



计算机科学  
ISSN: 2790-0622(print)  
雙清學術出版社

Contents lists available at [www.qingpress.com](http://www.qingpress.com)  
Journal homepage: [qingpress.com/zh-cn/journals/25](http://qingpress.com/zh-cn/journals/25)



## 基于下一代网络架构的大学网络课程案例教学探索

刘思彬<sup>1\*</sup>, 陈雯<sup>2</sup>, 胡雯静<sup>3</sup>, 杨昱潇<sup>4</sup>

(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620)

**摘要:** 针对网络通信相关专业的学生, 本文提出了开设软件定义网络(Software Defined Networking, SDN)大学生课程, 旨在提高他们的创新研究和实践动手能力, 以支持其未来的职业发展。课程内容不仅包括理论教学, 还提供了一套全新的实验教学方案, 其中包括基础实验、进阶实验和综合实验, 以帮助学生更好地掌握 SDN 领域的知识和技能。同时, 为了激发学生的积极探索、实践和创新精神, 在课程中采用了多种考核方法。通过这些方法, 学生将被鼓励主动参与并应用所学知识, 同时提高在 SDN 领域的综合素质。我们认为, 通过本课程, 学生不仅可以提升其理论知识水平, 还能够通过实验教学的方式培养解决问题的能力, 而这将为他们在 SDN 领域的职业发展奠定坚实的基础。

**关键词:** 软件定义网络, 综合性实验, 实践教学, 对比实验

### 1. 引言

随着信息技术的飞速发展, 以及教育理念的不断创新, 软件定义网络(Software Defined Networking, SDN)作为下一代网络架构, 其新兴的网络理念为网络通信教育领域的改革提供了全新的可能性<sup>[1]</sup>。为提高网络通信专业大学生的创新能力和实践能力, 以及为全球 SDN 技术的广泛应用培养相关人才, 本文拟从教学意义、相关课程现状、教学建设内容、教学考核方法四个方面探究 SDN 网络课程开设的意义与具体建设方法。

首先, 本论文将介绍 SDN 的基本概念和特点, 并阐述它与传统网络架构的区别。随后,

---

\*通讯作者: 刘思彬

2790-0622© Shuangqing Academic Publishing House Limited All rights reserved.

Article history: Received September 25, 2023 Accepted October 18, 2023 Available online October 24, 2023

To cite this document: 刘思彬, 陈雯, 胡雯静, 杨昱潇(2023). 基于下一代网络架构的大学网络课程案例教学探索. 计算机科学(香港), 第3卷第1期, 38-45页.

Doi: <https://doi.org/10.55375/cps.2023.3.5>

我们将探讨在目前的大学生网络课程开设现状下, 开设 SDN 教学在提高教学效率、促进教育创新等方面的潜力。其次, 本论文将探讨 SDN 网络案例的建设内容与其对传统教学模式的影响和启示。传统的教学模式通常受限于网络的局限性, 无法满足教学的个性化需求和灵活性要求。而 SDN 的可编程性和灵活性可以支持个性化学习、虚拟化实验等创新教学模式的实施。最后, 本论文将讨论如何制定 SDN 教学的考核方法, 以提高学生的创新研究能力和实践动手能力。

本文通过对开设 SDN 大学生课程对传统教学影响的研究, 探索 SDN 技术对网络通信教育领域的影响和潜力, 为网络通信教育领域的决策者、教育工作者和研究者提供一定的参考。

## 2. 大学生网络课程加入 SDN 网络案例教学的意义

随着信息技术的发展, SDN 成为了网络领域的热点技术之一。SDN 的核心思想是将网络控制平面与数据平面分离, 通过集中式的控制器对网络进行管理和控制, 提供了更加灵活、可编程的网络架构。SDN 是下一代网络架构, 是对传统 IP 网络的一次深刻的变革。随着物联网、5G、人工智能等技术和理念的逐步普及, 网络承载业务负载的类型和数量将不断变化, 网络仅靠单纯的协议优化、功能完善已经很难解决所面临的问题。而将 SDN 作为智能网络的理念可以有效提升网络自动化、自优化能力, 以及自主化的目标。目前, 运营商已经开始在某些区域部署 SDN 网络, 很多学校、医院、企业的内部网络也开始尝试改造成 SDN 架构, 传统网络架构已经开始渐渐向 SDN 架构转变, SDN 技术得到越来越广泛的应用。

为了帮助学生更好地理解 SDN 的基本概念和工作原理, 我们建议将 SDN 网络案例引入大学生网络课程<sup>[2]</sup>。将 SDN 网络实验案例引入大学生网络课程中, 有助于学生深入理解和应用 SDN 技术, 并为他们未来的职业发展提供有力支持。首先, 通过实际操作 SDN 网络, 学生可以亲身体验到 SDN 的优势和特点, 如灵活性、可编程性和集中式控制等。这种实践性的学习方式可以增强学生对 SDN 技术的理解和记忆, 使他们能够更好地应用这一技术。同时, 学生可以学习到如何设计和管理 SDN 网络。SDN 网络的设计和管理涉及到多个方面, 包括网络拓扑设计、流量调度、安全策略等。通过实际操作 SDN 网络案例, 学生能了解到 SDN 网络设计和管理的具体步骤和技术, 可以培养他们在实际工作中解决问题和应对挑战的能力。最后, 将 SDN 引入大学生网络课程可以促进学术研究和技术创新, 为学生提供学术研究和技术创新的机会, 鼓励他们深入研究 SDN 领域的前沿问题, 并且通过自己的努力为 SDN 技术的发展做出贡献。

我们认为将 SDN 引入大学生网络课程具有重要的教学意义。未来的各类计算机应用都将运行在 SDN 网络架构上, 网络通信相关专业的学生在毕业后从事相关工作势必会接触 SDN 的相关内容。因此, 新型网络架构—SDN 网络平台的教学对于培养大学生网络通信专业人才的创新能力和实践能力尤为重要<sup>[3]</sup>。

## 3. 大学生相关课程现状

大学生计算机网络实验课程通常为必修课程, 名为《网络综合实验与设计》, 一般安排

在大学三年级进行。该课程设置包括实验课的数量和难度,以及实验课与理论课的关联程度。一般来说,该课程设置 6~8 个实验,涵盖计算机网络的基本概念、协议分析、网络配置和安全等方面。

《网络综合实验与设计》课程的实验的内容主要包括实验环境的搭建、网络配置实验、网络协议实验等等。实验环境搭建主要是通过使用模拟器或虚拟机等工具,搭建计算机网络实验环境,包括主机、路由器和交换机等设备。网络配置实验是通过配置路由器和交换机等网络设备,实现网络的连接和通信等基本实验。网络协议实验需要通过抓包、分析和实验验证,让学生深入了解常用的网络协议,如 ARP、TCP/IP、RIP、OSPF 等。

在教学方法上,《网络综合实验与设计》课程采用多种教学方法,包括理论讲解、实验操作指导和案例分析等。教师会先进行相关理论知识的讲解,然后引导学生进行实验操作,并在实践过程中解答问题和指导学生。同时,教师还会选取一些经典的网络实例进行案例分析,培养学生的网络问题分析和解决能力。

以《网络综合实验与设计》课程为例,该网络实验课程的评价方式一般包括实验报告、实验操作和实验成绩三个方面。学生需要按时提交实验报告,报告内容包括实验目的、实验过程、实验结果和分析等。同时,学生需要按照要求进行实验操作,并根据实验操作情况进行评分。最后,根据实验报告和实验操作的综合表现来评定学生的实验成绩。

现有的《网络综合实验与设计》课程的相关技术均基于传统网络架构,主要侧重于传统的网络体系结构和协议。为了让学生了解到当今最前沿的网络技术发展,在大学生网络课程中加入 SDN 网络案例,增设 SDN 相关网络实验,例如 SDN 网络环境搭建、SDN 自学习交换机原理和 SDN 流量监控等实验,可以使学生理解并能熟练应用 SDN 网络相关技术,并且使学生能够更好地适应未来网络发展的趋势。

## **4. SDN 网络案例的建设内容**

### **4.1 课程教学内容体系建设**

本文旨在研究基于 SDN 网络的课程案例在大学生课堂教学中的必要性和可行性,并对大学生课程加入 SDN 网络案例的意义和大学生相关课程的现状进行深入的分析和评估。在此基础上,本文将 SDN 网络案例课程的教学建设内容分为两大部分:课程理论教学内容体系研究和实验教学内容研究(如图 1 所示)。

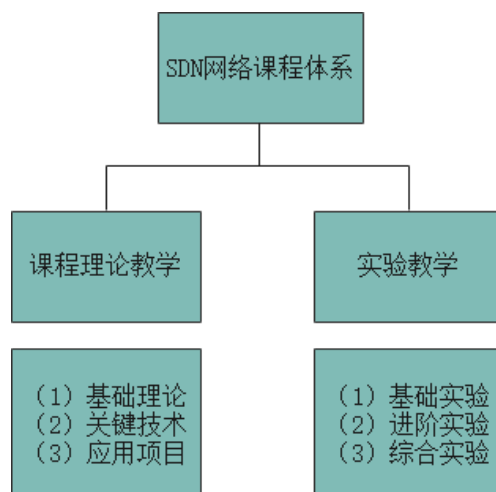


图 1 SDN 网络课程体系

其中，课程理论教学内容体系具体分为三个部分：

#### (1)基础理论

基础理论教学主要讲述软件定义网络(SDN)<sup>[4]</sup>的体系架构，数据平面与控制平面相关概念，以及 SDN 中数据平面与控制平面分离、网络可编程性和网络功能虚拟化(Network Functions Virtualization, NFV)思想。基础理论的教学旨在让学生对 SDN 网络有一个初步认识，并深入理解 SDN 新型网络的优势。

#### (2)关键技术

关键技术教学主要讲述实现 SDN 网络的具体技术，包括中央化控制器技术、OpenFlow 协议、虚拟交换机技术和隧道技术等。关键技术的教学目的是让学生在理解 SDN 网络架构性能优势的基础上，进一步对实现该网络的技术细节有所了解，从而打下更加坚实的网络基础。

#### (3)应用项目

应用项目教学主要讲述 SDN 网络技术在具体实际场景中的应用，包括云数据中心<sup>[7]</sup>、广域网优化和网络安全<sup>[8]</sup>等方面的应用。应用项目的教学可以有效地让学生感知到 SDN 的实际意义和应用价值，从而激发学生学习热情<sup>[9]</sup>。

实验教学内容体系同样可以分为三个部分：

#### (1)基础实验

基础实验部分旨在让学生通过实际操作，了解并熟悉 SDN 网络的实验环境，学会使用虚拟仿真平台 Mininet 的常用命令建立简单的 SDN 网络拓扑，并初步体验 RYU 控制器对 OpenFlow 虚拟交换机的远程控制。

通过基础实验，学生可以掌握虚拟仿真平台 Mininet 的常用指令以及各种指令的用途，了解到 OpenFlow 交换机和传统二层交换机的区别，并且体验到 RYU 控制器在网络中所起到的全局控制作用。

#### (2)进阶实验

进阶实验部分目的是让学生在虚拟仿真环境中掌握对 OpenFlow 交换机的流表操作，使用 Wireshark 软件对 OpenFlow 协议进行抓包分析，并学会使用 RYU 控制器来实现自学习交换机算法以及实现 SDN 网络的流量监测功能。

通过进阶实验，学生可以掌握 OpenFlow 交换机流表的增删查操作，并且学会对 OpenFlow 协议进行抓包分析，进一步理解 OpenFlow 的协议原理和内涵。通过对 SDN 自学习交换机<sup>[10]</sup>和网络流量监测的功能实现，学生将更加深刻地理解传统网络与 SDN 新型网络在控制和转发上的区别，并进一步体会到 SDN 与传统网络相比的显著优势。

### (3)综合实验

综合实验意在实现 SDN 网络架构下基于跳数的最短路径转发操作。通过融合基础实验与进阶实验中的理论与实践知识，使学生在虚拟仿真平台上学会使用 RYU 控制器实现流表的接受和下发操作，学会使用 RYU 控制器获取网络拓扑，学会使用 RYU 控制器实现下一跳端口的获取。

由于综合实验综合了网络基础理论和 SDN 网络实践操作两方面内容，具有一定的挑战性，因此通过对该部分的实际操作，学生可以深切领悟到 SDN 的丰富内涵，从而激励他们积极主动地去深入探索 SDN 技术。

## 4.2 虚拟实验教学案例

本文以 SDN 网络基础实验中使用交换机建树状拓扑的实验为例，介绍具体的案例教学。我们是在虚拟仿真平台进行实验，并和传统网络实验教学对比。交换机基础实验是网络实践课程中必备的基础实验，要求学生理解 OpenFlow 交换机与传统二层交换机的不同，掌握 Mininet 构建网络的常见命令。本实验所采用的虚拟平台是一款轻量级的进程虚拟化网络仿真工具 Mininet，使用 RYU 控制器集中控制 OpenFlow 交换机。

实验操作流程如下：

首先，老师随机选取信息科学与技术学院 23 级大学生 40 名，并将学生随机分成两组，一组为传统实验室教学组(20 名学生)，另外一组为 SDN 虚拟实验教学组(20 名学生)。

其次，不同的组采用不同的教学方法。其中，传统实验室教学组与 SDN 虚拟实验教学组教学过程如表 1 所示。然后，对理论讲解和实验操作的同学进行实操考核与体验测评。评测标准采用正确完成一次交换机基础实验所耗的时间作为来衡量教学效果的标准。

最后，分析不同组的教学成果差异。传统实验室教学组与 SDN 虚拟实验教学组教学效果如表 2 所示。采用学生对实验收获评分来衡量教学兴趣，传统实验室教学组与 SDN 虚拟实验教学组教学兴趣如表 3 所示。

表 1 传统实验室与 SDN 虚拟实验教学过程

教学类型	理论讲述(网络交换机的原理)	操作方法 教学演示	实操考核(完成一次交换机基础实验所耗时间)
传统实验室教学	PPT 辅助讲授， 30min	PPT 辅助讲授，20min+ 实操演示，60min	4 人为一组
SDN 虚拟实验教学	PPT 辅助讲授， 30min	PPT 辅助讲授，20min+ 实操演示，60min	单人实操

表 2 传统实验室与 SDN 虚拟实验教学效果

教学类型	正确完成一次交换机基础实验所耗时间/min
传统实验室教学	45 ± 30
SDN 虚拟实验教学	35 ± 15

表 3 传统实验室与 SDN 虚拟实验教学兴趣

教学类型	收获评分平均值(满分 100)
传统实验室教学	67
SDN 虚拟实验教学	75

表 2 数据显示，SDN 虚拟实验教学与传统实验室教学相比具有更高的教学效率，不仅使得每个人都参与了实验，还缩短了学生对实验环境的熟悉时间。

表 3 数据显示，相较于传统实验室教学，学生对 SDN 虚拟实验教学具有更高的兴趣。

在虚拟实验教学过程中，我们发现将 SDN 网络架构引入大学网络课程体系可能存在几点问题：(1)仅仅通过虚拟案例教学，学生仍无法很好地回答 SDN 网络相比于传统网络好在哪里。(2)学生对 SDN 复杂的底层技术原理一知半解。(3)案例教学构建的虚拟网络普遍较小，对学生理解真实网络环境有一定局限性。

关于造成这些问题的原因，我们认为有以下三点：(1)学生对现存网络存在的问题没有概念，对 SDN 作为下一代网络架构的必要性理解不够透彻。(2)SDN 作为新型网络架构，其技术原理完全不同于 IP 网络，从而造成学生在认识上的困难。(3)虚拟机设备资源有限，无法模拟现实中大规模网络。

针对发现的问题，我们提出的解决方案如下：(1)在 PPT 辅助讲授过程中予以介绍现 IP 传统网络存在的问题，如难以进行大规模的流量控制，并给出提点，让学生在虚拟实验过程思考 SDN 是如何解决这些问题的。(2)将对 SDN 相关技术的原理认识作为学生的课下作业，先让学生自行调查探索，而后在课堂上针对如 OpenFlow 协议，流表结构，网络功能虚拟化

等关键技术进行反复强调，深化学生理解记忆。(3)在课堂上让学生观看关于真实大规模网络部署的教学视频，帮助学生理解真实网络环境

## 5. 教学的考核方法

本课程的教学要求是使学生理解 SDN 网络的基本概念和原理，并能够运用所学知识建设、配置、管理并维护网络，目的是培养拥有创新研究能力和实践动手能力的网络设计人才和高级网络管理人才。因此，在考核方面，我们建议多方面评估学生对 SDN 技术的掌握程度和应用能力，以便更为准确评估学生们的综合素质。

### (1) 考核对理论知识的掌握

主要考察学生对 SDN 相关概念、网络架构和协议等方面的掌握程度。学生需要通过笔试和面试来展示他们对 SDN 理论知识的理解。教师将根据学生的表现对他们的理论知识掌握程度进行评分。

### (2) 评估实验和报告完成度

主要考察学生对实验操作和报告撰写的能力。学生需要在实验室完成一系列与 SDN 相关的实验，并撰写实验报告。教师将根据实验完成情况和报告质量对他们的实验和报告完成度进行评分。

### (3) 评估解决方案创新性

主要考察学生在解决实际问题时是否有创新思维和独特见解。学生需要在给定的问题或需求中提出新的解决方案，并能够将方案付诸实践。教师将根据方案的独特性、可行性和实用性对学生的创新性进行评估。

### (4) 评估网络设计和编程技能

主要考察学生对网络架构和编程语言的理解和应用能力。学生需要设计一个 SDN 网络，并使用编程语言实现网络中的关键功能。教师将根据学生的设计成果和编程代码的质量对他们的网络设计和编程技能进行评分。

### (5) 评估团队协作能力

主要考察学生在团队中的沟通能力、合作能力和参与程度。学生需要在分组合作的项目中扮演不同的角色，共同完成任务。教师将根据学生的表现对他们的团队协作能力进行评分。

## 6. 结语

通过对 SDN 在教育教学中的深入研究以及对现有教育体系中缺乏与 SDN 相关的课的观察，我们得出了以下关于开设 SDN 大学生课程的结论：

(1) 需要开设 SDN 大学生课程，以满足日益增长的 SDN 技术需求。随着 SDN 在网络行业的广泛应用，对于具备相关技能和知识的专业人才的需求也在不断增长。开设 SDN 大学生课程将有助于培养更多的专业人才，满足市场对 SDN 人才的需求，这也为学生未来的职业发展提供有力支持。

(2) SDN 大学生课程应该涵盖软件定义网络的基础理论、架构与协议、编程技术、网络安全、与云计算和大数据等领域的结合应用等内容。教学建设内容应包括理论教学内容和实

验教学内容, 这些内容将帮助学生全面了解 SDN 的概念、原理和实践, 为他们未来在 SDN 领域的研究和实践奠定坚实的基础。

(3) 开设 SDN 课程面临一些挑战。例如, SDN 教学重在培养拥有创新研究能力和实践动手能力的学生, 这需要突破传统教育模式, 实施多样化的评价方式以提高他们在 SDN 领域的综合素质。

综上所述, 开设 SDN 大学生课程对于培养专业人才、满足市场需求都具有重要意义。在高校教育体系中开设相关课程, 能够推动 SDN 技术的发展和應用。同时, 要实现 SDN 技术在教育领域的有效应用, 需要克服一些挑战和限制, 并制定相应的措施来支持和推动 SDN 的发展。

### 参考文献:

- [1]何亨, 蒋俊君&宋亚州(2020). 面向创新人才培养的《软件定义网络》课程建设研究. 创新创业理论与实践(19), 42-44.
- [2]罗奇, 肖瑶星&杨辉(2020). 基于软件定义网络的计算机网络课程实验教学研究. 电脑知识与技术(16), 130-131+134. doi: 10. 14004/j. cnki. ckt. 2020. 1998.
- [3]何荣希, 林子薇, 雷田颖&刘彤彤(2018). 软件定义网络课程教学实验设计. 科教导刊(上旬刊)(22), 106-108+112. doi: 10. 16400/j. cnki. kjdks. 2018. 08. 047.
- [4]程乾, 于兴旺&张明星(2021). 软件定义网络技术发展探究. 计算机与网络(03), 51.
- [5]林华&薛静宜(2022). 软件定义网络(SDN)/网络功能虚拟化(NFV)技术研究及部署. 广播电视网络(01), 106-108. doi: 10. 16045/j. cnki. catvtec. 2022. 01. 028.
- [6]周佳琦. (2023). 软件定义无人机自组网 OpenFlow 协议研究(硕士学位论文, 重庆邮电大学).
- [7]钟掖, 龙玉江, 赵威扬&张光益(2021). 基于软件定义网络的电力云数据中心流量控制技术. 科学技术创新(15), 80-81.
- [8]安进朝(2021). 基于软件定义网络的技术与安全体系探索. 网络安全技术与应用(01), 6-7.
- [9]鱼清, 胡曦明&李鹏(2021). 软件定义网络 IPv6 安全仿真技术与教学应用. 计算机技术与发展(05), 119-125.
- [10]宋广佳&崔坤鹏(2018). SDN 技术在计算机网络实验教学中的应用——以 MAC 地址学习为例. 科学技术创新(17), 67-69.