

新工科背景下网络工程专业综合实验箱的设计与实现

冯 健^{1,*}, 田红鹏¹, 靳红梅¹, 梁 荣¹

(1.西安科技大学 计算机科学与技术学院, 陕西 西安 710054; * fengjian@xust.edu.cn)

摘 要: 针对网络工程专业实验设置缺乏系统性、实验内容缺乏创新性及脱离行业应用等问题, 分析新工科对实验教学的需求, 设计并实现了网络工程专业综合实验箱。实验箱为基本款路由器, 以 MT7628AN 为核心处理器, 辅以开源操作系统 NetStudio, 并移植了 uIP 网络协议栈, 能支持主流网络应用和网络管理。可进行嵌入式系统原理及应用、操作系统、计算机网络原理等课程的综合实验, 有助于增强学生的学习主动性和系统性运用专业知识的综合能力, 并能培养学生的创新精神。

关键词: 新工科; 网络工程; 实验箱; 路由器

扎实的专业技能和创新实践能力是网络工程人才培养的重要目标, 而实验教学则是理论联系实际、提高学生综合素质和创新能力的关键环节。新工科背景下, 网络工程专业实验教学的主要目标是培养学生深刻理解计算机网络特别是 Internet 的工作原理和工作过程, 掌握网络协议分析与设计方法, 具有网络设备研发和网络应用开发等能力^[1]。当前计算机网络实践教学无法适应新工科背景下的网络工程专业人才培养目标要求, 其中一个突出问题是实验的片段性和隔离性导致学生的知识能力系统性差, 不能将学习到的理论应用于实际网络设备的设计与开发。为此, 提出了新工科背景下网络工程专业综合实验方案, 构建一个基于关键网络设备路由器的网络工程专业综合实验箱, 旨在培养学生综合运用理论知识分析问题和解决问题的实践能力。

1 传统实验教学存在的问题

按照新工科理念, 实验教学应培养学生对产品或项目的设计、实现、运作的全过程, 使学生能够按照企业流程深入到商用产品的开发中, 提高学生的工程技术转化能力、提高学生职业素养^[2]。然而, 当前网络工程专业的实验教学在实验设置、实验内容、实验项目等方面仍存在问题。

1.1 实验设置缺乏系统性

对于网络工程专业培养计划中所要求的基础实验, 大多数高校采用“模块式”的实验设置, 各模块之间或各门课程之间相互分割、相对独立, 缺乏有机融合, 综合性、系统性实验设置不足。这使得学生学习的知识点相对分散, 无法建立各门课程间的内在联系, 难以形成完整的知识体系, 把所学知识用于解决实际问题的能力不足。

1.2 实验内容缺乏创新性

大多数实验以验证性为主, 学生往往按照实验指导书, 按部就班地完成实验, 这不利于学生发挥主体作用, 也在一定程度上限制了学生的应用能力和创造性的提升。而由于学时和实验环境的限制, 设计性实验的实验效果往往不理想。

1.3 实验项目脱离行业应用

以理论为中心的实验项目设置与社会对网络设备和网络技术应用的需求严重脱节。虽然学生能够完成路由器与交换机的基本配置实验, 但由于缺乏工程背景, 对网络设备及内部协议的协同工作原理了解不清晰, 缺

乏将基本原理与实际工程问题相联系以解决实际需求的能力。学生所具有的实际水平和实际动手能力与真正的就业要求相距甚远。

2 综合实验箱设计

为解决以上实验教学中的问题，本文设计并实现了一个网络工程专业综合实验箱。

2.1 设计思想

网络工程专业综合实验箱的设计目的是让学生直观地了解到嵌入式系统、嵌入式操作系统、网络协议栈以及网络应用的工作原理，并在此基础上进行实际的软硬件开发。

路由器是计算机网络中的核心通信设备，为软硬件结合的嵌入式系统。其设计与开发是典型的复杂网络工程问题，必须基于深入的网络工程原理，涉及多方面的技术，具有较高的综合性，且和产业界的实际需求一致。因此可基于路由器设计网络工程专业综合实验箱。

该实验箱具备以下特点：

- (1) 实验对象具有可操作性。路由器的硬件和软件均可开发，有利于调动学生的学习兴趣 and 积极性。
- (2) 实验箱具有可扩展性。软、硬件接口丰富，可扩展性强，有利于创新性实验的开展。
- (3) 实验内容贴合工程实际。虽为简化的路由器，但具有实际路由器的基本功能。
- (4) 实验设计具有层次性^[3]。从嵌入式系统硬件、嵌入式操作系统、网络协议栈到网络应用均可以设计验证性、设计性和创新性实验，能逐步提高学生理论联系实际的实践能力。

2.2 整体设计

实验箱包括硬件部分和软件部分，如图 1 所示。软硬件之间通过 NetStudio 内核和网络接口相关模块实现交互，位于应用层的网络服务和网络管理用户基于 uIP 协议栈通过网络驱动完成信息收发，同时通过操作系统内核完成任务的管理和微处理器资源的使用。

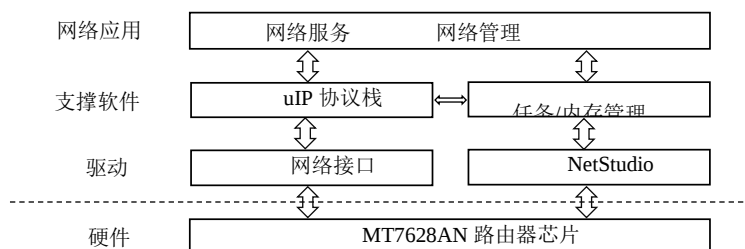


图 1 实验箱整体设计

2.2.1 硬件组成

在本系统中，采用联发科技股份有限公司的 MT7628AN 作为本综合实验箱的核心处理器，其包括一个 802.11n MAC 和基带、一个 575/580MHz MIPS®24K™ CPU 内核、一个 5 端口 10/100 快速以太网交换机。通过扩展外部 SDRAM、Flash、串口通信芯片及一些基本元器件等完成硬件系统的设计，片上资源丰富。系统整体框图见图 2，实物图见图 3。

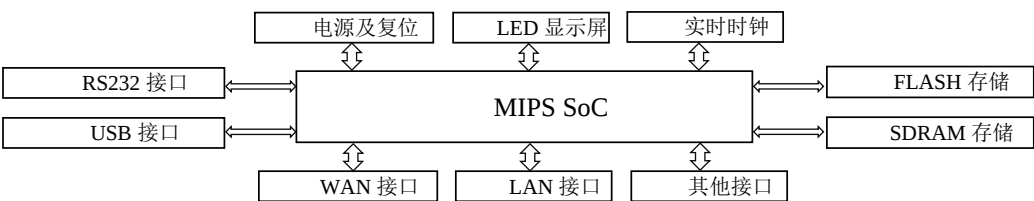


图 2 实验箱硬件结构框图

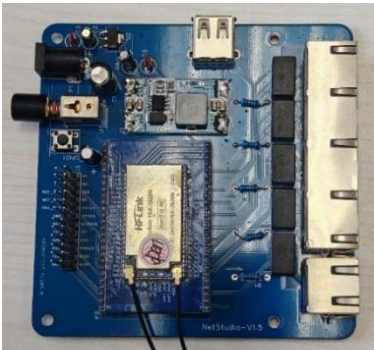


图 3 实验箱实物图

实验箱采用两层可拼接式设计，由基础板和扩展板组成。考虑到实验拓展的需要，实验箱上预留了编程下载口模块和多个 I/O 接口，提供实验箱的二次开发空间。

2.2.2 软件架构

在开源操作系统 OpenWrt 的基础上，从软件、应用等方面对 OpenWrt 进行扩展，实现了一套适合网络工程专业学生实验用的开源操作系统 NetStudio，如图 4 所示。在系统中采用开源引导加载程序 U-Boot 初始化网络设备。

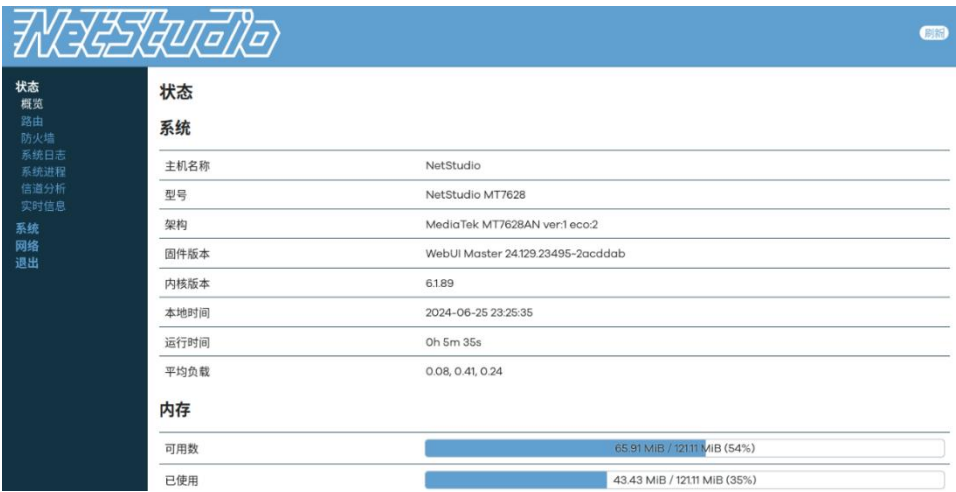


图 4 NetStudio

实验箱支持 uIP 网络协议栈。经裁剪，协议栈包括：1）应用层，支持 HTTP 协议及 HTTP 服务器搭建。特别地，为了支持网络管理类实验，保留了对 SNMP 协议的支持；2）传输层，支持 UDP 和 TCP 协议，提供 Socket API 接口；3）网络层，除基本的 IP 协议、ICMP 协议和 ARP 协议外，为支撑路由类实验，保留 OSPF 协议模块；4）数据链路层，由以太网控制器芯片提供。

综上，实验箱的设计依托网络体系结构的分层思想，致力于加深学生对计算机网络数据传输、交换、控制过程的理解，以实际案例引导学生分析问题、增强其设计和实现行业设备的能力。

3 综合实验箱应用

该实验箱缘起于学生在计算机网络原理课程中完成的自主实验，由计算机网络原理省级课程思政示范课程、省级一流课程教学团队规划并设计完善，2023 年已投入我校网络工程专业实践教学中。实验箱成本约为 150 元/套，与传统的嵌入式实验箱相比成本较低。

3.1 实验项目设计

实验箱支持嵌入式系统原理及应用、操作系统、计算机网络原理、网络编程、网络工程设计、软件定义网络等课程的部分实验。表 1 列出了可开设的典型教学实验。

表 1 典型教学实验

课程	典型实验
嵌入式系统原理及应用	各种接口连线、驱动，Makefile 实验，
操作系统	Linux 内核编移植，多线程创建与使用
计算机网络原理	网络协议数据包分析，基本网络通信功能配置
网络编程	基于 Socket 的网络编程，网络协议栈开发
网络工程设计	网卡及路由器设置，网络服务器搭建
软件定义网络	定制路由器的开发

实验箱围绕典型网络设备-路由器的软硬件实现，提供了多门网络工程专业课程的贯通性实验，其中综合和设计类实验占比超 60%。目前教学团队在实验箱的使用过程中，积极设计和丰富更多实验项目。

3.2 实验开设与管理

为了提高指导效率，教师团队录制了部分实验视频，对实验过程进行清晰明确地指导。学生在领取实验箱后，实验箱就交由学生管理，学生可以根据实验内容和要求，利用课外时间随时随地完成实验。一方面，实验不受场地和时间的限制，改变传统实验教学的管理形式；另一方面，学生可以很方便地相互讨论，并在实验箱上设计开发新的硬件接口和软件功能，这充分激发了学生的兴趣，提高了学生的设计开发能力，也提高了实验效果和教师指导实验的效率。该平台现已经成为嵌入式系统原理及应用和计算机网络原理课程教师不可缺少的实验教学工具。

4 结语

为适应新工科对网络工程专业人才培养的要求，提高学生的实际动手能力及综合应用所学知识的能力，本文设计了一套网络工程专业综合实验箱。该实验箱旨在设计与实现实际网络设备路由器，集嵌入式系统、计算机网络、操作系统等技术于一体，可用于相关课程的综合实验教学。

下一步，将在新工科建设理念指导下，不断探索新的实验教学思路、方法和手段，探索基于软件定义网络的实验箱、基于云计算的实验箱等，形成更加全面的网络工程专业新型贯通性实验体系，为学生提供更多系统性整合知识和自主创新的机会，促使学生快速成长为网络工程行业人才。

基金项目

西安科技大学 2024 年“数字智能课程”建设项目（No. 8）、本科教学案例库项目（No. ALKCSZ24027）、本科课程过程评估优秀教学案例（No. algckh2024001340）和研究生课程思政教学改革研究项目（No. YSZJG202403）资助。

参考文献

- [1] 蔡开裕, 朱培栋, 曹介南, 等. 提高网络工程专业人才素质之我见[J]. 计算机教育, 2010(23): 55-58.
- [2] 彭宏, 孟利. 通信专业多层递进式综合实验体系建设与实践[J]. 实验室研究与探索, 2021, 40(04): 151-154.
- [3] 邓轲, 江先亮. 多功能无线网络实验箱研究与探索[J]. 无线通信技术, 2017, 26(02): 6-10.