统的重要内容。

2.1 多机通信系统设计

RS485 是一个差分数据传输、支持多点通信的电气规范接口。它的优点是噪声抑制能力和抗干扰能力强，传输距离远，具有多站能力，用户可以利用单一的 RS-485 接口方便地建立起设备网络。根据系统的设计思想，多机通信的拓扑结构如图 2 所示。

系统设计时为了减少传输信号毛刺，在总线末端设计了匹配电阻（图 1 中的 R1、R2）以吸收总线上反射信号，其阻值与总线的特性阻抗相当。

另外在电源、总线差分信号正负端之间及地之间接入 3 个 10 kΩ 电阻形成电阻网络，用来提高总线悬浮状态（没有信号传输）时的抗干扰能力。当总线悬浮时，正端电平大约为 3.2 V，负端电平大约为 1.6 V，压差 1.6 V 左右，即使有干扰信号也形不成串行通信的起始信号 0，增加了总线抗干扰的能力。

系统选用 MAX1480B 芯片做信号处理。MAX1480B 是完备的电气隔离型的 RS485/RS232 数据通信接口芯片，采用混合微电路结构。可确保数据传输的可靠性。接口电路如图 3 所示，74HC86 芯片的 3 脚和 9 脚连接到 MCU 的串口，其 12 脚是该模块的使能端。

2.2 单片机选型及主从机设计

主机 CPU 单片机选择了 ATMEL 公司的 ATMEGA128^[1]，这款单片机性价比很高，具有 32×8 个通用寄

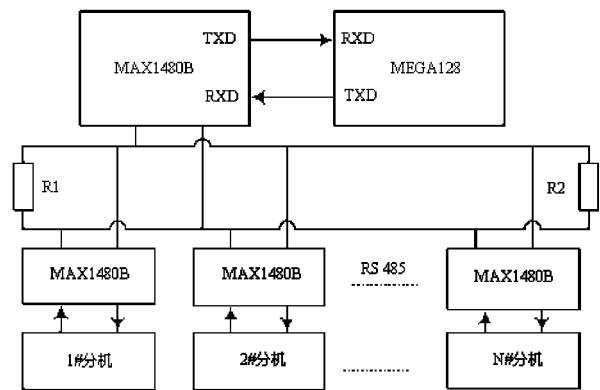


图 1 系统结构

Fig. 1 The structure of system

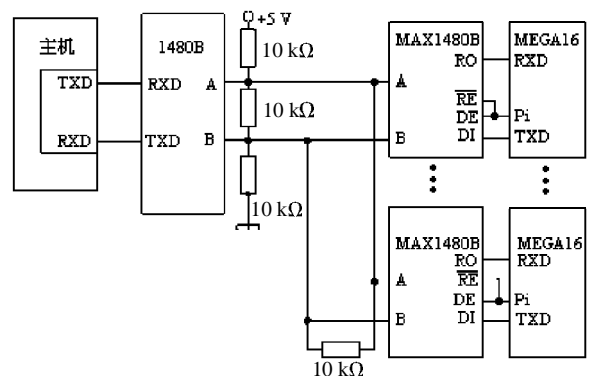


图 2 多机通信拓扑

Fig. 2 Network topology of multi-machine communication

寄存器, 128 kbyte 的系统内可编程 flash, 可进行万次擦写, 片内还有万次可擦写 4 kbyte EEPROM 及 4 kbyte SRAM. ATMEGA128 资源丰富, 通过相关寄存器的设置可以很容易的控制具有 SPI 接口的语音芯片, 其内部的存储空间基本能够满足系统内嵌式专家系统的规则库存储要求 [2], 是符合系统要求性价比最高的芯片选择. 中央控制单元围绕单片机设计, 主要还有晶振电路、指示灯电路、复位电路、JTAG 电路等, 因为都是通用电路, 文中不一一累述 [1-2]. 从机 CPU 选择了同系列的 ATMEGA16, 其内存较少.

主机主要实现功能是访问各从机, 根据通信协议与各从机通信, 解码从机发送信息并进行语音播报. 因此, 主机主要功能模块是通信及语音播放模块. 核心技术体现在软件编程中.

从机主要任务是采集 TAX 箱及设备状态信息, 因此需要根据各采集点的不同而设计. 但是通信模块是其必不可少的配置. 除此之外, 主要是 A/D 转化模块及数字量输入/输出模块.

MCU 的 GPIO 口均可作为数字输入端口使用, 其原理如图 4 所示, 数字量输入的有效直流电压为最小 5.5 V, 具有光耦隔离作用, 隔离电压为 2500 Vrms (最小). 数字量的输出的直流有效电压为 12 V, 单路最大电压为 2 A [3].

2.3 语音模块设计

系统语音模块由语音芯片和功放电路组成. 语音芯片选用美国 ISD 公司的 ISD4003, 可进行 8 分钟的长时语音录放, 将需要播报的语音都提前录制在芯片中, 按照地址调用. 考虑到机车嘈杂的环境, 播放的语音声音要大, 系统专门设计采用了二级功放设计, 分别选用 LM386 和 TDA2822 芯片 [3], 可获得清晰大音量的声音. 扬声器选用 1 W 8 Ω, 经现场验证, 其音量及清晰度完全能够满足机车运行的嘈杂环境. 其设计电路如图 5 和图 6 所示 [4].

2.4 工艺设计

机车运行环境非常恶劣. 电磁干扰、灰尘、噪音、振动等都严重影响本系统的正常工作. 电路 EMC 设计主要措施有: 1) 将电源功率

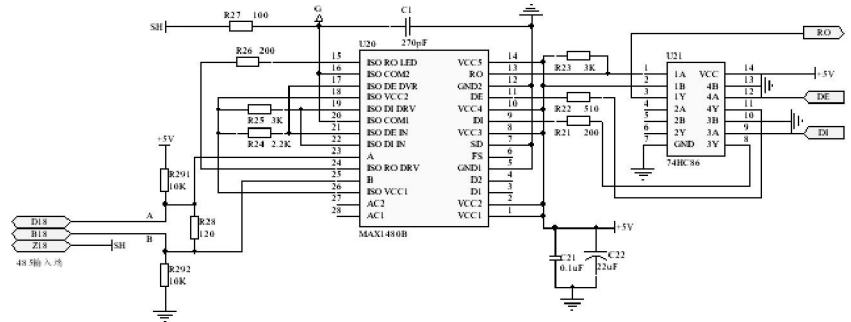


图 3 数据通信模块
Fig. 3 Data communication module

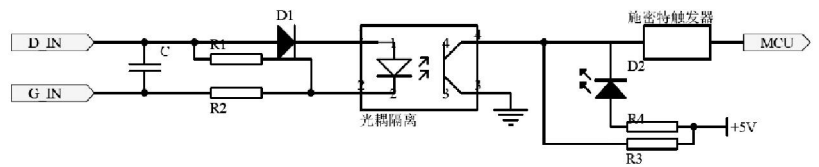


图 4 数字量输入接口
Fig. 4 Digital input interface

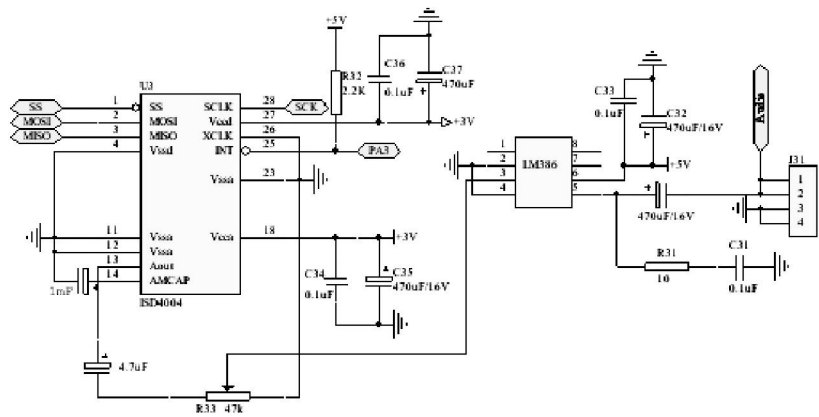


图 5 语音处理单元
Fig. 5 Voice processing unit

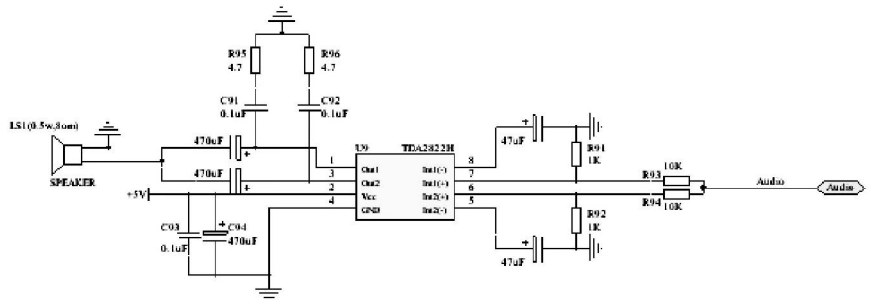


图 6 二级功率放大
Fig. 6 Two levels of power amplification

区、数字电路区、模拟电路区设计成相对独立区域，尽量减少互相干扰；2) 各集成元器件地线电源线间分别 100% 接入去耦电容；3) 信号线按照功率强弱分开铺设，信号线上开孔尽量少；4) 双面印刷版三总线互相垂直，尽可能短，地线和电源线尽量成梳妆布设；5) 数字电路中的有关逻辑器件相互靠近，与振荡器远离，具有存储记忆的电路相互靠近，并与 CPU 总线靠近^[4]。

3 软件设计

该装置在设计软件的时候，主要分主从机软件和地面系统测试软件两部分。

主机软件主要是单片机内的程序设计，采用 C 语言编程，AVR Studio 4 编译环境下调试。主要实现功能有：1) 与从机通信；2) 获得从机的数据帧；3) 根据协议解码，获取比对信息；4) 按照系统功能要求对数据进行比对处理；5) 实现播放语音功能。

软件实现的难点和关键环节有：1) 主机、从机的实时准确通信；2) 总线分时共用的协调问题；3) 确保传输准确性的差错控制；4) 数据提取并快速转换成需要制式；5) 如何将数据进行比对处理；6) 比对数据和语音对照的数据结构设计。

3.1 通信功能设计

多机通信系统的功能实现，统一的通信协议设计是基础。系统中协议有 2 种帧格式：呼叫帧、应答帧，通信速率设为 28 800 b/s。系统上电或复位后，主机需要将 MAX1480B 的 DE 引脚置 1，允许其发送数据。分机的 MAX1480B 的 DE 引脚置 0，处于接收数据的监听状态。主机在网络发送呼叫帧广播以后，每个从机都将接收到，并提取呼叫帧内的呼叫地址信息与自己地址比较，如果相符，则进行接收处理，否则抛掉。当分机确认广播地址是自己的地址后，向主机发送应答帧，应答帧内包含本机地址与数据信息。主机接收到该应答帧后，进行解码，提取数据信息，并根据内嵌专家系统的检验规则或者公里标信息，进行语音播报，并进入下一次循环。主机采用轮询方式访问各个主机，间隔周期设置成 100 ms。本系统目前设置 4 个分机，分别是 TAX 箱、微机柜、电气柜，以及机载增压器检测装置，每秒钟各分机最少发送 2 次应答帧，能够满足实时性要求。主机主程序，从机中断服务程序流程如图 7 所示。

网络通信设计最核心的内容是控制好每个分机的收/发状态，以防止各个分机在通信总线上的碰撞，造成数据错误或丢失。本通信系统是半双工通信系统，总线是分时复用的。主程序需要对总线控制权做好分配工作，使各从机信号时间上完全隔离，保证能及时、正确地传输数据。要做到总线上设备在时序上的严格配合，在设计时主要考虑几个要素即可：1) 复位后，主机处于发送状态，从机处于接收状态；2) 主机发送广播信息内包含从机地址，从机串行中断方式接收广播，如果地址与本机地址不一致，则不做处理；3) 从机接收广播中地址吻合，则发送应答帧。芯片控制端 DE/RE 引脚的控制信号宽度应大于发送或接收帧信号的宽度^[6]。

3.2 基于规则的内嵌式专家系统

系统从电子柜、微机柜提取开关量及模拟量信息，这些数据都反映着机车运行状态，也提示这故障信息。但是能够让系统从抽象的数据信息得到具体的结论，需要专家系统的支持。

专家系统其实就是智能的计算机程序，是大量领域专家知识经验的高度抽象，能够模拟专家的决策过程。本系统设置了基于规则的内嵌式的专家系统，主要通过“IF (条件) THEN (结论)”的确定性判断方式给司机进行提示建议。其可信度因子是随着专家知识更新而不断调整的。

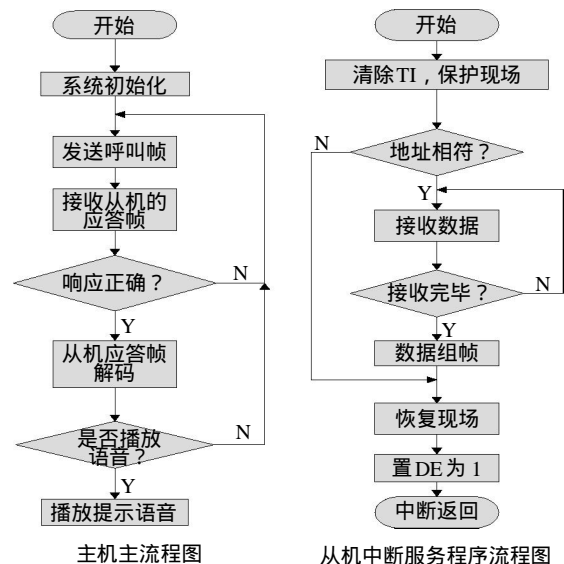


图 7 多机通信主/从机软件流程图

Fig. 7 The software flow of master / slave in multiprocessor communication

主机得到从机应答帧以后，提取帧内数据，并根据从机号判断数据的来源，对数据进行解码后，根据事先设定的规则逐条进行判断。某一条专家规则成立以后，根据规则编码，提取对应的语音进行播报。由于系统设置的资源有限，只能比较粗略地对设备运行状态和设备故障进行初步判断，但是也基本达到了副司机的判断水平。因为专家系统本身判断的规则水平就高于一般工作人员，加之很多电压电流信息也是副司机巡线时难以得到的数据。

为了验证其在线的准确性，系统专门配套设计了地面专家分析系统，将在线存储的数据提取后，使用更多更复杂的专家规则进行判断，并不断地对内嵌式在线系统规则进行修正。地面分析系统采用VB设计，SQL数据库，其运行界面如图8所示^[5-6]。

3.3 地面模拟测试源

系统需要在实验室试验和调试，但是没有TAX源是个掣肘环节。为此，在系统设计的同时，还专门设计了模拟源软件。

该软件用VB设计，按照TAX的协议格式，和不同的测试要求，按照28800的波特率，通过计算机串口发出数据帧。调试时，还需要外接一个232-485的研华模块，就能够完全模拟TAX箱的数据源了。模拟源的界面如图9所示。

4 装车运行情况与结论

本系统在宁东地方铁路、中铁一局、中铁三局等多家单位的运营机车上装车应用，以先进、实用、稳定获得了现场的肯定。该系统已经成为这些单位机车司乘人员、检修人员、管理人员认可的机车大部件之一，成为行车主要设备并列入正常维护检修范围，系统相关配件也列入采购备用必须件范畴。

基于嵌入式的机车运行状态监控语音提示系统的设计思想，紧扣铁路新值乘制度实行给值乘工作带来困难的客观实际，结构原理虽然简单，但是功能稳定，语音播放清晰，关键位置提取准确，有效地部分替代了副司机的职能，受到了现场的好评。本系统还作为“铁路机车单值乘可视化安全监测预警系统的开发与应用”项目的有机组成部分，获得了“2013年甘肃省机械工程学会科技进步二等奖”称号，得到了专家和社会的认可。

参考文献：

- [1] 马潮. AVR单片机嵌入式系统原理与应用实例 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [2] 沈建良. ATmega128单片机入门与提高 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版, 2009.
- [3] 沈立春, 林红, 邓欣. 自动语音提示系统在焦炉生产中的应用 [J]. 测控技术, 2012, 31 (9): 141-143.
- [4] 郭治国, 许新伟, 苗卫东. 全自动站场信息无线语音提示系统设计 [J]. 铁道运输与经济, 2005, 27 (6): 68-69.
- [5] 王崇华. 机车语音记录装置的改进 [J]. 铁路计算机应用, 2013, 22 (7): 51-54.
- [6] 颜秋容, 于涛, 田利伟, 等. 车站列车进站语音提示与报警系统 [J]. 铁道运输与经济, 2007, 29 (7): 43-45.

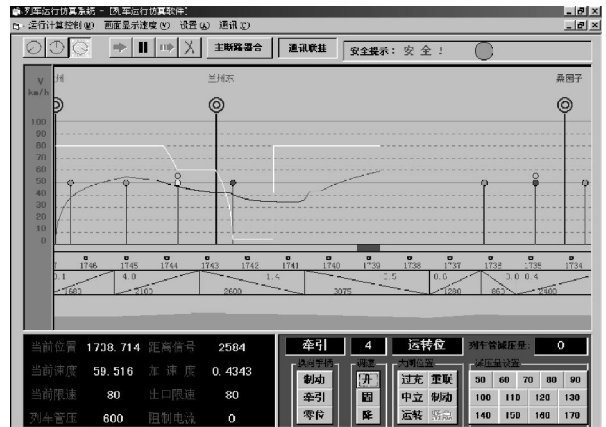


图8 地面专家分析系统
Fig. 8 Expert analysis system

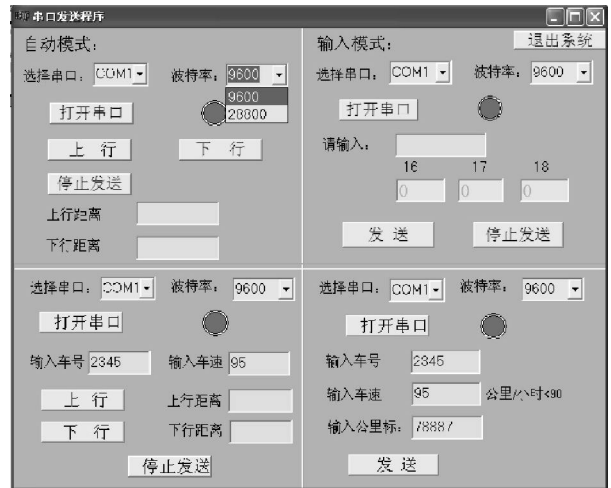


图9 测试软件界面
Fig. 9 Testing software interface

[责任编辑 杨 屹]