

基于 IAP 在线仿真技术的多功能单片机实验板

徐玮巍, 张 强, 高 颂, 孙晨晨, 成 杰, 叶文武, 徐寅林

(南京师范大学物理科学与技术学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 传统的单片机实验箱通常体积大不易随身携带,最大的缺点在于这些单片机在不借助于外部专用仿真器的条件下,难以实现在线调试,从而导致实验开发效率低。本文采用以 MCS-51 系列内核的 IAP15F2K61S2 单片机为核心,并利用 IAP 在线仿真技术解决了在不需专用仿真器的情况下对程序进行调试的难题,提高了编程效率。且本套实验板运用模块化的硬件设计方法,在不减少硬件资源的情况下做到了小型化,方便随时随地进行实验。

[关键词] 单片机实验板, IAP 在线仿真技术, 在线调试

[中图分类号] TH711 [文献标志码] A [文章编号] 1672-1292(2018)02-0043-07

Multifunctional Experimental Board of MCU Based on IAP Online Simulation Technology

Xu Weiwei, Zhang Qiang, Gao Song, Sun Chenchen, Cheng Jie, Ye Wenwu, Xu Yinlin

(School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Traditional MCU experiment boxes are usually limited in resources and difficult to carry around. The biggest disadvantage is that these MCUs are difficult to implement online debugging without the aid of external dedicated simulators, which results experimental development in inefficiency. Therefore, this paper uses the core of IAP15F2K61S2 microcontroller with MCS-51 as a core, and uses IAP online simulation technology to solve the problem of debugging the program without special simulator, and improves the programming efficiency. In addition, it adopts the modularized hardware design method to achieves miniaturization without reducing the hardware resources and facilitates experiments at any time and place.

Key words: experimental board of microcontroller, IAP online simulation technology, online debugging

微机原理及单片机应用是大学本科电子及其相关专业的必修专业基础课程。传统的单片机实验设备一般为带专用仿真器的实验箱或者业余单片机开发板。仿真实验箱实验资源多但往往体积较大价格昂贵,学生必须在专业实验室分组轮流实验,实验课时受到很大限制。简易开发板虽然体积小携带方便,但程序设计基本是靠下载机器代码进行盲测,调试手段落后。由于受到课时及实验条件的限制,多数学生仅仅是理论知识丰富,实际的应用能力较差。鉴于此,本文设计了一种高性价比、便携式并且可在线仿真的多功能实验板。学生无需专用仿真器件便可方便在线仿真和调试单片机程序。实验板体积小,可随身携带,作为口袋实验室随时随地都可进行实验。同时实验板上设计有丰富的模块化的硬件设计结构,学生可根据自己的需求,灵活选取这些模块完成实验,也可以在毕业设计、创新实践及电子设计大赛等场合作为电子测量控制的核心板使用。

1 IAP 在线仿真技术

1.1 IAP 在线仿真技术原理

目前,先进的单片机实验是“Proteus 软件模拟仿真”与“单片机开发板的在系统验证”相结合的模式。但是若没有单步、断点等专业调试功能来调试单片机应用程序,在进行程序的查错和纠错时,会大大降低效率,

并且缺乏调试手段的实验,不利于理解单片机应用程序,影响学习效率^[1-2]. 在线仿真技术颠覆了这种低效率状态,在线仿真是一种在线系统调试方案,它利用实际的单片机应用系统环境,并结合计算机仿真软件进行系统调试,使得仿真运行效果与实际的运行效果完全一致. 它可以让单片机以单步、跟踪、执行到光标处、设置断点、全速运行等模式来执行程序. 并且每执行一行程序,就可以观察该行程序执行完毕后的效果. 因此,在线仿真是单片机应用系统,开发过程中的重要步骤与调试手段^[3-4].

MCS-51 系列单片机使用哈佛结构的存储器体系,数据存储器 RAM 和程序存储器是分开的. 早期国内许多专业仿真器,将 RAM 作为数据、程序共同的存储器,技术上通过 WR 修改 RAM 内容,利用“与门”将 PSEN、RD 合用达到实时执行 RAM 片内程序的目的. 本质上是将 MCS-51 存储器哈佛结构转换为了冯诺依曼结构,这样数据存储器既可存储数据,又可作为程序执行的单元,在程序运行过程中任何一个单元均可任意修改.

IAP 即在应用中可编程技术,在系统运行的过程中能够动态修改程序存储器内容. 这是仿真功能的关键. 其底层技术是在结构上将 FLASH 存储器映射为多种存储区,当运行在一种存储区上的程序时,可对另一种存储区重新编程. IAP15F2K61S2 单片机的仿真技术是 STC 公司推出的最新技术,它采用了基于 IAP 的“软”核技术实现硬件仿真的功能. 对于 IAP15F2K61S2 而言,用户可以使用的最大程序空间为 60 KB,整个 FLASH 空间划分,内部 FLASH 划分图如图 1 所示.

FLASH 空间中,从地址 0000H 开始的连续 60 KB 的空间为用户程序区,紧接其后的是 0.5 KB 的用户 IAP 区. 我们预先向用户 IAP 区烧录一段仿真固件程序,该固件程序主要负责两部分的工作. 一部分工作是在线烧录程序,即将用户的程序下载到 FLASH 中用户程序区. 另外一部分工作是进行用户程序的仿真工作. 其基本原理是当进入仿真调试模式时,程序时刻运行在仿真固件的代码空间. 当开发者点击程序运行按钮后,Keil 发出一个运行命令帧给单片机,单片机解析此命令帧后,立刻保存仿真固件程序运行的各种运行环境至缓存中,接着程序跳转到用户的代码空间去运行. 一旦开发者点击暂停/停止运行按钮,Keil 发出一个暂停/停止命令帧给单片机,单片机解析此命令帧后,立刻将用户代码空间的各运行环境,如 PC 指针、PSW、各种寄存器的值等数据保存至缓存中,然后跳转执行仿真固件程序,接着将最近一次存入缓存中的用户程序的各种运行环境数据信息发送给 Keil,并由 Keil 软件把这些数据解析出来. 这样开发者就可以通过 Keil 软件监控到 IAP15F2K61S2 单片机中的各种属性信息. 当开发者查看某一个变量值时,Keil 软件会根据该变量的地址,发送一个请求该变量值的数据帧给单片机,单片机解析到此帧数据后,把从此地址上读取相应的值回送给 Keil,Keil 软件收到数据后,把变量的值显示出来供开发者查看.

1.2 IAP 在线仿真环境的搭建

1.2.1 仿真芯片的配置

打开 6.36 及以上版本的 STC-ISP 软件. 进行“Keil 仿真设置”选项卡的设置,芯片仿真环境的相关配置. 如图 2 所示.

先添加型号、头文件和 STC 仿真器驱动到 Keil 中,之后进行 STC Monitor-51 仿真芯片设置,将 IAP15F2K61S2 设置为仿真芯片,此时将会向单片机用户 IAP 区中烧入一段 IAP 程序,这样配置好后 IAP15F2K61S2 就已经具备了仿真能力,不需要增加任何额外的硬件.

1.2.2 Keil 软件的仿真环境的搭建

Keil 软件是开发单片机应用程序的主流软件,它不仅可以方便地编辑汇编和 C 程序,再编译链接生成机器码,还可以对程序进行模拟仿真和在线仿真. 通过简单的配置就可以进行在线仿真,主要在菜单栏中点击 Project→Options for Target,进入“Debug”选项卡,在右侧的下拉列表中选择“STC Monitor-51 Driver”项,如图 3 所示,并且进入 Settings 中设置对应的串口号和波特率. 此时该单片机便可进行仿真,可见不需

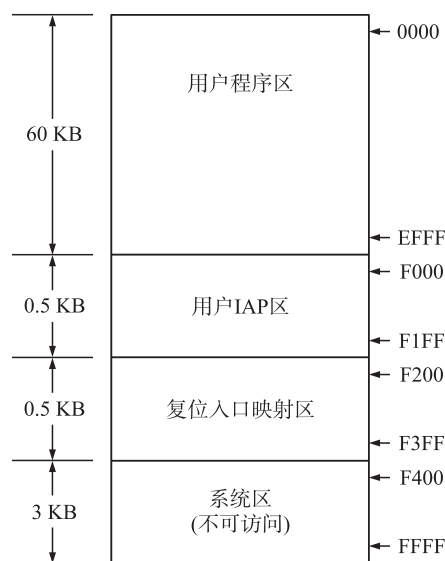


图 1 内部 FLASH 划分图

Fig. 1 The diagram of internal FLASH partition

要增加任何外围电路和昂贵的仿真器,便可通过串口利用 Keil 软件的单步、跟踪、断点、执行到光标、全速运行模式对目标程序进行仿真调试^[5]。在调试时,既可以在 Keil 软件的调试界面上观察程序中的变量值,也可以检查程序的运行结果是否和预期的结果一致。有了如此便捷的在线仿真功能,在进行实验或者开发项目时便可快速排错并进行单元模块程序的测试,显著提高了开发的效率。

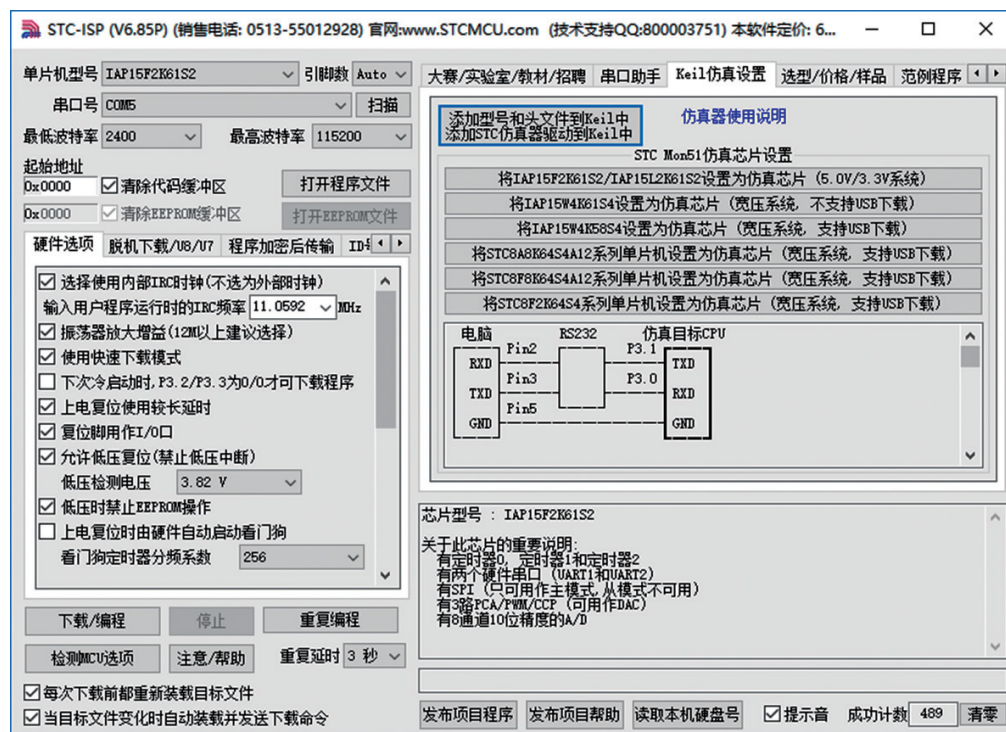


图 2 STC-ISP 配置界面

Fig. 2 The diagram of STC-ISP configuration

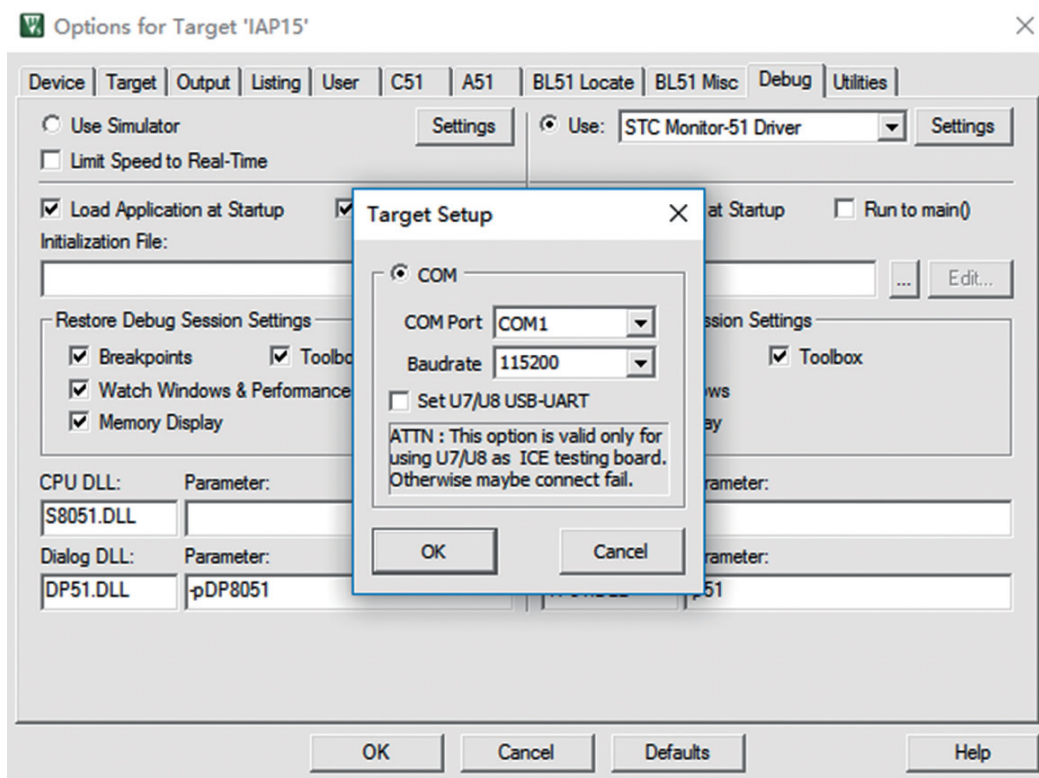


图 3 Keil 软件的仿真配置界面

Fig. 3 The diagram of Keil software simulation configuration

2 系统硬件组成设计

实验板板载了 MCU、EEPROM、A/D 转换器、D/A 转换器、时钟芯片、4 位数码管、液晶显示、温度传感器、无源蜂鸣器、红外对管等。系统结构框图如图 4 所示。

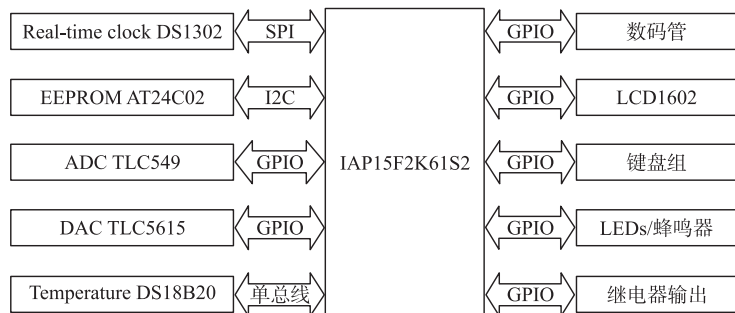


图 4 实验板结构框图

Fig. 4 The diagram of the experiment board structure

(1) MCU: 选用了 IAP15F2K61S2, 它是 STC 生产的单时钟机器周期的单片机, 是高速和超强抗干扰的新一代 8051 单片机, 其指令代码完全兼容传统的 8051, 但是速度提高 8~12 倍, 内部集成高精度 RC 时钟和高可靠的复位电路, 可以彻底省去外部昂贵的晶振和外部复位电路。并且它还内置 61 KB 的 FLASH 和 2 KB 的大容量 SRAM, 2 组高速串行通信端口, 1 组高速的同步串行通信接口 SPI^[6]。

(2) 时钟芯片: DS1302 是低功耗的实时时钟片上方案, 它采用一种 SPI 三线接口与 MCU 进行同步通信, 而且它的突发模式一次可以传送多个字节。它可提供秒、分、时、日、星期、月和年, 一个月小于 31 天时可以自动调整, 且具有闰年补偿功能。工作电压宽达 2.5~5.5 V。

(3) EEPROM: 因为 AT24C02 支持 I²C 协议, 占用 GPIO 资源少, 只需要 2 个 GPIO 就可以操作 AT24C02^[7], 这样便可方便将一些系统参数和校准数据等数据存储起来。同时还可以引入 I²C 协议的教学内容。

(4) A/D 转换器: TLC549 是 TI 公司生产的一种低价位、高性能的 8 bit A/D 转换器。它与微处理器之间采用简单的三线串行接口, 可应用于一些对成本敏感的测控应用系统。

(5) D/A 转换器: TLC5615 是具有串行接口的数模转换器, 其输出为电压型, 最大输出电压是基准电压值的两倍。带有上电复位功能, 即把 DAC 寄存器复位至全零。适用于数字失调与增益调整以及工业控制场合。

(6) 温度传感器: DS18B20 主要负责采集环境的温度。它工作电压为 3.0~5.5 V, 测量的范围是 -55~125 ℃, 在 -10~85 ℃ 的情况下精度为 ±0.5 ℃。提供 9~12 bit 的分辨率, 在 12 bit 的分辨率下转换一次最大需要 750 ms。本实验板使用较为精简的 TO-92 封装, 通过采用单总线和微控制器进行通信。

(7) 输入和显示组件: 键盘组、红外对管、LEDs、4 位数码管和 LCD1602。利用这些资源可方便地构建出人机交互界面。

基于以上模块化的电路, 通过此实验板可方便进行基础性实验, 并且可以快速搭建出测控系统的原型。

3 实验板应用实例

在熟悉各模块的实验前提下, 可基于此实验板设计一些单片机应用系统, 现以实现“水槽恒温控制系统”为例, 其示意图如图 5 所示。分析该套系统的功能需求后, 选取实验板的 DS18B20 温度采集电路, 如图 6 所示。继电器驱动电路如图 7 所示。数码管驱动显示电路, 如图 8 所示。用于输入信息的键盘组电路, 如图 9 所示。用于主控的控制器电路, 如图 10 所示。

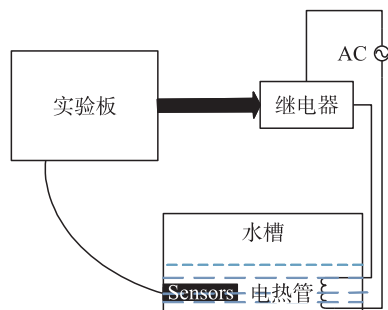


图 5 水槽恒温控制示意图

Fig. 5 The diagram of tank temperature control system

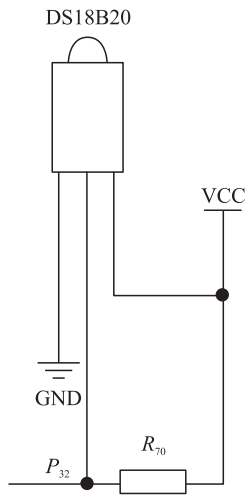


图 6 温度测量电路

Fig. 6 Temperature measurement circuit

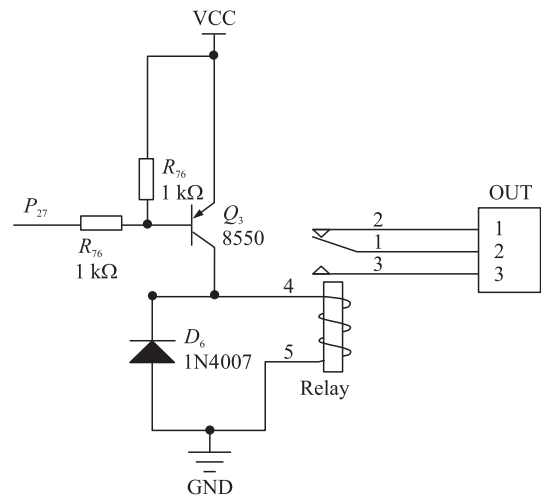


图 7 继电器驱动电路

Fig. 7 The diagram relay drive circuit

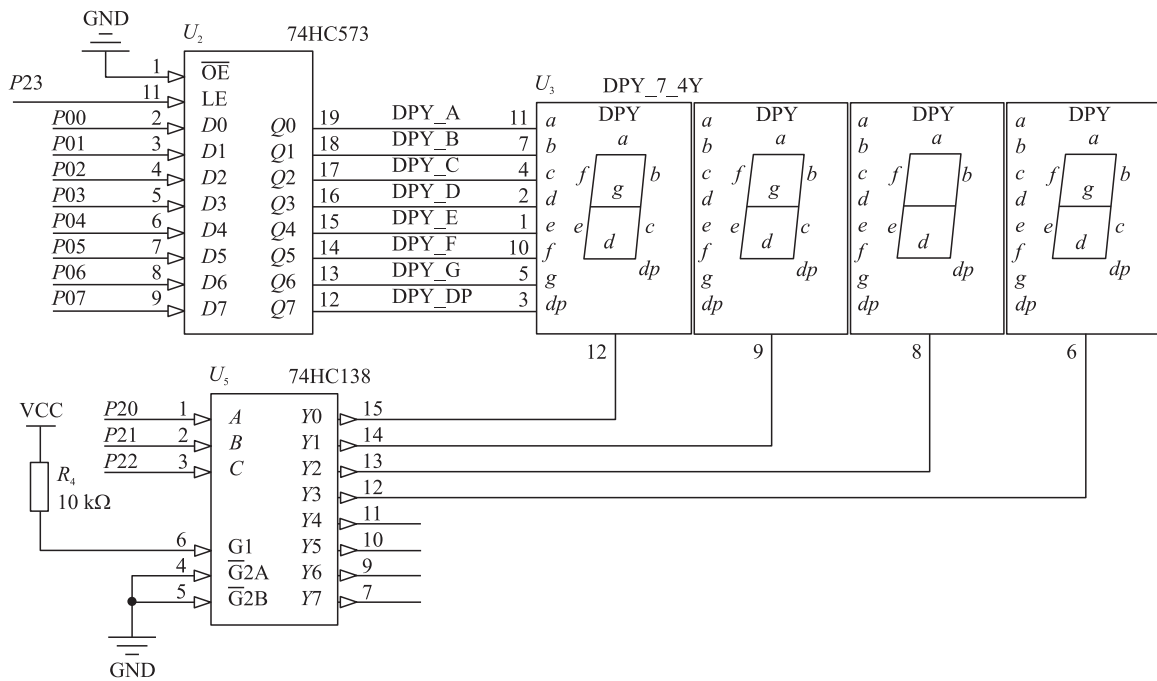


图 8 数码管驱动显示电路

Fig. 8 The diagram of digital tubes display driver circuit

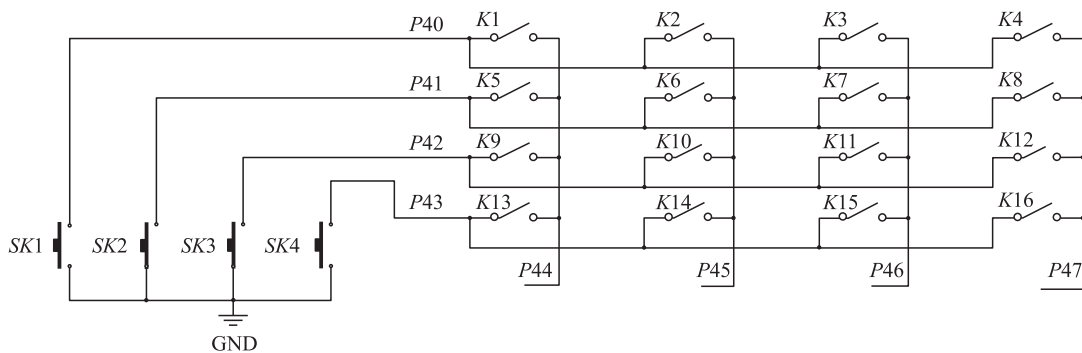


图 9 键盘组电路

Fig. 9 The diagram of keyboard group

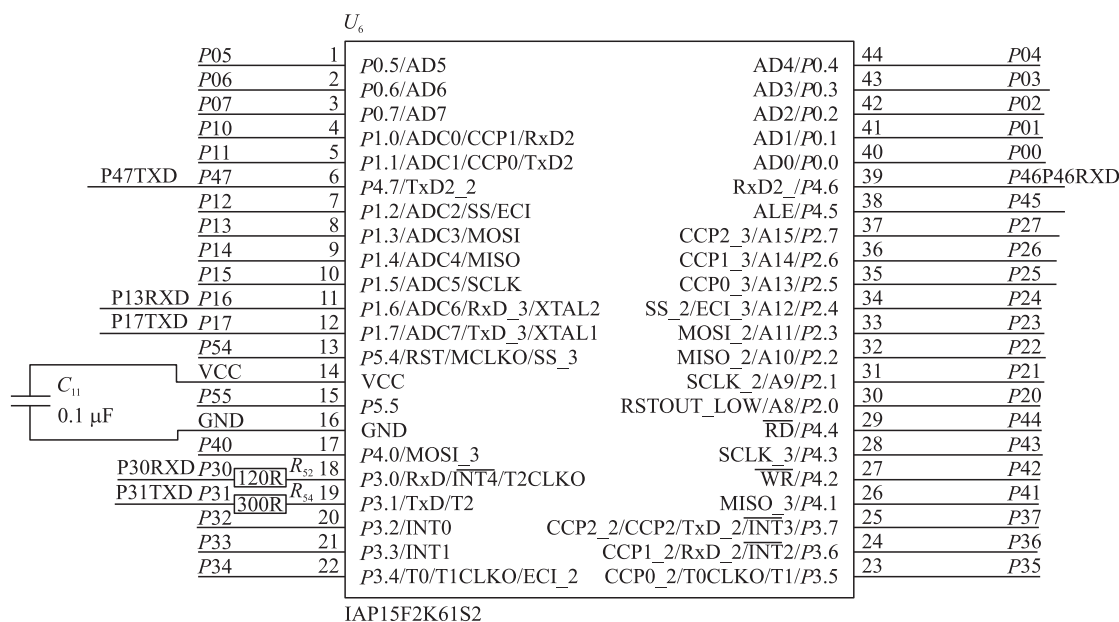


图 10 主控制器电路

Fig. 10 The diagram of main controller circuit

在程序设计方面,上电初始化后,先通过键盘组设置所需要的恒温温度,接着按“开始”键接通继电器加热控制,然后每隔 100 ms 采样一次温度,根据实测温度和目标设定温度差值去控制继电器通断。由于本实验室以单片机编程练习为主要目的,而非研究控制算法,从而加热元件采用开关控制,但其无法实现连续的 PID 控制算法,因此在该实验中,我们采用 bang-bang 控制算法,基本控制流程如图 11 所示。

4 结语

该实验板已由南京师范大学物科院电子类专业的学生所使用。经过实践证明,基于 IAP 在线仿真技术的多功能单片机实验板小巧易用,不但能够使学生快速掌握单片机应用程序的设计和调试方法,使学生的实践能力和创新能力都有了显著的提高。同时能保持实验教学与市场人才的需求同步,培养与社会“零衔接”的人才,这是当代人才培养的教育理念,更是单片机应用技术人才培养过程所提倡和追求的^[8]。

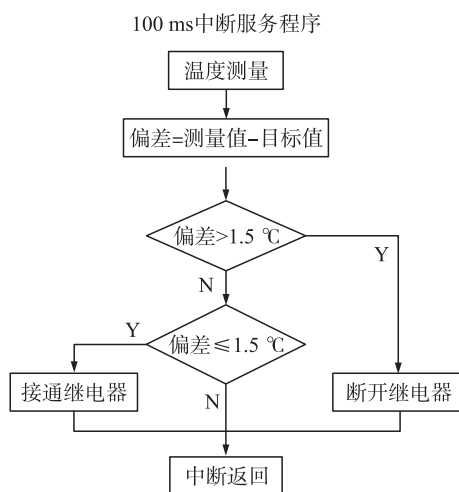


图 11 bang-bang 控制算法的应用流程图

Fig. 11 The flow chart of the bang-bang control algorithm in the system

[参考文献] (References)

- [1] 杨琳,高宏亮. 以提高学生兴趣为导向的单片机实验课改革[J]. 实验室科学,2013,9(4):95-98.
YANG L,GAO H L. Experiment teaching reform aimed at improving the interest of students[J]. Laboratory science,2013,9(4):95-98.(in Chinese)
- [2] 黄克亚. 基于虚拟仿真和 ISP 下载的 AVR 单片机实验模式研究[J]. 实验技术与管理,2013,30(8):81-85.
HUANG K Y. Research of AVR experimental mode based on virtual simulation and ISP download[J]. Experimental technology and management,2013,30(8):81-85.(in Chinese)
- [3] 丁向荣. 增强型 8051 单片机原理与系统开发[M]. 北京:清华大学出版社,2013:86-96.
DING X R. Principle and system development of enhanced 8051 single chip microcomputer[M]. Beijing:Tsinghua University Press,2013:86-96.(in Chinese)

- [4] 丁向荣. 单片机微机原理与单片机应用技术[M]. 北京:电子工业出版社,2012:32-34.
DING X R. Microcomputer principle and application technology of single chip microcomputer[M]. Beijing:Publishing House of Electronic Industry,2012:32-34.(in Chinese)
- [5] 丁向荣. 基于 IAP 在线仿真技术 提升单片机实验技术水平[J]. 实验技术与管理,2014,31(3):82-94.
DING X R. Improving experimental technology level of single chip microcomputer based on IAP online simulation technology[J]. Experimental technology and management,2014,31(3):82-94.(in Chinese)
- [6] 汪文立,王琪,丁柏文,等. 基于 IAP15F2K61S2 单片机的无线语音智能小车[J]. 机械制造与自动化,2018,47(1):187-189,196.
WANG W L,WANG Q,DING B W,et al. Wireless voice intelligent vehicle based on IAP15F2K61S2 MCU[J]. Machinery manufacturing and automation,2018,47(1):187-189,196.(in Chinese)
- [7] 宋雪松,李冬明,崔长胜. 手把手教你学 51 单片机(C 语言版)[M]. 北京:清华大学出版社,2014:363-364.
SONG X S,LI D M,CUI C S. MCS-51 course:step by step(C programming language)[M]. Beijing:Tsinghua University Press,2014:363-364.(in Chinese)
- [8] 孟雷. 应用型本科院校单片机实验教学改革探讨[J]. 现代商贸工业,2013,24(8):129-130.
MENG L. Discussion on the reform of experimental teaching of single chip microcomputer in application-oriented universities[J]. Modern business trade industry,2013,24(8):129-130.(in Chinese)

[责任编辑:陈 庆]