



## 强化过程考核的单片机实验设计

张伟涛, 袁晓光, 全英汇, 任爱锋, 楼顺天

(西安电子科技大学 电子工程学院, 西安 710071)

**摘要:** 面向工程应用的单片机实验大多以开放实验室的方式开展教学, 而过程考核一直以来是开放式实验课考核的难点, 同时实验师资的相对匮乏更进一步增加了过程考核的难度。针对以上问题, 设计和实现了一套单片机实验教学管理系统, 系统包含实验数据管理的硬件平台和上位机软件。硬件平台以双精简指令集处理器(ARM)为核心, 预留了连接学生实验板的通信接口, 设计了统一的通信命令, 实现了管理系统对实验板的自主认证, 并自动存储学生实验数据, 提高了学生开展实验的灵活性。教师可通过上位机软件读取学生实验过程中上传的数据, 全面跟踪学生实验进展情况, 缓解了单片机实验过程考核难题, 有利于推广使用。

**关键词:** 单片机; 过程考核; 开放实验室

中图分类号: TP311.1

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20230149

## Single-chip Microcomputer Experiment Design with the Goal of Strengthening Process Assessment

ZHANG Weitao, YUAN Xiaoguang, QUAN Yinghui, REN Aifeng, LOU Shuntian

(School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** Most of the single-chip microcomputer experiments for engineering applications are conducted in open laboratories, and the process assessment has always been the difficulty of the assessment for open laboratory courses. In the post-epidemic era, the less gathered requirement and the lack of experimental teachers further increase the difficulty of the process assessment. In view of the above problems, an experimental teaching management system is designed and implemented for single-chip microcomputer experiment, which includes the hardware platform and the host computer. The hardware platform takes dual advanced RISC machine (ARM) as the core, which communicates with the experimental board designed by students via the serial interface, and uses the unified communication command to authenticate the experimental board. It also automatically stores the experimental data, which improves the flexibility for students to carry out experiments. Teacher can find out and read the experimental data through the host computer software, comprehensively tracking the progress of the students' experiment, which alleviates the difficulties of process assessment. The experience can be extended to other experimental courses.

**Key words:** single-chip microcomputer; process assessment; open laboratory

新工科建设是教育强国的重要组成部分, 作为一种新型工程教育, 其目标是面向未来培养多元化、创新型卓越工程人才。因此新工科建设必须严把出口关, 对人才培养质量的考核尤为重要, 从本科教学层面上来讲, 对学生学习课程进行全方位、多角度的考核是新工科建设的内在要求<sup>[1-2]</sup>。实验教学是理论教学的有效补充, 是学生通过动手实践消化吸收课堂所学知识的重要手段。对于课堂教学而言, 除了考试外, 还可通过

平时作业、课堂互动、课程设计答辩等环节实现多角度考核。然而实验实践类课程考核手段相对较为单一, 要实现多元化的考核相对困难, 目前的考核方式很难满足新工科建设的需求。

单片机原理与应用的实践教学是电子信息、计算机、自动化类专业课程体系中的重要一环, 它以数字电路、微机原理、编程语言等课程为基础, 后续为仪器仪表、自动控制、监测与测量等多门课程提供服务, 同时也有力地支撑了学生参与科技竞赛

收稿日期: 2023-03-28; 修回日期: 2023-05-07

基金项目: 国家自然科学基金(62071350); 教育部产学研合作协同育人项目(202102278057)。

作者简介: 张伟涛(1983-), 男, 博士, 教授, 主要从事机器学习、嵌入式系统设计与开发方面的研究。E-mail:

zhwt-work@foxmail.com

和课外科技活动。单片机技术类课程的教学目标与考核目标应同时兼顾对结果与过程的考核,然而大部分高校开设的单片机实验课目前只重视对实验报告、实验结果演示等结果性考核,而忽略了学生实验过程的考核<sup>[3]</sup>。在工程教育专业认证“复杂工程问题”理念对课程考核方式提出多样化要求的背景下,有必要加强单片机实验课程的过程考核力度。为此,本文设计了新的实验平台,并在新实验平台上设计了实验案例,从技术层面上解决单片机实验课程考核工具不便、手段不足的问题。

## 1 实验教学考核难点与需求分析

### 1.1 过程考核难点分析

传统实验教学以实验报告、实验结果演示作为课程成绩的主要评判标准,这种实验课考核方式过于片面,无法体现学生通过解决复杂工程问题提升综合能力的过程。实验教学的目的是让学生将理论知识内化为工程实践能力,因此除了重视常规的实验结果和实验报告外,还应关注学生在开展实验过程中的问题分析、方案设计、程序流程、仿真与调试方法以及工程规范性等方面的表现。对于高校开设的单片机实验课程而言,大概有两种类型,一种是配合单片机课堂教学的一般性原理认知实验<sup>[4-5]</sup>,主要是让学生在给定的单片机实验板上完成诸如 LED 闪烁实验、定时器实验、A/D 转换实验、中断实验、串口通信实验等,目的是增强学生对单片机基本功能的认知。这种类型的单片机实验主要考察的是学生的编程能力,对于此类型的实验若缺乏过程考核,那么学生间抄袭程序代码将不可避免,所得成绩难分伯仲,也无法真实反映知识的掌握程度。另一种单片机实验是面向工程应用的综合案例开发实验<sup>[6-10]</sup>,它要求学生以单片机为核心设计和实现能够解决某一领域工程问题的功能电路,目的是培养学生综合运用单片机原理的知识解决实际问题的能力。对这种类型的单片机实验,若缺乏过程考核,那么学生的方案设计、电路调试以及工程规范性等能力水平将很难反映在最终成绩中。

单片机实验课程的过程考核当前面临两个问题:第一,随着高校扩招,学校实验场地、仪器设备、元器件等实验资源变得相对匮乏,很多高校现有的实验资源已不能满足全体学生短期内同时开展实验,只能通过错峰和开放实验室等手段来缓解<sup>[11]</sup>,这将导致实验课教师无法全程跟踪学

生的实验过程。第二,我国科技自立自强的形势越来越紧迫,青年教师大多选择了科研为主的岗位,从事实验教学的青年教师越来越少,实验课师资队伍正在不断萎缩。随着实验课老教师的陆续退休,有些高校甚至出现了实验课教师青黄不接的现象,萎缩的师资力量也必然导致单片机实验课过程考核困难。

### 1.2 需求分析

解决单片机实验课程过程考核难题,除了进一步完善管理制度外,更多的是需要技术手段的支持。为了在资源有限、师资匮乏的条件下加强单片机实验教学的过程考核,有必要设计一套单片机实验教学的管理系统。本文针对面向工程应用的案例开发型单片机实验教学,分析了过程考核实验管理系统应具备的功能。

1) 实验管理系统应该包含硬件平台和嵌入式软件,硬件平台负责与学生设计的功能电路完成物理连接,嵌入式软件负责硬件平台与实验板的数据交换和数据存储。管理系统通过采集和存储实验板运行数据,可以记录学生调试实验板的各项数据,作为过程考核的重要依据。

2) 针对不同的实验板,实验管理系统的硬件平台能够为实验板供电,且能够完成对不同实验板的检测与识别,建立数据链路,并与实验板进行数据交换。实验板检测与识别功能允许学生根据自身情况利用课余时间灵活开展实验,实验数据均能准确记录,教师无须全程进行实验过程的跟踪。

3) 实验管理系统的硬件平台能够实现显示实验板数据的功能,方便学生在调试实验板时即时查看通信数据,了解实验板状态,查找问题。

4) 管理系统有配套的上位机软件,能够随时读取并显示管理系统硬件平台存储的学生实验板运行数据,方便教师在不同时间了解每一组学生的实验进展情况,缓解师资匮乏问题。

## 2 实验管理平台设计与实现

为满足以上实验教学需求,开发面向工程应用的单片机实验案例,设计了单片机实验教学管理系统,系统由单片机实验管理硬件平台和上位机组成,硬件平台主要负责采集和存储实验数据,上位机软件负责从硬件平台读取和查看学生的实验过程数据。

基于此实验教学管理系统,教师可面向不同的

工程应用, 开发相应的实验案例。基于单片机实验教学管理系统的实验模块如图1所示, 学生针对特定实验案例, 设计以单片机为核心的解决方案, 并以制作实验板的形式实现解决方案。实验板与硬件平台可通过预留的接口进行连接, 并完成数据交换, 保存在硬件平台中的学生实验数据可通过上位机软件读取并显示。教师根据采集的数据了解实验进展情况, 完成学生实验过程的考核。

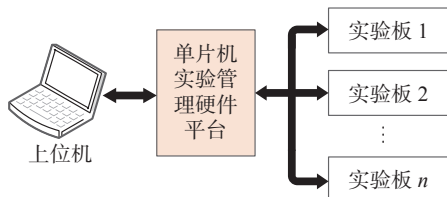


图1 基于单片机实验教学管理系统的教学模式

可以看出, 通过设计实验管理系统, 学生可根据自身学习情况灵活安排时间完成单片机实验, 实验过程中的数据会自动记录在管理系统硬件平台。同时, 教师也可根据自身教学安排灵活地在上位机上读取和查看学生实验数据, 避免了实验过程考核必须师生面对面交流的限制。需要注意的是, 硬件平台无法同时连接多个实验板, 学生应错峰分时开展实验。由于不同小组分时开展实验, 教师利用多套单片机实验管理系统可考察几十个, 甚至上百个小组的实验进展情况, 缓解了实验课师资匮乏的状况。

### 2.1 硬件平台设计

实验管理系统硬件平台以双 ARM 处理器为核心来构建, 设计的硬件平台与实验板的连接关系如图2所示, 主要由 ARM 处理器、电源模块、触摸屏模块、存储模块, 以及通信与供电模块组成。硬件平台是通用的实验平台, 通过通信与供电接口连接面向不同应用设计的单片机实验板, 实现了对实验板的供电、认证、通信, 以及实验

数据的采集与存储、人机交互与显示等功能。同时, 通信与供电接口也是硬件平台与上位机通信的接口, 由于实验管理系统与实验板和上位机没有大量数据传输的需求, 因此均采用通用异步收发器 (universal asynchronous receiver/transmitter, UART) 完成数据传输的任务。

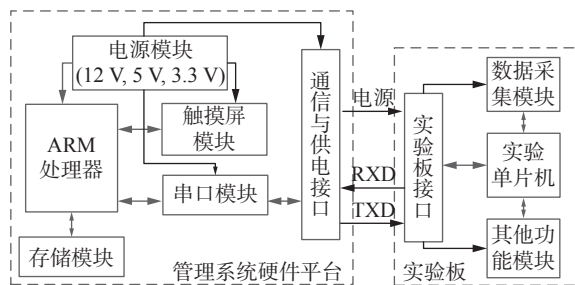


图2 实验板与实验管理系统硬件平台配合工作原理图

硬件平台电源模块不仅为平台自身提供所需电压, 也通过通信与供电接口为实验板供电。电源模块采用 12 V 的直流电源供电。由于各个模块所需的供电电压不同, 如双 ARM 控制器需 3.3 V, 触摸屏需 5 V, 部分实验板需 12 V, 因此需将 12 V 电压转换为模块所需的工作电压。以 12 V 转为 3.3 V 为例, 电压转换电路如图3所示。RT8272 为高压降压转换器, 宽输入电压范围为 4.75~24 V, 输出电压可调范围为 0.92~15 V, 满足所需的转换要求。SW 引脚为电源开关输出, 经过稳压二极管 D<sub>6</sub>、LC 滤波器连接到输出负载, 稳压后去除纹波, 输出电压可通过 FB 引脚的反馈参考电压和 R<sub>31</sub>、R<sub>32</sub> 的分压比例计算得出。图4为实验板数据采集输入接口电路, 由于不同实验板用于解决不同的工程应用问题, 实验板的信号差异较大, 信号电平有 5 V, 也有 3.3 V, 有些实验板上还可能在大功率器件, 为了可靠地实现对实验板的监测, 使用光电耦合器 TLP281-4 对实验板信号与硬件平台信号进行了隔离。

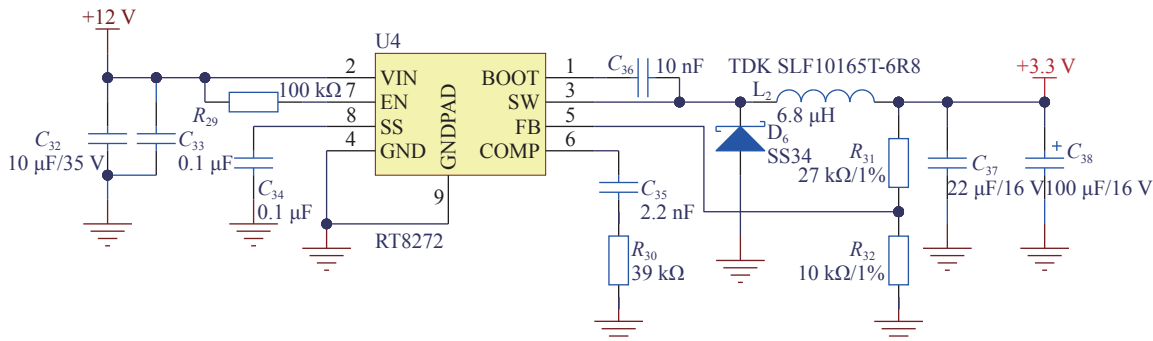


图3 电源模块电路原理图



双 ARM 处理器的最小系统电路原理如图 5 所示，其中 STM32F205 芯片为硬件平台的主控制器，主要负责实验数据存储、资源管理与人机交互；STM32F103 芯片为从控制器，用于对实验板的认证、通信，以及通过主动采集实验板 MCU 的输出信号实现对实验板工作状况的监测。

主从控制器相互配合，与实验板通过 UART 串口和 GPIO 引脚进行连接，采集实验板数据并完成存储。一方面，主控制器利用 RXD 和 TXD 信号与实验板进行串口通信，通过发送认证命令，并接收实验板反馈的认证编码实现对实验板的识

别。另一方面，主控制器利用 RXD4 和 TXD4 信号与从控制器实现通信，发送采集信号命令，并利用引脚 ST1~ST8 接收从控制器分析处理实验板数据后反馈的有效实验数据，将数据存储于 FLASH 存储器中。此外，主控制器利用 RXD1 和 TXD1 信号完成对 LED 触摸屏的控制，实现人机交互功能。从控制器接收主控制器的启动采集命令，通过 I/O 口采集由光电耦合器件隔离后输入的实验板信号 P1~P3 和 DI1~DI5，然后对采集的信号进行分析，判断数据有效性，监测实验板工作情况，并将有效数据通过引脚 ST1~ST8 发送给主控制器。

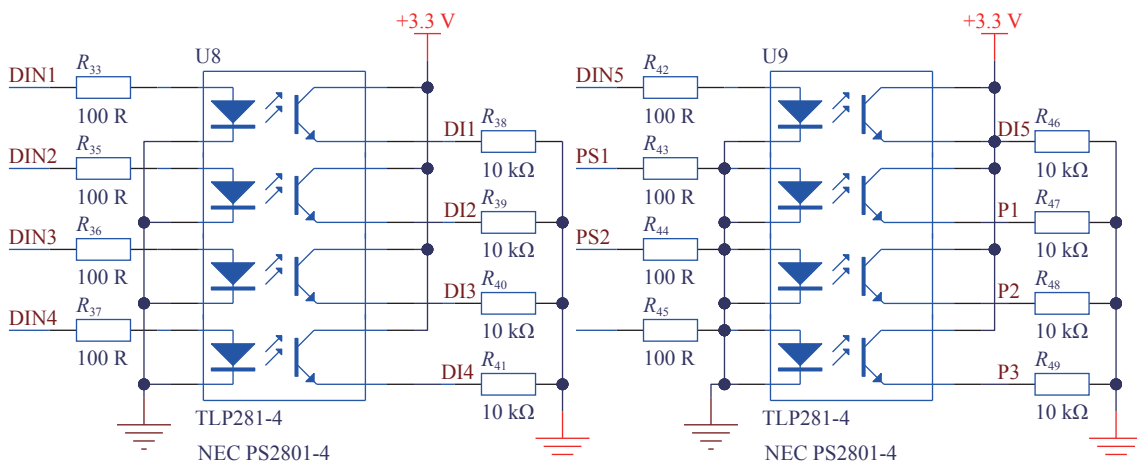


图 4 实验板数据采集输入接口电路原理图

## 2.2 管理系统软件设计

由于管理系统硬件平台必须面向多个不同应用连接对应的学生实验板，实现特定功能，因此管理系统的软件设计主要实现硬件平台与实验板的认证、通信和数据存储功能，图 6 给出了 ARM 主控制器的工作流程。为了方便对实验板的调试测试以及直观查看实验数据，采用触摸屏提供人机交互界面实现按键输入和显示输出。

系统开始工作时触摸屏上显示的界面如图 7 所示，界面给出了实验管理硬件与实验板的 5 线接口，并设计了触摸按键“开始”。界面中的次数表示已经保存的实验数据组数，时间信息则用于记录存储实验数据的时间，方便上位机查看学生开展实验的时间。当实验板连接好并准备就绪后，用户通过点击“开始”按键来开启认证功能。实验板在收到连接命令后发送唯一的认证特征码，然后由硬件平台的 ARM 主控制器根据获取的特征码进行处理和校验，并在认证成功后向实验板回复认证结果，建立通信链接，最终由 ARM

主控制器启动从控制器，由从控制器接管相应实验板的处理任务，并将有效的实验数据反馈给主控制器，实现数据存储。

### 2.2.1 数据帧格式与认知通信

硬件平台与实验板和上位机均采用串口方式通信，串口采用 TTL 电平，波特率为 19200 bit/s，帧格式为：1 位起始位，8 位数据位，无奇偶校验位，1 位停止位。约定数据格式如表 1 所示，数据帧头固定为 0xE5，数据帧尾固定为 0xE6，命令码用于指示消息类型，长度表示数据域的字节长度，FCS 为 1 个字节的校验码，用于数据查错，它是从命令码到数据域之间字节数据在模 256 下的累加和。

当实验板连接硬件平台后，管理系统先对实验板进行检测和识别，为了有效区分实验板，必须为每个实验板分配一个唯一的特征码。表 2 给出了特征码组成，其中系统码为系统指定的 3 个字符；实验板代码用于区分不同的单片机应用实验案例；编号表示选择某一个实验案例的组别的编码，用于区分不同完成人设计的硬件实体。

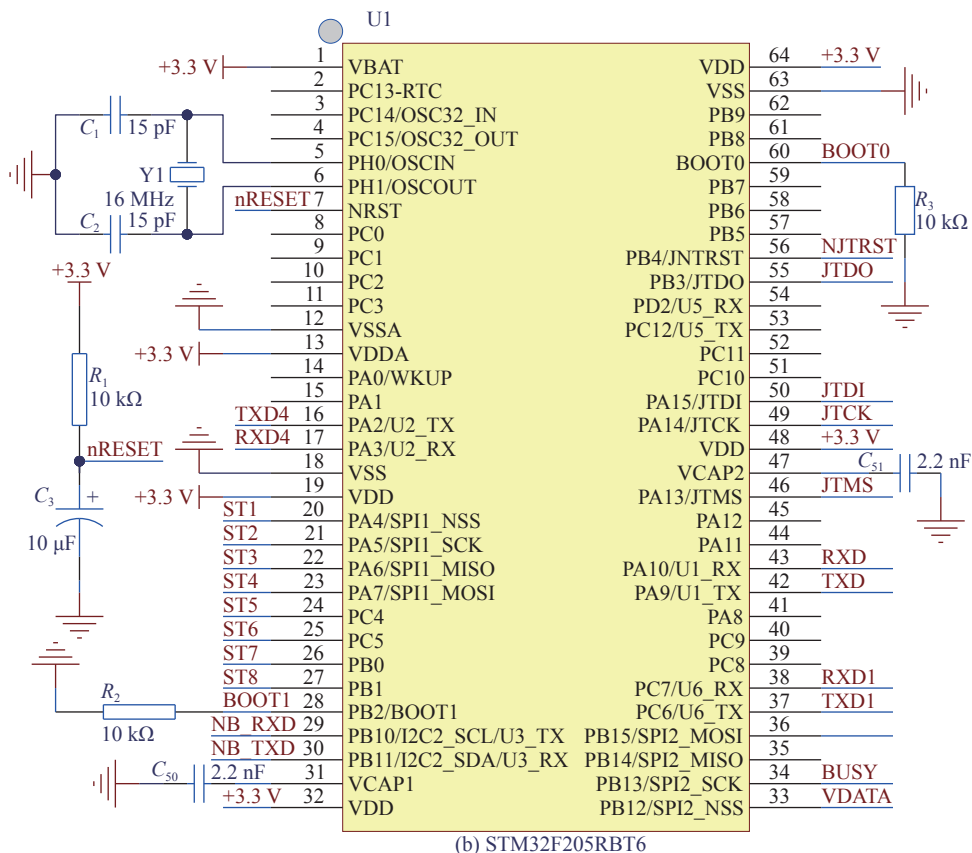
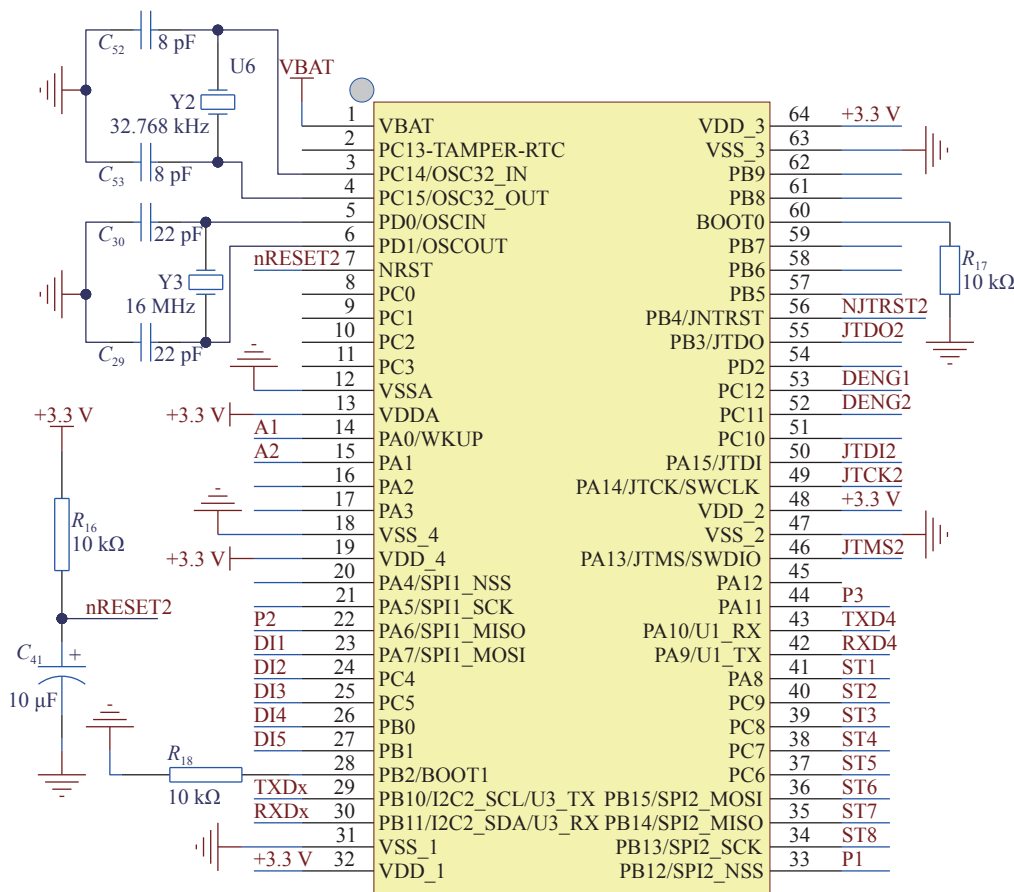


图 5 双 ARM 处理器最小系统电路原理图

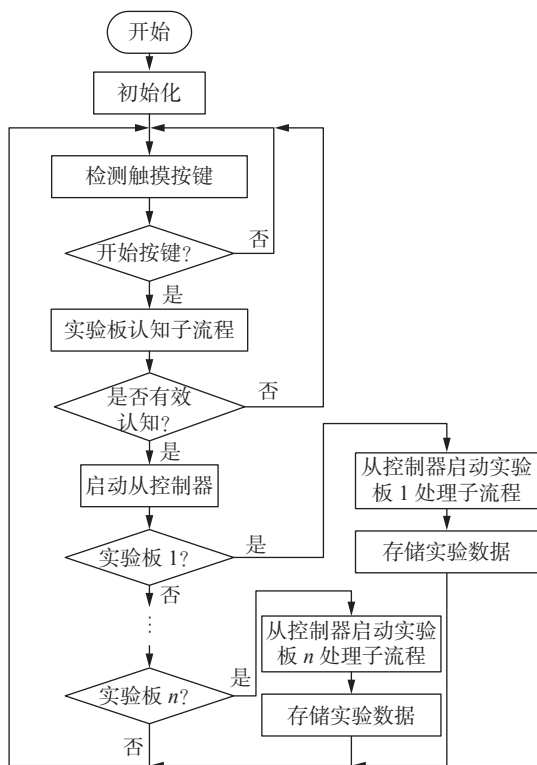


图 6 ARM 主控制器工作流程图



图 7 硬件平台数据显示界面

表 1 通信协议帧格式

名称	帧头	命令码	长度	数据域	FCS	帧尾
字节数	1	1	1	$n$	1	1
内容	0xE5	xx	$n$	$x_1, x_2, \dots, x_n$	xx	0xE6

表 2 实验板特征码格式

特征码组成	系统码	实验板代码	编号
占用字节数	3 字节	2 字节	4 字节
示例	XD_	03	0001

实验板认证流程如图 8 所示，首先由硬件平台通过发送命令与实验板建立连接，然后开启定时器，设定等待接收特征码的时间；在设定的时间内，当硬件平台接收到实验板发送的数据后，判断是否为有效特征码数据，若为有效特征码则

将其保存，并从中提取实验板代码，判断是否为正确的代码，若是则认证成功，并向实验板回复认证结果。上位机在读取实验数据时，实验数据会按照实验板特征码进行分类，方便教师查看不同完成人的实验数据。

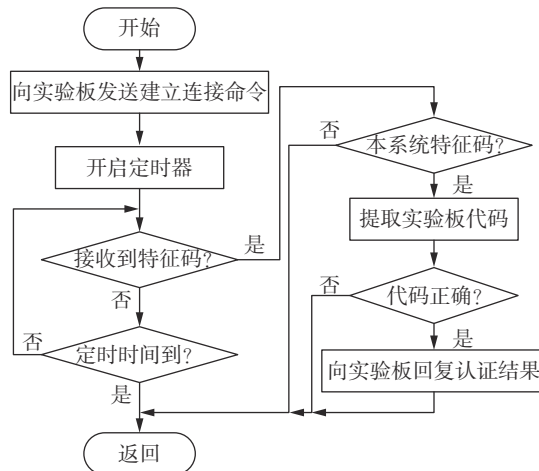


图 8 实验板认证流程图

### 2.2.2 实验板设计案例

为了展示单片机实验教学管理系统的教学效果，本节以一个简单的倾角测量实验为例来演示实验案例的开发。倾角测量实验目的是监测大型设备的倾斜度，防止设备在倾斜状态下工作，一旦发现便给出报警提示。因此学生针对这一工程问题设计的实验板应该包含 MCU 最小系统、角度测量模块和声光报警模块等。建议学生采用 ADXL345 模块，利用 3 轴加速度计来实时测量倾角。

对于实验管理系统的软件设计，首先应该在触摸屏上显示倾角测量主界面，设计的主界面如图 9 所示。程序应该具有期望角度和偏差阈值设定的功能，当角度实际测量值与期望角度偏差大于阈值时，对应的监测轴应该报警提示。对于学生实验板的程序设计，应该考虑两种模式：测量模式和设置模式，默认进入实验板的测量模式。程序应该读取 3 个轴的加速度值，进行运算后给出 3 个轴的倾角，最终根据测量结果进行相应的报警提示。

为了确保实验管理系统与实验板的正常通信，表 3 给出了设计的通信命令，其中“—”表示无数据域，设计的命令主要包括 3 个类别：建立连接、数据交互和结束，实验管理系统嵌入式程序和实验板程序均应按照表 3 给出的命令来完成通信。若实验板软硬件设计无误，并通过预留

的接口连接到实验管理系统硬件平台后,在管理系统触摸屏上应该能显示如图10所示的效果。若实验板有软硬件设计问题,学生应该自行调试解决问题,实验数据会自动保存到管理系统,供教师掌握学生实验过程情况。

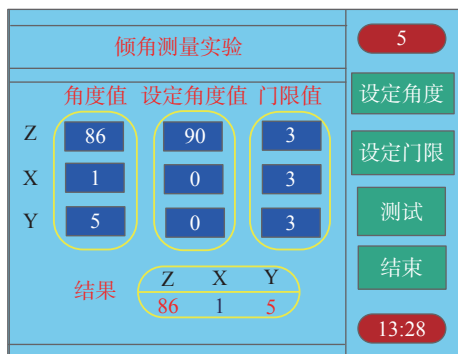


图9 倾角测量实验案例的主界面设计

表3 倾角测量实验通信命令

类别	命令码	数据域	功能
建立连接	0x01	—	接收“连接”命令
	0x05	特征码	发送实验板的特征码
	0x06	xx	接收连接确认信息, xx是实验板代码
	0x41	Z、X、Y	发送3个轴的角度测量数据, 每轴角度占2字节
数据交互	0x42	0x01/0x02	角度数据是否超限, 01: 超限, 02: 未超限
	0x43	0x01/0x02/ 0x03	3轴角度超限提示, 01: X轴, 02: Y轴, 03: Z轴
	0x44	—	设定门限值
	0x45	—	设定角度值
	0x46	0x01/0x02	模式切换命令, 01: 测量模式, 02: 设置模式
	结束	0x4C	—



图10 实验管理系统硬件平台连接实验板的工作效果

### 3 结束语

针对单片机实验教学过程考核难题, 本文

从技术层面上提出了加强过程考核的解决方案。面向工程应用型开放式单片机实验教学, 设计和实现了一套单片机实验教学管理系统, 它能通过预留的通信接口与学生设计的实验板连接, 利用统一规划的通信命令与实验板完成交互, 在学生进行实验板调试和观察实验结果过程中主动完成实验数据的采集和存储, 提高了学生开展实验的灵活性, 方便教师查阅学生实验过程数据, 实现了教师对学生实验过程的跟踪, 也从一定程度上缓解了实验课师资匮乏和实验场地不足的问题。

### 参考文献

- [1] 郭一军, 赵磊. “新工科”背景下《单片机原理及应用》课程教学研究[J]. 中国电力教育, 2021(2): 74-76.
- [2] 皮大能, 杨青胜, 南光群. 新工科背景下单片机原理与应用课程理论教学方法改革与实践[J]. 湖北师范大学学报, 2021, 41(1): 93-100.
- [3] 富雅琼, 许素安, 陈锡爱, 等. 基于“掌上实验室”的单片机课程考核方式探索[J]. 教育教学论坛, 2021(12): 121-124.
- [4] 闫龙, 张鑫, 张顺堂, 等. 教学-实验-实训三位一体的单片机教学改革探讨[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(8): 220-223.
- [5] 张蓓, 吕建勋, 张静, 等. “新工科”背景下单片机通识课教学改革[J]. 电气电子教学学报, 2022, 44(5): 37-41.
- [6] 陈军, 韩清华, 杨安迪, 等. 项目团队教学法在嵌入式单片机课堂的探索与实践[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(4): 232-235.
- [7] 尹爱兵. 面向工程应用的“单片机”课程教学改革[J]. 电气电子教学学报, 2020, 42(4): 64-66.
- [8] 刘波. 以项目为中心的单片机实验教学目标及方法探讨[J]. 教育教学论坛, 2021(22): 141-144.
- [9] 梁会军. 单片机课程项目化的改革与探索[J]. 教育教学论坛, 2022(43): 37-40.
- [10] 汪爱明, 刘纪伟, 李永兴, 等. 面向工程应用的单片机实验案例设计[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(6): 179-184.
- [11] 马春燕, 郑剑海, 王淑红, 等. 基于“口袋机”的“单片机原理与接口技术”课程开放式教学探索[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(4): 16-19.

编辑 葛晋