

智能硬件课程建设介绍及智能硬件教学仪的研制

王毅航 毛强 薛菲菲

西北工业大学计算机学院, 陕西 西安, 710029

摘要 针对本校理工科计算机硬件基础教学的特点, 开发并建设了智能硬件课程, 为之开发了配套的实验教学仪。该教学仪按照“口袋实验室”的理念进行设计, 严格控制体积和重量, 以方便同学们将教学仪带出实验室继续开展实验。在课程内容选择方面, 更多地考虑将智能时代的物联网、汽车总线、智能家居、工业现场总线、导航定位和图形识别等方面的内容。实验过程性考核突出新工科、工程认证的要求。相比于传统硬件教学的单片机、微机接口实验箱等设备, 新课程内容和形式在教学方面显现出独到优势。

关键字 计算机硬件实验教学, Arduino, 开源硬件, 微机接口, 单片机

Introduction of Intelligent Hardware Course and Development of Intelligent Hardware Teaching Instrument

WANG Yihang MAO Qiang XUE Feifei

School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi, 710129, P.R.China
wangyihang@nwpu.edu.cn, maoqiang@nwpu.edu.cn, xueff@nwpu.edu.cn

Abstract—Aiming at the characteristics of basic teaching of computer hardware for science and engineering in our school, an intelligent hardware course was designed and constructed, and an experimental teaching instrument was developed for it. The teaching device is designed in accordance with the concept of "pocket laboratory", and the volume and weight are strictly controlled to facilitate students to take the teaching device out of the laboratory to continue the experiment. In the construction of course content, more consideration is given to the emerging Internet of Things, automotive buses, smart homes, industrial field buses and industrial design. The operation process of the experiment meets the requirements of new engineering and engineering certification. Compared with traditional experimental equipment such as experimental boxes and online shopping kits, the prototype of the teaching instrument has been tried out, showing unique advantages in teaching.

Keywords—computer hardware experiment teaching, Arduino, open source hardware, microcomputer interface, single chip microcomputer

1 引言

高等院校针对非计算机专业的计算机硬件课程, 数微机接口和单片机两个方向占比最高。多年来, 微机接口以 intel 的 80x86 系列为主, 单片机又基本上以 8051 系列为主。虽然一些院校增加了 32 位 ARM 和 DSP 的教学内容^[1], 但也仅限于电子信息、自动化类的小范围专业课程。当下计算机硬件的发展与 20 年前已大有不同, 对大众而言, 智能手机的普及标志着计算机的发展进入到了“智能时代”, 课程组认为计算机硬件教学需结合智能时代特征进行内容更新, 与之配套的实验手段也需要及时改革。

2 传统计算机硬件教学的现状

本校针对理工科计算机硬件教学以“32 位微机原

*基金资助: 本文得到教育部产学合作协同育人项目(项目编号 202002301033、202102583036)的资助。

理与接口技术”课程展开, 该课程开出已 20 多年, 曾被评定为陕西省精品课程。课程内容讲述 8086 的机器模型、指令系统、汇编语言程序设计、接口部分讲述典型的接口芯片, 有 8255、8254、8259、ADC0809、DAC0832。32 位部分体现在寄存器宽度的变化、接口部分体现 32 位的内容未开展实验。

实验环节采用了本校自行研制的微机接口实验箱。实验箱基于扩展总线的方式。微机内部插接一块扩展卡, 实验箱上有典型的 I/O 接口芯片。这种方式下, 实验程序运行在实验室的微机 CPU 上, 扩展卡将计算机系统的 ISA 总线经过驱动后引到实验箱上, 或者扩展卡通过 PCI 桥 PCIe 桥把微机内扩展槽信号变成伪 ISA 总线的时序后引到实验箱上^[2]。微机操作系统的更新换代不停, 但是 Win98 以后的 Windows 系统下不允许在用户态下直接使用汇编语言访问 I/O 资源, 导致出现实验室所使用的实验用计算机还装着 Win98, 年久

使用, 机器进入故障期, 陆陆续续坏掉, 导致可用微机越用越少的尴尬局面。

后来随着选课制的推行, 该课程的教学任务不再由中心统一讲授, 被分散到少数关联性强的专业学院。课时进一步压缩导致出现了纯粹知识讲授而逐渐不做实验或者用简单用 EMU8086 仿真方式简单练习的局面, 不再有相对集中的实验环节。

相比微机原理与接口课程, 单片机类课程的教学活力不减。单片机的系列很多, 如 8051 系列、430 系列、AVR 系列、ADuC 系列^[4]。从广度上统计, 8051 是教学的主流。8051 系列不断演化, 出现了不少的衍生品, 速度更快, 封装更丰富。除有 40PIN 封装的经典的 8051, 有 20PIN 封装的 2051 衍生品, 还有 8PIN 的少 IO 产品, 同时片上多个 UART 和 Timer, 增加了 SPI、PWM 等外设^[5]。调试手段方面大个头的 DIP40 或 PLCC44 接口仿真机逐渐淘汰, 取而代之的是内置监控程序的方法或 JTAG 方法。编程语言, 基本上全面过渡到嵌入式 C。实验所需的硬件手段除了传统的大个头实验箱, 多种多样、价格合适的评估板、开发板在网络发达的当下都很容易买到。这种开发板面积在半个到一个饭盒的大小, 方便携带^[6]。作为计算机科学与技术专业生产实习的内容, 实验中心开出过该方面的内容。

多年的教学经验总结出, 计算机硬件类课程的普遍特点是软硬件结合、内容抽象、知识面广泛, 不同专业的学生基础和兴趣点差异很大。受制于教学内容更新不及时、学数少、实验室开放程度差等因数, 导致在不同专业、不同学生之间教学效果差异悬殊。要达到学懂学通、可以解决初步的应用层面工程问题, 传统的教学方式和实验条件显然不能满足时代的需要。

3 课程的建设情况

智能硬件课程从 2019 年开始准备, 2020 年正式开出。教学对象为理工类低年级学生, 开课学期定位在大学的第 2 学期或第 3 学期。课程目标定位在学生中普及当下计算硬件的应用, 段练用计算的方式解决工程问题的思维^[7], 提高针对硬件的认知水平和编程水平。

课程分为基础部分和进阶部分, 各占 32 学时, 授课全程在实验室进行。课内的授课理论部分和实验操作部分比例控制在 1:2 左右, 边讲边练, 穿插进行。课后仍需要学生继续完成实验作业和项目。

课程内容建设时考虑将实验平台的选取方向定在开源硬件。经过调研和反复斟酌选定了 Arduino 平台^[8]。原因有: 首先, 目前网络上已经有很丰富的 Arduino 平台开发套件, 有一定的现实基础; 其次, 开源软件的代码是多位高水平开发者的工作成果, 规范性、对

异常的考虑远高于普通个人和大部分教师的水平, 具有学习价值; 再次, 考虑后期网络教学发展的趋势和课程覆盖面向社会推广, 开发套件价格作为个人学习应可以承受; 最后, 该生态一直是持续发展的, 主控板从 8 位的单片机到 32 位的 ARM 微控制器都有支持, 可以支持裸机编程和 RTOS 编程。

根据课程的定位和目标, 综上, 选取 Arduino 开源平台作为构建课程所需的实验环境。

3.1 课程内容设计

实验内容的选取兼顾学生的认知规律和当下流行的热点内容。实验的考核点上要考虑新工科和工程认证等近年来国家层面对教育改革的指导和需要^[6,7]。

课程内容分为三个层次。

第一层次, 基本的计算机应用系统需要功能。目的在于认识 CPU、程序开发的方式, 最简单的 IO 外设及电路特征、程序访问的方法和驱动 API。这一层次内容包括 CPU 的框架、LED 原理和电气特征、按键、机械开关及抖动现象、片上定时器和精确的程序延时方法、继电器原理和隔离作用、蜂鸣器、光敏传感器、模拟量型温度传感器、电位器原理与模数转换、摇杆、超声波测距与 IO 握手方式、人体感应原理等。

第二层次, 认识计算机系统中现行广泛应用的板上总线和人机接口, 如 SPI 总线、IIC 总线、UART、PWM 接口等。具体内容有电子钟的 RTC 原理、串行接口 Flash 存储器、74HC595 移位寄存器、发声应用、LCD1602 字符型液晶模组。

第三层次, 行业专业结合部分。如: 航模领域/机电类应用的舵机/推杆原理及编程应用、工业现场总线应用及 Modbus/485 总线、汽车应用的总线 CAN 原理和典型报文、物联网无线通讯 LoRa 和跳扩频抗干扰、GPS 导航定位及报文解析、仪器仪表界面设计应用及基于 GUI 库的 OLED 图形界面编程、计算机人机界面输入应用 USB 仿真键盘鼠标、温度巡检测控应用的 1-Wire 总线、嵌入式 Web 服务器等。

3.2 实验体系设计

详细的实验体系设计见表1和表2, 按照新工科和专业工程认证的要求, 突出了工程内容的设计。

第一层次和第二层次的内容放在基础课程中完成, 第三层次的内容放在进阶课程中完成。基础课程完成后, 学生熟悉了计算机应用系统的基本输入输出、定时器、PWM、外部串行总线和字符型液晶显示器等资源, 熟悉完整的计算机小系统开发流程。这个层次中让学生练习仪器仪表等开发工具的使用, 如利用逻辑分析仪对 IIC 总线的通讯协议进行解码、利用实时存储

型数字示波器测量UART、RS232、RS485的波形并进行人工推算波特率和译码、利用数字三用表测量二极管驱动电流和模块功耗，在实验报告中原理图部分要求学生使用立创EDA软件绘制原理图。

第三层次定位专业/行业融合应用，让学生熟悉不同典型行业/专业的计算机硬件应用情况。这些应用案例老师给出基本的架构原型、测试方案、更多的让学生去设计应用软件来达到各种各样的、接近于实际工

程需求的小系统（或其中的一分子功能）。这个阶段鼓励学生结合自身专业、竞赛和兴趣提出需求，老师给予协调资源和技术指导。这个阶段的设计涉及的模块和连线较多，学生在实验仪上完成系统原型的搭建和初步调试。对有结构性需求的作品绘制设计电路板、老师在过程中给予工程化、调试和工业设计指导，确保学生的作品完成。

表 1 实验教学内容体系设计（第一层次）

层次	项目名	知识内容设计	工程内容设计
第一层次	点灯实验	高低电平和真实物理状态的对应关系； 延时的概念和delay()函数的运用；	初步了解大型软件工程中编码的规范性； 硬件延时方法和软件延时方法对比； 限流的必要性和限流电阻的阻值选取依据；
	流水灯实验	数字量输出的概念； pinMode()函数和digitalWrite()函数运用； EDA工具介绍和用EDA软件绘制原理图；	测量不同颜色发光二极管的电压降； 不同颜色LED开启电压的差异，用仪器求证这种差异性；
	按键输入实验	上拉电阻、下拉电阻和片上弱上拉的概念； 机械按键的常开、常闭概念； digitalRead()函数运用；	用仪器辨识4脚常开轻触按键； IO引脚作为输入时保护电阻的作用和选取依据； 间接法测量片内弱上拉电阻的阻值；
	机械按键消抖动	机械按键（开关）的抖动机理； 程序设计用延迟法处理该类现象；	使用数字存储示波器观察机械按键的抖动现象； 用示波器观察此类非持续稳态信号时的参数设置、使用技巧；
	光敏传感器	光导效应原理；光强的概念和量化表征； ADC原理、模拟量数字化、满量程、分辨率概念； AnalogRead()函数的应用； 串口监视器，打印语句Serial.print()	照度计的使用；几种典型场合的光强测量； 对比光敏电阻-固定电阻法测量的量程和局限性； USB转串口线在调试中的使用；
	继电器/蜂鸣器	继电器的原理和结构、常开触点、常闭触点、继电器的电回路隔离特性； 感性负载反电动势和续流二极管； 继电器线圈驱动与IO引脚的电平匹配设计；	当IO驱动电流不够时用三极管进行扩流； 安全规范标准和国际认证；
	电位器/摇杆	电位器原理； 阻值和转角函数关系； 摇杆的原理；摇杆的中心点零位处理；	运用ADC近似确定电位器阻值和转角函数关系； 高内阻电压型信号受到电气干扰时的特征； 能够用软件处理摇杆的X-Y方向变化与最终需要变化方向的不一致性；
	温度传感器	LM35温度传感器原理 传感器温度测量量程	测量温度范围与驱动电路的关系
人体感应灯	热释电探测原理和热释电感应模块信号特征； 认识计算机系统控制强电通断的方法； 强电安全性；	探测距离和角度范围，体会菲涅尔透镜的作用； 涉及到强电场景的调试方法和技巧； 国际安规认证	

4 实验仪的设计

开课初期，实验环节使用的是网购的套件。网上套件的大小与饭盒体积相当、采用PP塑料外壳，出于成本和营销策略的考虑，内部用小型塑料袋密密麻麻挤压地放着总共不少于20个配件。第一期课程结束后，归还验收时普遍存在体积小的零件模组如电阻、二极管、杜邦线散落流失、配件不全或整理散乱的情况。技术层面，网购套件的不足之处表现在：PCB工艺多以贴装为主，目前的表贴电阻以0603、0402为主，体积过小，丝印难以观察，对学生用仪表测量动作要求过于精细。模组的PCB面积过于节省，有的甚至没有安装固定孔，

只能用双面胶或胶带临时固定到实验室桌面上。示波器测量时，找不到合适的接地点，原因是示波器探头地线夹子没地方可夹。

基于管理和技术两方面的原因，兼顾集中教学和运行管理的需要，特提出自制实验仪。在实验仪设计时，考虑了以下因素：

(1) 便携性。计算机硬件教学难度大的其中一个原因是实验设备固定在实验室，学生实操、练习时间不够，所以首先要考虑的因素是便携性^[9,10]。设计目标将体积控制在2个饭盒到3个饭盒的大小。学生一般背一个双肩笔记本电脑包，考虑包内已经有的电脑和书

籍，剩下的空间就是实验仪的体积上限。

表 2 实验教学内容体系设计（第二层次）

层次	项目名	知识内容设计	工程内容设计
第二层次	IIC通讯	IIC总线的拓扑构成、电压范围、数据帧特征； IIC协议栈、典型函数；	工具的使用-使用逻辑分析仪反译总线传输内容 主机向特定从机传输数据典型时序； 主机从特定从机读取数据典型时序；
	读取VGA显示器信息标签	了解24C存储器； i2c_scanner() 例程	了解主机是如何得知显示设备所支持的分辨率
	RTC	计算机系统掉电保持计时功能 DS1307芯片的寄存器构成；秒中断；	外部32k振荡器PCB布线对计时累计误差的影响； 温度对计时误差的影响；电波授时；GPS授时
	SPI总线与595串行移位驱动数码管	数码管显示原理、共阳极封装和共阴极接法、字形码；寄存器链的移位操作；串并转换；SPI总线的拓扑结构；SPI总线器件寻址；SPI总线驱动实现的硬件方式和软件模拟方式；	工具的使用-使用逻辑分析仪反译总线传输内容 对比SPI总线硬件方式实现和软件模拟方式实现 在时钟速率和总线效率方面的差异性； 数码管灯组的静态显示与动态显示差异；
	串口	UART波特率、帧格式、数据位、奇偶校验等概念；RS232电平与码型；软串口类库主要函数的使用； 软串口发送和软串口接收	工具的使用-数字示波器抓取串口数据进行人工解码、电平确认； 工具的使用-逻辑分析抓取串口数据流，自动解码
	音乐演奏	乐曲中的音调频率、节拍； tone() 函数	掌握用发音节奏表征计算机工作状态的方法
字符型液晶	STN型液晶显示原理；并行总线扩展方式； 显示缓存、自定义字符；lcd类库和主要函数；对比度调节	工作温度范围、视角带来的使用限制；背光对功耗的影响；	
第三层次	舵机	舵机在无人机的应用； 舵机控制信号特征； Servo库及主要函数；	计算机工作电源和舵机用动力电源隔离处理；
	Modbus	工业现场总线；Modbus网络拓扑；RS485物理层； RTU方式；主节点、从节点、帧格式、CRC16校验；编程模型（线圈、输入离散量、16位寄存器）；	工具的使用-逻辑分析仪解析Modbus协议 工具的使用-数字示波器测量RS485物理层差分信号
	汽车总线	CAN总线； 总线的帧格式；标准帧、扩展帧；J1399协议；	工具的使用- CAN总线转换器解析CAN报文
	物联网无线通讯	LORA物联网无线节点通讯；发射功率、接收灵敏度、天线增益、通信距离； Mesh网络；点对点、广播、信道；抗干扰通信；	工具的使用-频谱仪测量LoRa所占用的无线信道带宽
	导航定位	导航原理；GPS接收机；多模接收机；NEMA导航电文格式；冷启动、热启动；接收频点；	GPS干扰与欺骗；
	OLED	点阵型显示器件；显示屏像素坐标关系； 基于GUI库的编程方法；	户外仪表面板场景设计； GUI初级应用；
	1-Wire总线	DS18B20测温原理；1-Wire总线的拓扑结构； 操作命令字；总线时序；自供电方式；	单线多节点数字测温
	USB仿真键盘鼠标	HID类；KeyBoard类库及主要函数；Mouse类库及主要函数；外扩展快捷功能键的实现原理；	Leonado主控板配合实验仪实现外扩展快捷键；
	嵌入式Web服务器	http协议；IP地址、子网掩码、端口号、服务协议；云服务	实现一个在Web页面上，可以在浏览器段（手机/电脑上） 远程读取环境温湿度信息、远程设置参数、控制开关

(2) 符合教学的需要，不宜过于压缩PCB面积。
具体的体现在：电路布局时，区域模块要有编号，元

件的编号丝印高度合适，方便交流和观察。元器件以插件为主，表贴为辅，对模块电路中需要重点了解原

理、有测试点的器件优先选插件封装，并配IC插座，对辅助的元件，如滤波电容、限流电阻可选用表贴器件，优选1210和0805规格。

(3) 留意测量和连接时的结构和空间的需求。布局时考虑学生测量时仪器探头的伸入方向，临近的接地点位置，考虑测量电路中某个信号时先进行转接的需求；连接点需要印上信号名。

(4) 扩展性需求。兼顾不同的主控板，如UNO R3、

NANO、Mega、STM32 Discovery等。

5) 合理划分和实验室的职能界线。部分实验需要的台式电源、示波器、焊台不在实验仪考虑范围内，涉及这部分内容的测试在实验室内完成。但给盒子当中要放一台小体积的数字三用表和逻辑分析仪。

所设计的实验仪，包含了27个区域，正样时的教学仪实物照片见图1，区域划分和功能说明见表3和表4。



图 1 正样的智能硬件教学实验仪

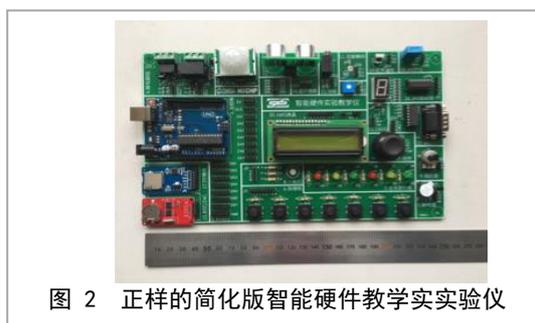


图 2 正样的简化版智能硬件教学实验仪

表 3 实验教学仪的区域划分和功能说明

区域编号	区域名	说明
1	主控板	主控板是程序运行的载体，可更换为UNO R3、NANO、Mega、STM32等
2	转接区	用于对分支电路的处理；仪器测量时可以将信号引导转接区
3	发光管灯组	配置6只不同颜色的发光二极管
4	继电器组	配置触点容量不同的两只信号继电器，其中一只采用PNP三极管驱动，另一只采用NPN三极管驱动；体现“有效”状态逻辑电平不同有差异
5	蜂鸣器	配置一只无源蜂鸣器，用NPN三极管驱动
6	按键组	配置6只12mm的大个头机械按键；不同接线方式，可配置为上拉电阻方式或下拉电阻方式
7	热释电	热释电传感器模组，输出灵敏度、脉宽可用半可变电位器调节
8	三色灯	RGB发光二极管，用三路PWM方式实现调光；常亮时测不同颜色管压降
9	电位器	配置一只50k Ω 的电位器，实验操作中让学生体验电压型信号在采集时受到干扰的效果
10	摇杆	遥控系统常用到的X-Y摇杆
11	光敏模块	配置有一只光敏电阻，串联有固定电阻；通过分压的方式间接光强；高速采样时测量光源频率
12	LM35	一款电压输出型温度传感器，加不同的偏置电压对应不同的可测量温度范围；同时让学生关注热风枪、热缩管等工具和工艺；提出3.3V/5V系统使用下可能存在的问题，并进行实践确认
13	耳机	用于音乐演奏，学生统一使用个人的手机线控耳机，不配置扬声器
14	超声测距	超声发送器和接收器分体设计；IO接口是典型的触发-脉宽信息表达方式；让学生用示波器测量超声发送器的BTL驱动方式
15	RTC/24C	I2C接口的RTC芯片，配置有独立的电池；了解24C存储器，对进行VGA显示器信息标签读取实验做铺垫
16	595数码管	配置一只74HC595串并转换芯片和一只8字形数码管，数码管以共阳极方式静态驱动；了解串并转换扩展系统输出通道的的思想

表 4 实验教学仪的区域划分和功能说明

区域编号	区域名	说明
17	存储卡	基于文件系统方式的编程方式; 可以实现对卡创建、追加文件, 熟悉FAT库的应用
18	DHT11	配置一只DHT11 单线温湿度传感器, 这种传感器在智能家居领域应用很多
19	红外遥控	配置有红外接收探头组件, 可对38kHz载波调制的红外信号进行解码; 红外线发送使用空调、电视机遥控器; 了解遥控器的编码方式
20	1602液晶	典型的字符型液晶, 了解显存的概念、操作方式, 液晶作为显示设备对宽温和广视角的局限性
21	OLED	配有一只128*64像素的OLED屏; 作为和1602的对比, OLED可适应低温应用于特殊场合的显示器件, 使用U8gLib的GUI库的方式进行应用编程
22	RS232	配有LVTTTL电平到RS232电平转换驱动器, 考虑RS232串口在工业设备和工控领域仍存在 在实验实际中需要测量稳态电压和动态波形
23	RS485	配有一只MAX485电平转换器; 以Modbus RTU方式作为案例, 体会工业现场总线有线方式下的主从通讯
24	CAN总线	配有SPI接口的CAN协议接口芯片, 配置有TJA10150 CAN总线收发器, 支持CAN总线在汽车线控系统的应用, 了解CAN物理层的自动仲裁思想、CAN ID优先级的设计保证, 可以与车辆的OBD连接, 提取车辆识别码、车速、发动机转速、母线电压等信息
25	LoRA	支持物联网中无线通讯的情景、MESH网络、无线信道的带宽、体会跳扩频抗干扰的效果
26	GPS	了解冷启动热启动的区别; 解析模块输出报文, 从报文中提取坐标、高程、可见星数等信息
27	18B20	设计了一只1-Wire总线的温度传感器; 采集温度场时可以多台实验仪组合使用; 与模拟电压输出型LM35形成对比, 体会模拟方式和数字方式各自的优缺点和适应范围

5 结束语

经过2年半共5期授课, 所建设的智能硬件课程, 从运行效果看, 内容选题吸引学生、涉猎知识范围广泛、难度上合适, 学时数恰当。相对于微机原理课程和单片机类课程, 学生在计算机硬件学习方面的视野宽阔, 兴趣提升, 系统设计水平和编程能力、以及解决初步工程问题的能力明显提升。“智能硬件应用编程基础实验”被评为校级一流课程, 已经制作出配套的MOOC课程, 在“学堂在线”上线。

所设计的实验教学仪、经历了初样教师试用、小批量打样后让学生在课程进程中边组装边使用的过程。现在已经正样用于教学。正样时, 对用于基础课程和进阶课程的实验仪做了区分, 对支持的实验内容做了精简、进一步做了体积方面控制, 结构上更紧凑一些。简化版包含了20个区域, 实物照片见图2。

使用自制的实验仪后, 对比于网购的实验套件, 借出清点、归还验收、实验准备检查、仪器管理工作量下降到教学可接受的层次, 丢小物品现象基本杜绝。实验操作过程中电源、三用表、示波器等仪器的测量连接操作方便, 克服了不经意的连接短路、滑脱现象, 电路检查、不必要的调试、维修工作量明显下降。

后续, 课程改革将沿着“实验和教学一体”的思路继续改革。一方面考虑加入新的主控板, 支持国产化处理器和FPGA, 如兆易创新的GD32VF RISC-V内核微控制内容、高云的FPGA, 开发出更多的实验内容来

充实和丰富智能硬件系列课程; 另一方从实验室设备的信息化管理层面, 完善借用、归还、预约、续借等管理功能; 同时, 积极建设网络化教学资源, 适应在线教学的需要^[9,10]。

参考文献

- [1] 王嵘, 杨韞宁, 张元树, 韩志彦, 万永菁. 基于DSP的数字信号处理“口袋实验室”设计[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(02):111-116.
- [2] 王毅航, 张隽, 张森社. 微机接口技术实验装置的设计[J]. 实验室研究与探索, 2008, 27(11):45-48.
- [3] 许雪林, 蔡文培, 杨腾. 成果导向教育理念下的8086微机原理课程教学改革[J]. 计算机教育, 2020, (07):152-156.
- [4] 滕召胜, 温和, 高云鹏, 唐求, 孟志强. “教-学-做-研”一体化的单片机教学模式研究[J]. 实验室科学, 2018, 21(03):221-224.
- [5] 马春燕, 郑剑海, 王淑红, 郑丽君. 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(04):16-19+27.
- [6] 张贞凯, 杨永红, 伍杰, 周辰笛. 工程教育专业认证背景下基于MyDAQ的口袋实验室建设[J]. 物联网技术, 2019, 9(04):119-120.
- [7] 李擎, 崔家瑞, 杨旭, 阎群, 冯涛. 面向解决复杂工程问题的自动化专业实践能力培养体系研究[J]. 高等理科教育, 2017, (03):113-118.
- [8] 刘晋, 牛印锁, 韩民晓, 吴迪. 基于Arduino的电气工程口袋实验室研究[J]. 中国教育技术装备, 2017, (22):26-28.
- [9] 邓力, 刘和平, 余传祥. MOOC式远程实验教学方法的研究[J]. 教育教学论坛, 2016, (38):263-264.
- [10] 侯长波, 王晓迪, 胡乃志, 王丽敏. 全开放口袋实验室共享平台建设与实践[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(12):277-280.