



基于嵌入式 Android 系统的实验教学设计与实践

张世娇, 罗新民, 杜清河

(西安交通大学 信通与通信工程学院, 西安 710049)

摘要: 鉴于嵌入式系统在众多领域的广泛应用, 该文将其与生活场景相结合, 对嵌入式系统的实践教学进行了改革探索。设计了基于嵌入式 Android 系统的实验教学体系, 全面覆盖了底层硬件操作、上层软件开发、软硬件协同设计以及综合实践项目等多个关键层面。此教学体系不仅系统地传授了嵌入式系统软硬件开发的核心知识和技能, 更通过一系列由浅入深的实验内容, 有效强化了学生的动手实践能力, 锤炼了其解决复杂工程问题的思维和方法, 提升了学生的工程素养。该实验教学体系实用性强, 对于培养具备创新能力和实践精神的嵌入式人才具有重要的推动作用。

关键词: 嵌入式系统; 实践教学; 综合设计; 工程

中图分类号: G642

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20240046

Experimental Teaching Design and Practice Based on the Embedded Android System

ZHANG Shijiao, LUO Xinmin, DU Qinghe

(School of Information and Communications Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Given the widespread application of embedded systems in various fields, this article combines them with real-life scenarios to conduct in-depth reform and exploration of practical teaching for embedded systems. An experimental teaching system based on the embedded Android system has been designed, comprehensively covering key aspects such as underlying hardware operations, upper-level software development, hardware-software co-design, and comprehensive practical projects. This teaching system not only systematically imparts core knowledge and skills in embedded system hardware and software development but also effectively strengthens students' practical abilities through a series of progressively challenging experimental content. It refines their thinking and approach to solving complex engineering problems and enhances their engineering literacy. Overall, this experimental teaching system is highly practical and plays a significant role in cultivating innovative and practically-minded embedded talents.

Key words: embedded systems; experimental teaching; comprehensive practical; engineer

人们对产品智能化需求的增加推动了嵌入式系统市场的扩张。在物联网、信息物理系统、虚拟现实(virtual reality, VR)/增强现实(augmented reality, AR)技术、人工智能技术、自动驾驶技术等技术的促进下, 嵌入式系统已经应用到人类生活的方方面面, 如智能手机、可视电话、高清电视、无人机、数码相机、医疗器械等^[1-3]。将 Android 作为嵌入式产品的操作系统, 使其具备

Android 系统灵活的应用程序框架、优化的图形处理、多样化的通信方式等特点的嵌入式 Android 系统, 已逐渐成为消费电子等领域的应用热点之一^[4-5]。

作为培育时代精英的摇篮, 国内的高等学府及企业需紧密关注时代发展趋势, 积极响应社会需求, 致力于培养具备嵌入式软硬件系统设计能力的优秀人才。西安交通大学信息与通信工

收稿日期: 2024-02-07

基金项目: 2022 年教育部-华为“智能基座”联结领域课程项目(22ZNJZ29)。

作者简介: 张世娇, 硕士, 高级实验师, 主要从事无线通信系统、嵌入式系统、数字逻辑电路设计等方面的教学和研究工作。E-mail: zhshijiao@mail.xjtu.edu.cn

程学院始终将为祖国输送在信息处理、通信工程、信息网络、微波工程等领域拥有卓越软硬件设计能力的精英人才作为核心使命。为此, 学院精心构建了一系列理论与实践相结合的基础及专业课程。在基础理论的支撑下, 在大四第一学期开设了嵌入式系统专题实验, 旨在通过专题实验的形式促进学生理论知识与实践技能的相互融合, 加深学生对理论认知的理解, 提高学生的实践操作技能, 培育学生的创新思维^[6-7]。然而, 经过广泛的调研分析, 我们发现当前国内基于 Android 的嵌入式实验教学资源相对匮乏, 学生在嵌入式 Android 开发领域的实际操作能力普遍不足。

针对这一现状, 本文立足于嵌入式 Android 系统的硬件平台, 积极探索实验教学的新模式与新方法, 旨在推动实验教学的改革创新。本文以基于嵌入式 Android 系统的硬件平台为基础开展实验教学改革, 设计出了从基础类到进阶类再到综合设计类的一系列实验项目。通过这些实验项目的有序开展, 学生不仅能够逐步掌握嵌入式系统软硬件平台的开发技巧, 更能在实践操作中不断锤

炼自己发现问题、分析问题、解决问题的思维能力, 从而增强工程实践能力, 达到从更深的层面理解工程概念的目标^[8-10]。

1 实验教学平台

1.1 实验硬件平台

考虑到综合设计实验中对应的智能家居、智慧物联、工业控制、信号探测等场景的需求^[11-12], 实验中选用以 Exynos4412 为核心芯片的实验开发板, 包括核心板和底板两部分, 如图 1 所示。核心板中搭载了主频为 1.6 GHz 的 ARM Cortex-A9 核心处理芯片, 2 GB 双通道 DDR3 内存和 16 GB 外存, 能够满足生活中常见嵌入式系统的控制需求, 如作为智能家居、智慧控制、健身器械操控、智能仪表、智能探测等的控制平台。

底板搭载有 Wi-Fi、蓝牙、4 G 等无线模块, 并配置有 USB、串口、网口、I2C 等丰富的接口模块, 方便拓展使用。开发板放置于底板之上, 并配合自制功能模块, 可支撑多种不同类型、不同难度的嵌入式系统实验设计和验证。

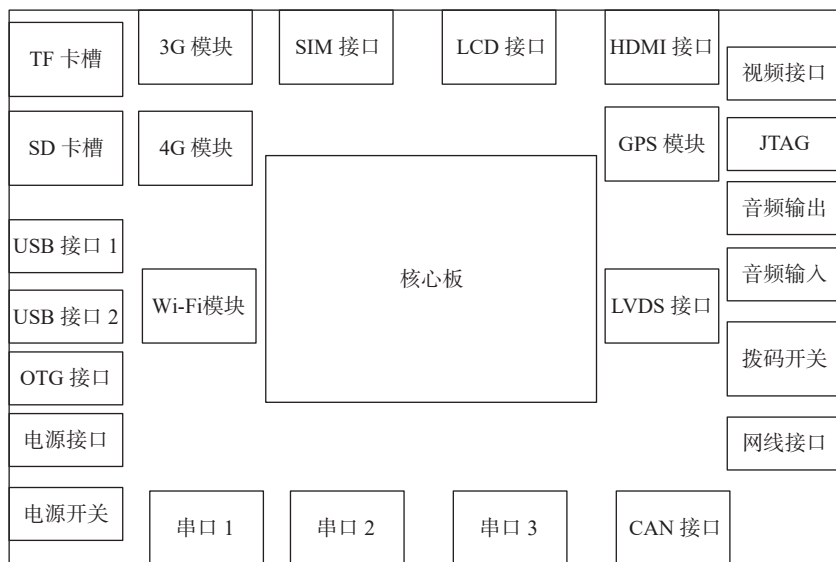


图 1 嵌入式系统硬件底板结构框图

1.2 实验软件平台

软件平台方面, 使用 VmWare 下运行 Ubuntu 虚拟机的形式构建嵌入式系统开发环境, 以支撑嵌入式系统内核裁剪、编译、镜像生成等一系列与内核硬件相关的实验^[13-14]。

内核镜像成功烧写至硬件平台后, 可通过应

用开发平台实现上层应用设计。相比于 Eclipse, Google 推出的基于 IntelliJ IDEA 的集成开发环境 Android Studio 具有稳定速度快、界面美观度高、智能性强、插件系统丰富等特点, 并且内置终端, 更加容易上手, 所以我们选择 Android Studio 作为软件开发环境^[15]。

2 实验教学体系设计

嵌入式系统专题实验教学体系如图2所示。课程以嵌入式硬件实验平台为依托,在实验开展过程中同步讲授相关理论知识,在实践动手的同时加深学生对硬件系统和硬件开发要点、难点的理解。

整个实验课程共32课时,分为4大实验模块,如表1所示。每个模块由若干个实验单元组成,其中系统实验部分设计有两项综合设计实验,可以让学生二选一实现。

为了帮助学生建立起对嵌入式系统软硬件平台的整体认知框架,实验体系以嵌入式底层硬件平台为切入点,设计了嵌入式系统编译环境构

建、嵌入式内核文件修改、嵌入式系统镜像文件生成等实验单元,引导学生逐步深入掌握嵌入式系统的核心技术。通过镜像烧写实验让学生掌握嵌入式系统构建的完整过程,加深学生对系统构建过程的理解。之后过渡到上层应用设计部分。从应用开发环境搭建入手,逐步引导学生分模块完成不同嵌入式应用的设计与实现,熟悉使用Android Studio完成应用开发的过程和方法。之后通过软硬件协同设计环节,让学生掌握通过上层应用控制底层硬件的方式、方法。最终,通过综合性设计实验,如智能家居控制、智慧物联系统等,学生将所学知识融会贯通,提升了分析问题、解决问题的能力。

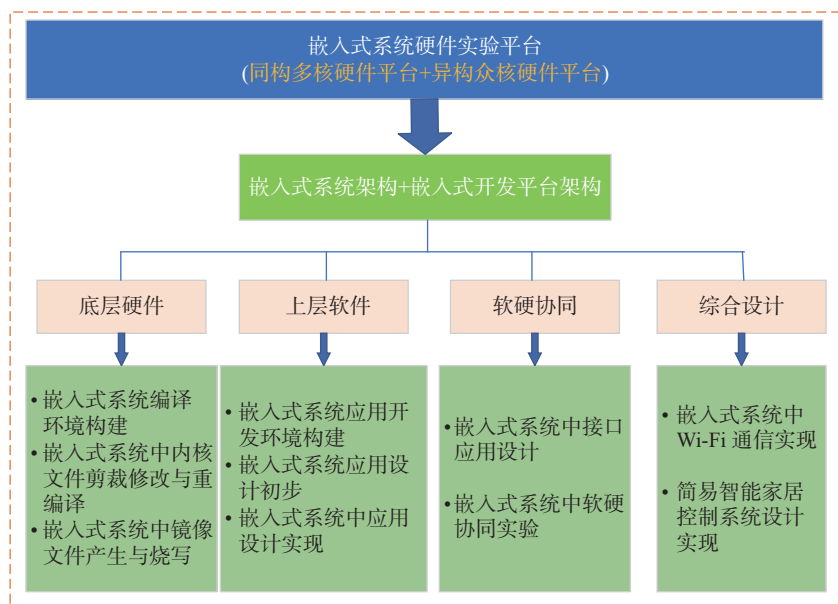


图2 嵌入式系统专题实验教学体系

表1 嵌入式系统专题实验体系设计

实验模块	实验名称	实验课时
底层硬件 认知实验	嵌入式系统认知与设备初体验	2
	嵌入式编译环境构建	2
	嵌入式系统内核剪裁与定制	2
	镜像文件生成与烧写	2
上层软件 基础实验	嵌入式应用开发环境构建	2
	消息收发APP开发与实现	2
	智能应用UI设计	4
软硬协同 进阶实验	嵌入式系统中串口通信实现	4
	JNI接口开发与应用	4
综合设计 系统实验	简易智能家居应用设计	8
	简易智慧测量设计与实现	8

3 实验设计与实践情况

鉴于当前嵌入式实验教学中普遍存在的偏重于上层应用实现而忽略系统整体理解,尤其是对硬件系统认知不足的问题,在进行教学设计时,从最原始的嵌入式系统认知入手,引导学生全面了解嵌入式系统的发展历程。在此基础上,引入实验课堂上使用的同构多核实验板卡,并结合当前嵌入式系统的发展趋势及异构众核系统的实际应用案例,为学生提供了更加贴近实际应用的教学环节。以同构多核系统为例,通过实验环节,让学生深入掌握嵌入式系统中“嵌入”的核心过程,从而深刻理解“嵌入式系统以应用为中心,

软硬件可剪裁”的本质。通过镜像生成、烧录等实验操作,学生不仅能够定制自己的嵌入式系统,还能在实际操作中加深对嵌入式系统工作原理的理解。在完成基础实验后,引导学生进行应用开发、软硬件协同设计以及综合设计训练等实验项目,助力学生将理论知识应用于实践,提升其解决复杂问题的能力。

3.1 底层硬件实验设计

3.1.1 嵌入式系统编译环境构建及镜像文件的生成

了解嵌入式自单核系统向同构多核系统直至异构众核系统的演进后,设计了生成构建嵌入式系统的镜像文件的实验内容。该实验要求完成嵌入式系统编译环境构建,并使用交叉编译器编译出嵌入式系统内核镜像文件,如图3所示。实验中包含多核同构和异构众核系统镜像的产生过程,通过对比让学生更深入理解常见同构多核系统与异构众核系统所需编译环境、镜像生成方式的区别与联系。

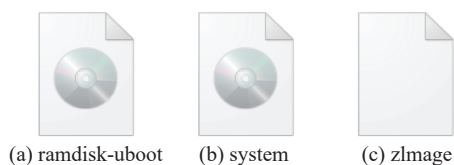


图3 编译产生的内核镜像文件

3.1.2 嵌入式系统内核剪裁与重编译

嵌入式系统的镜像文件是由内核文件通过交叉编译的方式产生,通过引导程序烧入硬件板卡,烧写不同的镜像文件将获得不同的嵌入式系统功能。在生成镜像文件时可以根据需求在编译环境中对内核裁剪,增加或去除某些功能,如根据外设情况剪裁内核中对应的驱动代码。为了让学生理解嵌入式系统是以应用为中心,软硬件可剪裁的本质,该实验中对比较了常见同构多核系统与异构众核嵌入式系统的构建方法,明确异构众核系统中不同处理器芯片的功能及控制方法。

3.1.3 嵌入式系统的构建及控制

镜像文件产生后,通过仿真器或调试接口将镜像文件烧制到开发板处理器完成嵌入式系统的构建,并通过控制端口接入系统完成系统控制。

3.2 上层软件基础实验

3.2.1 嵌入式系统应用环境构建及简易应用开发

嵌入式系统上的应用开发是嵌入式系统的一

个重要方面。本次实验要求学生完成嵌入式应用开发环境构建,了解嵌入式应用开发的流程及调试方法。

3.2.2 智能应用的 UI 设计

用户使用智能应用时,首先接触的是用户界面(user interface, UI)。要开发实现一个优秀的应用软件,清晰、直观和易于使用的 UI 是提升产品和用户体验的一个重要方面,是提高用户的满意度和粘性的重要手段。本次实验以美观、易用的 UI 设计为目标,讲述了 UI 控件分类、作用和使用方法。学生通过本次实验,可以实现出常见应用的 UI 设计,并且可以根据需求自己设计并实现所期望的 UI 界面。

3.2.3 智能应用的后台交互

用户满意度高的应用不仅要需要简洁、美观的界面,而且需要运行流畅的后台支撑。本实验在前述 UI 设计的基础上,加入后台功能,进行数据传递,完成前后台数据交互,如实现本地信息发送、用户注册、网页跳转等简单应用。

3.3 软硬协同进阶实验

3.3.1 基于 JNI 的炫彩小灯实验

使用 Java 本地接口 Java native interface(JNI)完成炫彩小灯控制,实现通过上层应用控制底层硬件的功能,引入 Android 应用开发中进程、线程的概念,实现多种不同形式的小灯炫彩控制,不仅可以让学生充分体会 JNI 在软硬件协同中所起的作用,还可以提升学生在 Android 应用开发方面的能力。

3.3.2 嵌入式 Android 系统中的串口通信

串口通信是计算机上一种非常通用的设备通信协议,在理解串口通信原理的基础上,结合 JNI 使用原理,通过上层应用将嵌入式系统中的串口设备驱动起来,借助串口调试助手完成计算机与嵌入式 Android 系统之间的串行通信。

3.3.3 嵌入式 Android 系统中的 Zigbee 短距离通信

Zigbee 是一种广泛应用于消费类电子产品、家庭自动化、工业自动控制领域的高效、可靠、低成本的无线通信技术。Zigbee 使用串行通信方式完成数据传输。因此,在实现串口通信的基础上,结合外设的 Zigbee 模块,通过应用编程实现短距离的无线信息传输,不仅可以让学生掌握

Zigbee 的无线传输方式, 而且可以增强学生在具体场景下分析问题、解决问题的能力。

3.4 综合设计系统实验

综合实验为简易智能家居控制, 要求使用至少两块硬件开发板通过无线传输实现简易智能家居控制, 其中一块开发板作为控制器, 其余开发板作为执行端, 接收并执行控制器的指令, 同时反馈命令执行结果。

3.4.1 系统框图

智能家居控制系统框图如图 4 所示。系统中的节点组成了一个星型网络, 由一个核心节点作为中心控制器, 通过无线信号控制其余节点工作。其余节点地位对等, 每个节点根据遥控器的指令控制不同的外设模块工作, 同时反馈自身的工作状态。所有节点之间通过 Wi-Fi 或者 4G 实现无线信号传输。

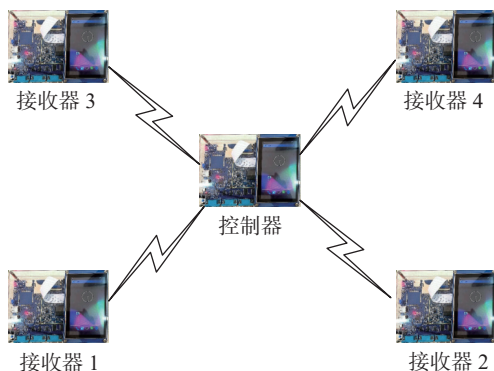


图 4 智能家居控制系统框图

3.4.2 系统中的无线传输实现

实验板中可用的通信模块有 Wi-Fi、4G、Zigbee。通过前述实验已经完成了 Zigbee 的通信传输。在该综合实验中, 考虑家庭常用网络为 Wi-Fi, 且常见的智能家居控制系统均接入 Wi-Fi 进行全面控制, 故这里采用 Wi-Fi 模块实现无线传输。Wi-Fi 协议的传输层使用 TCP/IP 协议, 在应用开发时, 使用套接字 Socket 完成编程。在嵌入式 Android 系统中, 使用 Socket 进行通信的模型如图 5 所示。

从图 5 的系统模型中可以看到系统中包括控制器和接收器两种网络节点, 在通信的过程中控制器可以控制若干接收器工作。因此, 可以将控制器作为通信的服务端, 接收器作为客户端, 各节点互联后可以完成消息的双向收发, 之后将不再区分服务端客户端。

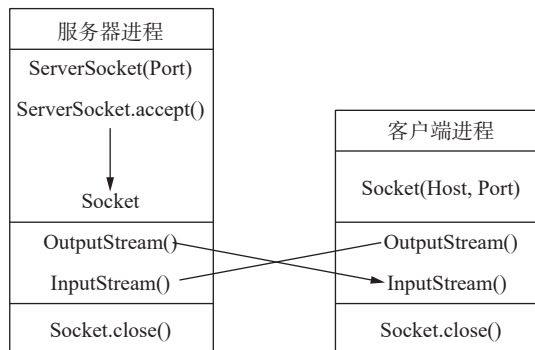


图 5 Android 中 Socket 通信模型

3.4.3 控制器的编程实现

控制器作为主控节点负责向智能家居控制系统中的其余节点发送控制信息。除作为服务端使用 Socket 编程实现向接收端发送控制信息外, 还应具备用户友好的可视化的操作界面并显示接收器的工作反馈信息。控制器的用户界面如图 6 所示。

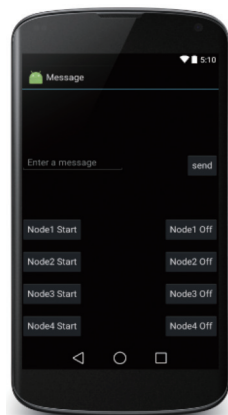


图 6 控制器的用户界面

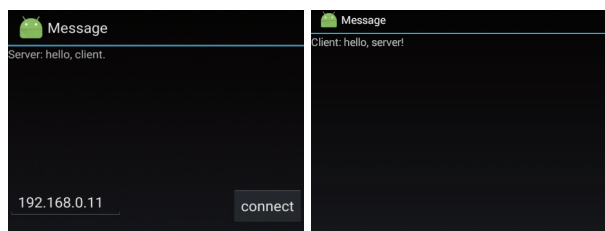
3.4.4 接收器的编程实现

接收器作为执行智能家居系统中的命令执行端, 除具备无线信息接收外, 还应根据接收到的信息执行对应操作, 同时向控制台反馈执行结果。接收器部分学生可以在已有的外设基础上自由选择, 如 LED 灯控制、设备音量控制、播放器控制、摄像头控制、步进电机控制、传感器控制等等。在课堂上鼓励学生在已完成实验的基础上尽可能多地驱动多种不同类型的外设模块, 以实现更为复杂的智能家居控制系统, 完成延伸拓展部分内容, 从而增强系统设计能力和工程实践能力。

3.4.5 实验结果展示

控制器和接收器均实现后, 在客户端中分别

输入控制端的信息, 完成接收器和控制器之间的互联, 如图 7 所示。之后, 在控制端通过文字或按钮方式发送控制指令, 接收端收到控制指令后完成对应操作并返回执行结果, 如接收器接收到控制指令开始播放音乐, 并展示出音乐波形和频谱, 如图 8 所示。



(a) 控制端界面

(b) 接收端界面

图 7 控制端与接收端通过 Wi-Fi 联通

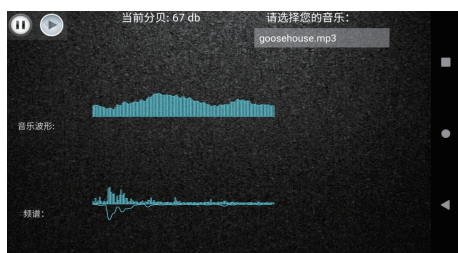


图 8 某接收端播放音乐并展示音乐波形和频谱

3.4.6 实验延伸与拓展

综合任务完成后, 要求学生在此基础上进行拓展、延伸。在如图 4 所示的系统框架下, 各接收节点通过多种外接传感器(如温度传感器、压力传感器等)对周边环境信息进行采集, 并使用 4G 模块进行无线传输, 信息汇聚至中心节点后, 通过无线方式上传至主控台进行实时分析处理, 并根据分析结果对环境做出预警反应。

4 结束语

实践教学是培养本科生实践动手能力的一个重要教学环节。本文在考虑现代通信技术及人们生活的应用需求下, 将 Android 系统引入嵌入式实践教学, 经过多方调研选择了目前使用的嵌入式硬件平台并自制了若干外设模块, 在硬件平台支撑下设计了包含底层硬件实验、上层软件应用、软硬结合实践、智能家居应用等一系列实验模块。通过实验学生不仅能够掌握嵌入式系统的构建过程, 而且掌握了嵌入式应用的完整开发流

程, 并通过团队协作完成了智能家居应用系统设计与实现, 充分锻炼了学生的实践动手能力, 增强了学生工程素养。该实验体系已经在学生中完整开展 3 年, 取得了良好的实践教学效果。

参考文献

- [1] 苏曙光. 嵌入式系统协同设计[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2022.
- [2] 崔业梅, 杨焕峥, 徐玲. 嵌入式人工智能与物联网图形化编程项目教学应用[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(9): 222-227.
- [3] 刘晨, 邓庆绪, 陈郭成, 等. 新工科背景下物联网专业嵌入式系统实验教学改革与实践[J]. 实验室研究与探索, 2023, 42(10): 196-199.
- [4] 徐伟, 郭占龙, 耿生玲. Linux/Android 嵌入式系统实践设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2022.
- [5] 王斯盾, 琚生根. 基于 Android 的嵌入式系统综合实验设计[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(12): 168-171.
- [6] 胡蔓, 赵云龙, 栾晓娜, 等. 新工科背景下工程训练实践教学模式探索[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(3): 256-259.
- [7] 徐琳, 郭良敏, 陆洲. “聚焦需求, 面向就业”的全周期移动应用开发实践课程教学探索[J]. 计算机教育, 2024(1): 174-178.
- [8] 张世娇, 靳毅轩, 杜清河, 等. 基于嵌入式 Android 系统的无线数据采集、传输综合实验设计实现[J]. 实验技术与管理, 2020, 37(9): 208-211.
- [9] 李德兴, 王玉松, 邢东洋. 面向新工科的嵌入式实践课程改革与实践[J]. 电气电子教学学报, 2023, 45(4): 41-44.
- [10] 郭玉臣, 李育灵, 王鹏凯. 基于华为鲲鹏云平台的多维嵌入式实践教学改革[J]. 计算机教育, 2023(5): 135-139.
- [11] 陈星光. 工业控制中嵌入式控制系统的应用研究[J]. 电子技术与软件工程, 2023(6): 79-82.
- [12] 狄新宇, 刁宇杰, 朱泓宇, 等. 基于 ESP32 的智能物联网台灯设计[J]. 林业机械与木工设备, 2023, 51(1): 47-51.
- [13] 王勇, 文良华. 嵌入式系统设计: 基于 ARM 与 Linux[M]. 成都: 四川大学出版社, 2022.
- [14] 宋恒力, 葛健, 刘欢, 等. Android 平台嵌入式仪器设计[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2021.
- [15] 吴绍根, 罗佳. Android Studio 移动应用开发基础[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2023.

编辑 王燕