

文章编号: 1007-2780(2007)06-0774-06

## 基于 MSP430 飞机空调车人机界面的设计与研究

刘同杰<sup>1</sup>, 胡 兵<sup>1</sup>, 李会容<sup>2</sup>

(1. 西华大学 电气信息学院, 四川 成都 610039, E-mail: liutongjie1984@163.com;

2. 攀枝花学院 电气信息学院, 四川 攀枝花 617000)

**摘 要:** 针对军用飞机空调车人机界面耐温性差与性价比低的问题, 以及对数据的实时采集和存储要求比较高的特点, 文章以超低功耗单片机 MSP430F147 为核心, 研究开发了具有海量存储与超宽温功能的人机界面系统, 使得技术人员维修设备时间缩短了 40% 左右, 大大降低了维修成本。利用直接嵌入仿真技术, 通过对软、硬件的在线仿真调试, 采用军用环境可靠性设计, 实现了该人机界面在极限军用环境中连续无故障运行超过一年, 普通技术人员维修复杂设备的目标。这一设计已成功应用于飞机空调车系统中, 且人机界面具有稳定性强、实时性好、性价比高等优点。

**关 键 词:** 飞机空调车; 人机界面; 海量存储; 超宽温; MSP430F147**中图分类号:** TN27 **文献标识码:** A

## 1 引 言

随着我国航空武器装备的发展, 飞机地面保障技术已成为部队战斗力的重要组成部分, 成为影响航空武器装备全寿命期费用的重要因素。机载电子设备维护的好坏, 取决于维护该设备的工作环境条件。技术保障的好坏, 将直接影响机载电子设备的维护、部队的飞行训练以及作战效能。为此应运而生且逐步发展的飞机空调车就是飞机地面保障设备的重要产品。飞机空调车是一种用于飞机着陆后或起飞前的机舱空气调节的机场地面保障设备, 是可移动式独立运行全新风空调机组。当今, 国外的飞机空调车在控制、显示方面大部分采用机械式控制和仪表显示。而国内的厂商主要采用 PLC (Programmable Logic Controller) 控制和触摸屏显示。对于国外的产品其缺点在于不方便用户控制和监视, 检修麻烦; 而国内的产品在触摸屏上有很大的缺陷, 由于触摸屏价格昂贵, 不能在高低温下正常工作、不具备海量存储功能, 造成产品的整体性能差<sup>[1,2]</sup>。因此针对国内、国外的这些问题, 结合市场, 我们对产品进行了独立开发, 尤其是人机界面方面 (Human Machine Interface, HMI) 上, 我们针对飞机空调车应用的特

殊性进行了专门的研制。

## 2 飞机空调车系统组成

飞机空调车系统主要由动力、传动、冷却、加温、控制、自检、操控、电气、车体等系统组成。其中电气控制系统是飞机空调车的重要组成部分, 由它控制整个设备的运行。如图 1 所示。控制系统以西门子 S7-200 PLC 为核心, 通过数字输出模块控制着制冷制热机组的运行, 模拟量输入模块实现对温度、压力等参数的采集, 经 PLC 的相关程序的处理来控制各电磁阀、风阀的工作, 从而实现整个机组的良性运转。人机界面系统采用 PPI 协议, 通过 RS485 总线与控制单元西门子 S7-200 握手通讯, 实现对系统的操作和现场各设备的监控管理, 并能以图形的形式实时显示系统运行状态, 实现参数现场设置、故障信息报警、历史数据海量存储等功能, 从而实现了人机界面良好的交互功能。

在本设计中, 采用模块化思想, 将单片机独立作为人机界面的核心控制器, 并且在整个系统中处于主机地位。-40~85℃超宽工作温度的 LCD (Liquid Crystal Display), 用于适应极限军用工作环境<sup>[3]</sup>。USB 芯片用于对整个系统运行状况

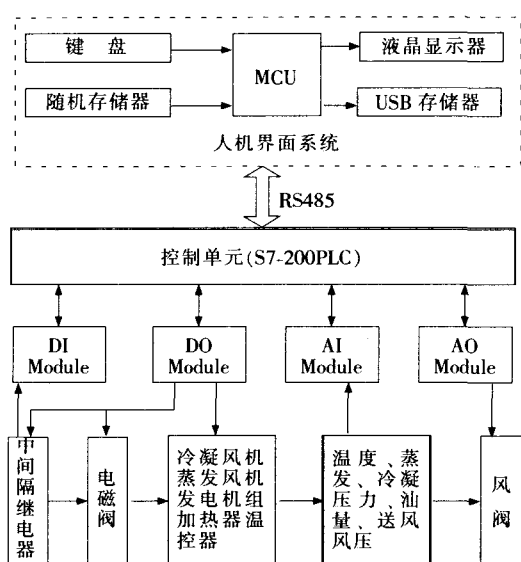


图 1 飞机空调车控制系统硬件结构示意图

Fig. 1 Hardware structure of air-condition unit for aircraft control system

历史记录的海量存储,通过对历史记录的查询,以方便维修人员及时对设备进行检修和维护。

### 3 人机界面的硬件设计

系统采用美国 TI 公司的 MSP430F147 超低功耗处理器、RAMTRON 公司的 FM24C64 铁电存储器、南京沁恒公司的 CH375 芯片和 TRULY 公司的 T6963C 的超宽温液晶显示器和键盘构成,系统硬件电路如图 2 所示。

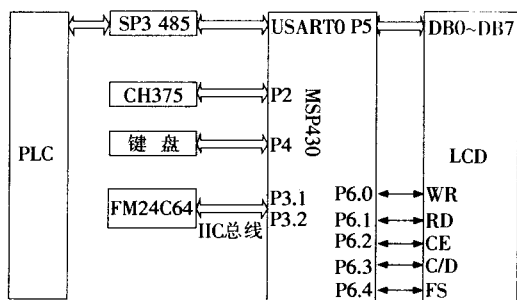


图 2 飞机空调车人机界面硬件电路图

Fig. 2 Human machine interface hardware circuit of air-condition unit for aircraft

电路中用 MSP430F147 的串口接收 PLC 传来的数据,经 RS485 通讯,通过 MSP430F147 单片机的 I/O 口送给 LCD 进行显示,完成 PLC 对显示终端的控制和数据传输。图 2 中 MSP430F147 的 P2 为 CH375 芯片的数据口,P3.1、

P3.2 为 FM24C64 的 IIC 总线接口,P4 为键盘接口,P5 作为 LCD 显示数据(或指令)的通讯口,P6.0、P6.1 分别为 LCD 的写操作信号、读操作信号,P6.2 为 LCD 的片选信号,P6.3 为 LCD 的数据、指令选择信号。

在键盘设计上,系统的键盘形式采用的是单键输入式键盘,整个键盘由 7 个键组成,用于实现整个人机界面系统菜单的查询设置功能。其中 4 个键用于方向转换,另 2 个键为复用键,用于翻页、设置等功能,最后一个键为确认键,用于确认各种参数的设置等功能,通过一键多功能的设计,大大简化了系统的操作;在显示设计上,为了达到设计要求,采用了  $-40 \sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$  T6963C 驱动的超宽温 LCD,其具有  $320 \times 240$  的显示能力,采用  $16 \times 16$  中文字体的情况下可最多显示 15 行。整个参数预置部分采用整屏显示,分别采用  $16 \times 16$  中文汉字和  $16 \times 8$  点阵的西文字符,在友好界面中滚屏显示;在数据存储电路设计上,使用了两片数据存储芯片——CH375 与 FM24C64<sup>[4]</sup>。CH375 作为主机 USB 芯片,完成在飞机空调车运行过程中每隔 10 s 对各设备运行状况及其实时数据的采集,如压缩机超压反馈故障、制冷温度  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、PID 调节故障等信息,由于此芯片内置了处理 Mass-Storage 海量存储设备的专用通讯协议的固件,因此在 USB 设计上大大缩短了开发的周期。FM24C64 铁电存储器与传统的 EEPROM 存储芯片相比有以下几个优点:(1)总线频率最高可达 1 MHz,可跟随总线速度写入,无须等待时间,10 亿次以上的读写次数;(2)FM24C64 不仅包含了 RAM 技术优点,同时还拥有 ROM 技术的非易失性特点,在掉电存储时数据量大、时间短。这些特点正好迎合了本项目对人机界面读写速度快、寿命要求长、数据保存安全期长等要求,因此我们将 FM24C64 用于存储汉字以及对有效数据进行掉电保护功能。

## 4 人机界面软件设计

### 4.1 人机界面菜单功能设计

人机界面是 PLC 控制系统的重要组成部分,它是用户与系统直接打交道的人机交互式接口,画面设计的好坏关系到 PLC 控制系统的用户使用性能。画面的设计一般从可交互性、信息、显示、数据输入等方面考虑,遵从以下原则:(1)界

面要求美观简洁,界面中菜单、命令输入、数据显示等应保持风格一致;(2)界面的设计应该让用户操作方便,并设计帮助系统,用户能及时获得操作帮助;(3)界面的设计应考虑操作的安全性,对某些关键的参数输入,应让用户确认,并可设置密码保护。本设计可实现中、英文两种文字互换以供用户选择,由于屏面积相对较小,所以尽量做到一屏显示多条菜单,以实现多种功能,其中主界面设置了“系统参数设定”、“机组运行监控”、“实时数据监控”、“时间统计查询”、“历史数据查询”5个菜单,同时可以在任何界面通过选择“English”或“中文”进行中英文切换,也可以在任何界面中通过选择“主菜单”跳转回主界面。系统开机时首先显示欢迎画面然后进入主界面<sup>[5]</sup>。人机界面总体功能结构如图3。

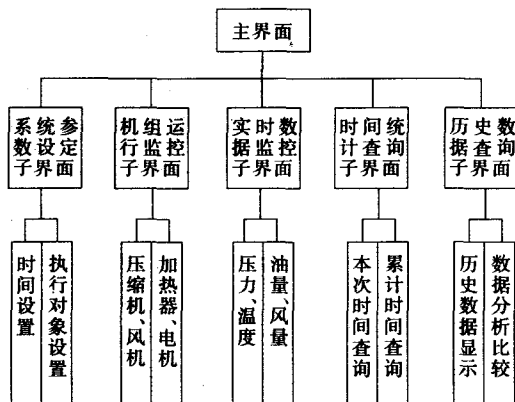


图3 人机界面总体功能结构图

Fig. 3 Function structure of HMI

其中主界面可以完成对各子界面的调用。系统参数设定子界面实现了设定系统时间、所需要的温度、气压等多种功能,并可以对控制对象及控制目标值进行设置,完成对各执行机构的控制;机组运行监控子界面包括显示和控制风机、压缩机、加热器、发电机等多项功能,可以对各种机构的运行情况进行实时监控。此外,当系统出现故障报警时,系统会自动弹出相应的故障信息对话框,从而方便维护人员及时发现故障点,以迅速对其进行处理;实时数据子界面可以显示系统当前压力、温度、油量等各种参数值,用数字、图表等多种形式实时显示传感器采集来的数据;时间统计查询子界面能够显示机组运行的总时间以及本次运行的时间;用户可通过历史数据查询子界面对历史

数据进行统计和处理,进行现场显示,同时也可以通过U盘对历史数据进行海量存储,通过EXCEL文档导入电脑建立数据库进行查看,这样这台设备的“终身健康状况”将全部存入电脑中,通过这种方式可大大缩短设备维护人员进行检修的时间,同时也节省了用于设备维护的费用。

#### 4.2 人机界面系统软件设计

系统与PLC采用异步传送方式进行数据的传输。通讯参数设置波特率为9 600,8个数据位,CRC校验。人机界面系统软件设计流程图如图4,整个程序由若干个功能相对独立的模块组成,从结构上划分为初始化程序、中断服务程序、USB存储程序、铁电存储器读写数据程序与PLC通信程序。程序首先对液晶显示器初始化,然后读铁电存储器与CH375,完成对最近一次的设置参数读出和CH375的初始化。液晶显示器显示初始界面后,系统开始对键盘初始化并打开中断。在等待和判断是否有键按下时,若判断为有键按下时,则读取键值,继续执行下一步,等待和判断是否设置键,若判断不需设置键时,则直接执行命令,若需设置键时,则判断是否确定,若判断确定,则重新从读取键值循环一次,若判断否,则执行命令。

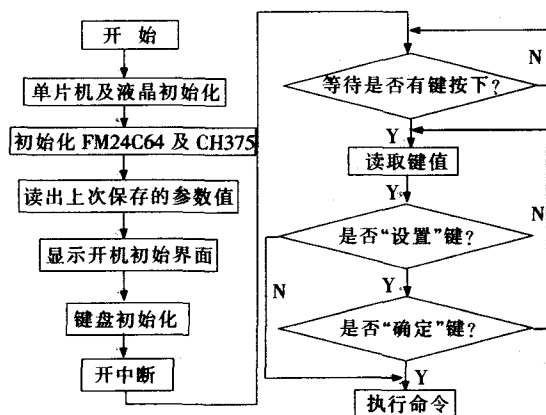


图4 人机界面系统软件流程图

Fig. 4 Software flow chart of HMI system

T6963C驱动芯片上的指令代码如表1所示,共有12条指令。这些指令决定对液晶模块进行什么样的操作,所以在每一次写数据之前都要先写入指令代码。通常启动LCD顺序是:初始化-写指令代码-写数据-开显示。

LCD终端显示软件设计流程图如图5,程序

表 1 16963C 指令表  
Table 1 T6963C instruction

指令名称	控制状态			控 制 状 态							
	1	0	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
读状态字	1	1	0	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0
地址指针设置	1	1	0	0	0	1	0	0	N2	N1	N0
显示区域设置	1	1	0	0	1	0	0	0	0	N1	N0
显示方式设置	1	1	0	1	0	0	0	CG	N2	N1	N0
显示状态设置	1	1	0	1	0	0	1	N3	N2	N1	N0
数据自动读写设置	1	1	0	1	0	1	1	0	0	N1	N0
数据设置	1	1	0	1	1	0	0	0	N2	N1	N0
数据(一字节)设置	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
位操作	1	1	0	1	1	1	1	N3	N2	N1	N0
数据写操作	0	1	0			数			据		
数据读操作	0	0	1			数			据		
光标形状设置	1	1	0	1	1	0	0	0	N2	N1	N0

代码按功能不同分为不同的模块,写指令代码、写数据为最基本的模块。但要注意的是,每一次对 LCD 操作之前(包括写指令、写数据、读数据)都要先读出状态字,以判别 T6963C 是否处于“忙”的状态,只有在它不“忙”的时候,对 LCD 操作才是有效的。另外值得注意的是 MSP430F147 内部没有锁频数字逻辑电路,为得到准确的时钟信号需要通过软件进行“软锁频”,利用 7.68 MHz 晶振和 Timber A 或 Timber B 的捕获比较功能可以实现。主频的选择将影响 LCD 显示的稳定

性,如果程序中控制(P6.2)有效时间过短的话,显示效果将会不稳定,所以程序中对显示信号要适当延时。

## 5 军用环境可靠性设计

该人机界面的应用对象是航空地面设备,在外场使用,工作环境条件非常恶劣,所以在设计过程中我们从硬件和软件两方面充分考虑可靠性设计,为此在硬件方面主要采取了以下措施:(1)对电路模块进行了三防处理,三防处理是为了让电路模块适应沙尘、盐雾、霉菌(潮湿、淋雨)恶劣气候环境下的工作。三防处理实质上是在电路模块上喷涂 TP-3 的三防涂料,该涂料能有效地抵御沙尘、盐雾、淋雨对电路模块的影响,使用方便,但对高密度插件进行处理时,要谨慎小心,因为该涂料是绝缘的,处理不好会导致接触不良;(2)冲击和振动将引起连接器松动、脱落,导线应力拉断,电子盘读写出错等,造成系统工作不正常甚至崩溃。针对这种情况,我们在该系统中采取了减振措施,在人机界面与工作台面之间加上防振垫,以防止冲击、振动拉断导线;(3)在抗干扰性设计上,通过使用铝合金机箱和支架防护 EMI(electromagnetic interference),达到电磁兼容的目的,同时在电路设计时也考虑了对传导型 EMI 的

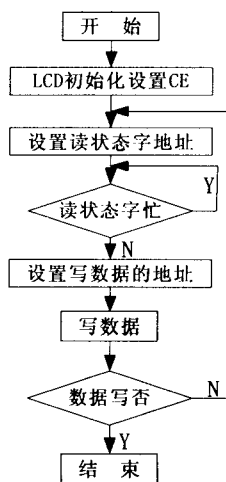


图 5 写数据流程图

Fig. 5 Flow chart writing data

防护<sup>[6]</sup>。

在软件方面,由于考虑其工作在恶劣的电磁环境中,当干扰侵入系统核心,使程序计数器“PC”内容出错,就会造成程序失常,使程序无序运行,运行的结果可能进入“死循环”,使系统失控。因此,为了使单片机忍受这种错误,我们对软件抗干扰采用了以下 3 个措施:

(1)指令冗余技术,就是在关键地方人为插入一些单字节指令,或将有效单字节指令重写。本项目中在双字节指令和三字节指令后有意插入两个字节以上的 NOP,并在 LCALL、RET、JC、RETI、LJMP 等指令之前插入两条 NOP。这样即使在有干扰信号的情况下,系统也可将乱飞程序纳入正轨,确保这些重要指令的执行,从而提高了系统的稳定性。

(2)软件陷阱技术,其实质就是用一条引导指令,强行将捕获的程序引向一个指定的地址,在那里有一段专门对程序出错进行处理的程序。此次实验中我们将捕获的乱飞程序引向复位入口地址 0000H,并且在 EPROM 中非程序区填入以下指令作为软件陷阱: NOP, NOP, LJMP 0000H, 其机器码为 0000020000。在程序中未使用的 EPROM 空间填 0000020000。最后一条应填入 020000,当乱飞程序落到此区,即可自动入轨。在用户程序区各模块之间的空余单元我们也填入了陷阱指令,本系统中采用 NOP, NOP, RETI, 当使用的中断因干扰而开放时,在对应的中断服务程序中由于设置了本条指令,因此能及时捕获错误的中断。此外考虑到程序存贮器的容量,我们在 1 K 空间

设置了 2~3 个陷阱。

(3)看门狗技术,用来检测软件和硬件的运行状态,当内部计数器溢出时,将产生一个复位信号,如果不明的原因使 CPU 中断程序,看门狗将产生一个复位信号,比如系统在受到电磁干扰使进入一个死循环或者 CPU 的程序运行到了不确定的程序空间,从而使系统不能正常工作。在这种情况下,看门狗电路将产生一个复位信号,使 CPU 复位,程序从系统软件的开始执行,通过这种方式,看门狗有效地提高了系统的可靠性<sup>[7~9]</sup>。

实验结果表明:由于从软、硬件上采用了军用可靠性设计,尤其是软件抗干扰技术的应用,使得该人机界面连续无故障运行超过一年多,彻底改变了在实验室时,由于受到了强烈的电磁干扰而导致的数据显示不稳定,人机界面易死机的局面。

## 6 结 论

介绍了飞机空调车人机界面的设计与实现。系统具有故障显示、故障定位、超宽温以及海量数据存储功能,操作人员不仅可以在人机界面上观测到现场设备运行状态实时数据和现场的开关量状态,同时也可以在控制室数据库中查找到设备状态的历史数据和曲线分析,很好有效地解决了部队条件下的快速检测、调试和维修的难题。随着我国和世界航空事业的突飞猛进发展,无论民用航空客机还是军用飞机,其保有量都成倍增长,至使对飞机空调车的需求量越来越大。因此本产品具有广阔的市场和很好的实用价值。

## 参 考 文 献:

- [1] 朱倩. 我国国产飞机保障装备存在的问题及建议 [J]. 江苏航空, 2004, 12(2): 42-46.
- [2] 黄静静, 孙毅刚. 即热式飞机除冰车设计中的关键技术研究 [J]. 航空维修与工程, 2006, 8(5): 38-42.
- [3] 苗裕. 利用 c8051f023 单片机对点阵型液晶模块的低温测试 [J]. 液晶与显示, 2006, 21(1): 63-67.
- [4] 黄海宏, 王海欣. 液晶显示汉字的字模提取新方法 [J]. 液晶与显示, 2005, 20(4): 346-349.
- [5] 张平均, 黄家骏. 点阵式液晶显示模块的旋转式菜单设计 [J]. 液晶与显示, 2005, 20(4): 342-345.
- [6] 朴燕. 小型 LCD 模块的抗干扰技术的研究 [J]. 液晶与显示, 2007, 22(1): 79-82.
- [7] Park Shinuk, Sheridan T B. Enhanced human-machine interface in braking [J]. IEEE. Trans. Man-Machine Syst. 2004, 34(5): 615-622.
- [8] Endo M, Koide S, Misono S. Development of human-machine interface composed of virtual reality and interface agent on process plant operation [J]. IEEE, Trans. Man-Machine Syst. , 2005, 25(5): 512-518.
- [9] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.

## Design and Study on Human Machine Interface of Air-condition Unit for Aircraft Based on MSP430

LIU Tong-jie<sup>1</sup>, HU Bing<sup>1</sup>, LI Hui-rong<sup>2</sup>

(1. School of Electric and Information Engineering of Xihua University,

Chengdu 610039, China, E-mail: liutongjie1984@163.com;

2. School of Electric and Information Engineering of Panzihua University, Panzihua 617000, China)

### Abstract

Considering the problem of bad resistant temperature and low performance-to-price ratio in military human machine interface(HMI) of air-condition unit for aircraft, the HMI based on MSP430F147 with mass storage and over wide temperature is developed under the high command of real time data collection and data save, which makes the time that a technician repairs equipments reduce 40 %, so it also reduces the repaired cost massively. Hardware and software are simulated on-line by the method of direct embedded simulation technology, and the design to reliability in military condition is applied, by which, this HMI can be used in limited military environment without any failures over 1 years and a common technician can repair complex equipments easily. This design has been already applied in air-condition unit for aircraft successfully, it has many advantages such as strong stability, good real-time, high performance-to-price and so on.

**Key words:** air-condition unit for aircraft; human machine interface; mass storage; over wide temperature; MSP430F147

作者简介:刘同杰(1984—),男,江西乐平人,硕士研究生,研究方向为电能质量监测。

### 《液晶与显示》投稿指南

《液晶与显示》投稿方式为网上投稿。网上投稿便于您随时查询稿件的处理情况,方法为:登录本刊网站 <http://www.yejingyuxianshi.org>, 进入“作者投稿”栏目,在线注册投稿。注册时“用户名”和“口令”由您设定,登录后按“提示”进行操作即可。稿件请用 Word 完成,采用通栏排版,以便专家网上审理。

《液晶与显示》稿件发表的正常周期为 3~6 个月,缩短论文发表周期是学术论文的社会效益尽早实现的重要条件,而满足《液晶与显示》征稿简则,特别是第 3 项中(1)~(7)的要求,是稿件可以尽早编辑加工的必要条件。因此,若您希望论文能够早日发表,请您务必按“简则”写稿。

若您的稿件附有同行专家评语及单位推荐信,则您的稿件将优先发表,也欢迎您推荐 2~3 名审稿专家;同时,本刊更欢迎国家各重大科技攻关项目和基金课题产出的自主创新性文章。

《液晶与显示》稿件发表含印刷版、电子版和网络版,对版权有特殊要求者,请事先声明。