

## 基于 SDN 技术的校园网络优化方案设计

王俊丹, 龙艳彬, 方煜博, 刘 琰, 张亚衡

辽宁科技大学 辽宁鞍山

**【摘要】**随着信息技术的快速发展,传统校园网络面临着诸多挑战,如带宽不足、管理复杂和安全隐患等。软件定义网络(SDN)作为一种创新的网络架构,通过分离控制层与数据层,为网络管理和优化提供了新思路。本文旨在设计和实现一个基于SDN技术的校园网应用,探索其在校园环境中的实际应用潜力,并通过实验验证其在网络性能与管理效率上的优势。研究首先构建了SDN网络模型,配置了控制器、交换机和终端设备。接着,利用Python开发了网络应用程序,并集成OpenFlow协议,实现网络流量的动态管理。选用Mininet搭建虚拟化实验环境,开展了流量调度、网络故障恢复、服务质量保证(QoS)和安全防护等场景的仿真实验。实验结果表明,基于SDN的校园网络在流量管理和资源分配方面显著优于传统网络架构,能够高效处理高峰流量并动态调整网络策略,有效预防拥堵。最后,本文结合实验数据,讨论了SDN在校园网络中的未来发展方向,并提出了包括智能化网络管理、边缘计算集成和基于AI的流量预测等优化建议,期望为校园网络的智能化和高效管理提供理论参考和实践指导。

**【关键词】**软件定义网络(SDN); 校园网络; 网络管理; 流量控制; Mininet

**【基金项目】**辽宁科技大学2025年大学生创新训练项目立项

**【收稿日期】**2024年8月16日 **【出刊日期】**2024年9月28日 **【DOI】**10.12208/j.jer.20240040

### Design of campus network optimization scheme based on SDN technology

Jundan Wang, Yanbin Long, Yubo Fang, Yan Liu, Yaheng Zhang

University of Science and Technology Liaoning, Anshan, Liaoning

**【Abstract】** With the rapid development of information technology, the traditional campus network is facing many challenges, such as insufficient bandwidth, complex management and security risks. As an innovative network architecture, Software Defined Network (SDN) provides a new idea for network management and optimization by separating the control layer from the data layer. This paper aims to design and implement a campus network application based on SDN technology, explore its practical application potential in campus environment, and verify its advantages in network performance and management efficiency through experiments. Firstly, the SDN network model is constructed, and the controller, switch and terminal equipment are configured. Then, the network application program is developed by Python, and the OpenFlow protocol is integrated to realize the dynamic management of network traffic. Mininet is selected to build a virtualized experimental environment, and simulation experiments are carried out in traffic scheduling, network fault recovery, quality of service (QoS) and security protection. The experimental results show that the campus network based on SDN is significantly superior to the traditional network architecture in terms of traffic management and resource allocation, and it can efficiently handle peak traffic and dynamically adjust network strategies to effectively prevent congestion. Finally, based on the experimental data, this paper discusses the future development direction of SDN in campus network, and puts forward some optimization suggestions including intelligent network management, edge computing integration and AI-based traffic prediction, hoping to provide theoretical reference and practical guidance for intelligent and efficient management of campus

network.

**【Keywords】** Software Defined Network (SDN); Campus network; Network management; Traffic control; Mininet

### 1 引言

随着信息技术的飞速发展, 校园网络已成为教育信息化的重要基础设施。它不仅支持日常的教学、科研和管理活动, 还承载着大量的在线学习资源、远程教育和学术交流等功能。然而, 传统的校园网络架构面临着诸多挑战, 如网络带宽不足、管理复杂、安全漏洞多以及难以适应快速变化的网络需求等。软件定义网络(SDN)技术的出现为解决这些问题提供了新的思路和方法。SDN 通过将网络的控制平面与数据转发平面分离, 实现了网络的集中管理和灵活控制, 为校园网络的优化提供了强大的技术支持<sup>[1]</sup>。

### 2 SDN 技术基础

#### 2.1 SDN 概念

SDN 起源于 2006 年斯坦福大学的 Clean Slate 研究课题, 2009 年 Mckeown 教授正式提出了 SDN 概念。SDN 通过软件编程的形式定义和控制网络, 其控制平面和转发平面分离及开放性可编程的特点, 被认为是网络领域的一场革命。SDN 的主要目标是提高网络的灵活性、可编程性和智能化程度, 从而更好地适应不断变化的业务需求<sup>[2]</sup>。

#### 2.2 SDN 架构

SDN 架构主要由三个层次组成: 数据平面、控制平面和应用平面, 图 1 SDN 架构。

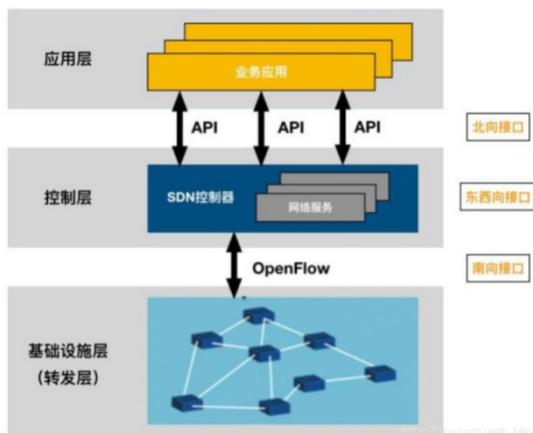


图 1 SDN 架构

数据平面: 由网络设备(如交换机、路由器)组

成, 负责数据包的转发。这些设备在 SDN 架构中被称为转发器(Forwarder), 它们根据控制器下发的流表(Flow Table)进行数据包的转发。

控制平面: 由 SDN 控制器组成, 负责网络的集中管理和控制。控制器通过南向接口(如 OpenFlow)与数据平面的设备进行通信, 下发流表和配置指令。控制器可以是一个物理设备, 也可以是一个虚拟化的实体, 通常具有逻辑上的集中化和可编程性<sup>[3-4]</sup>。

应用平面: 包含各种基于 SDN 的应用程序, 这些应用程序通过北向接口与控制器进行交互, 实现对网络的管理和控制。北向接口通常提供 RESTful API, 允许应用程序开发者编写自定义的网络管理策略和应用。

### 3 校园网络现状分析

#### 3.1 校园网络架构

校园网络架构通常采用分层结构设计, 主要包括接入层、汇聚层和核心层。这种架构设计旨在提高网络的可管理性、可扩展性和可靠性。

接入层: 负责将终端设备(如学生和教职工的个人电脑、手机、平板等)连接到网络。接入层通常包括大量的接入交换机和无线接入点, 提供有线和无线两种接入方式。例如, 一个中等规模的校园可能在每个教室、办公室和宿舍都部署了接入交换机和无线接入点, 以确保网络的广泛覆盖<sup>[5-6]</sup>。

汇聚层: 连接多个接入层, 汇聚层的交换机通常具备更高的性能, 以支持更高的数据流量。汇聚层还可以为不同的接入层提供 VLAN(虚拟局域网)、QoS(服务质量)等功能。例如, 汇聚层可以将教学区域、办公区域和宿舍区域的网络流量进行汇聚, 并根据不同的业务需求进行优先级划分和带宽分配<sup>[7]</sup>。

核心层: 是网络的核心, 负责高速数据交换, 并连接到外部网络(如互联网)。核心层的设备需要具备高吞吐能力和低延迟性能。例如, 核心层通常由高性能的路由器和核心交换机组成, 确保校园网络与互联网的高速连接, 并提供足够的带宽来满足校园内大量用户同时访问外部网络的需求。

#### 3.2 校园网络面临的问题

尽管校园网络在教育信息化中扮演着重要角色, 但传统的校园网络架构面临着诸多挑战:

**带宽不足:** 随着校园内用户数量的增加和网络应用的多样化, 如高清视频会议、大规模在线课程、虚拟实验室等, 传统的校园网络带宽往往难以满足需求。例如, 高峰时段网络拥堵现象严重, 影响了教学和科研活动的正常进行<sup>[8]</sup>。

**管理复杂:** 传统网络的分布式管理方式导致网络配置和管理需要在每台设备上进行, 配置过程繁琐且容易出错。例如, 每次网络策略的更新都需要逐台设备进行配置, 增加了管理的复杂性和出错的概率<sup>[10]</sup>。

## 4 SDN 控制器与应用开发

### 4.1 控制器选择与部署

在基于 SDN 的校园网络优化方案中, SDN 控制器的选择与部署至关重要。控制器作为网络的大脑, 负责集中管理和控制整个网络的流量和设备。以下是控制器选择与部署的详细分析, 图 2 校园网络优化方案:

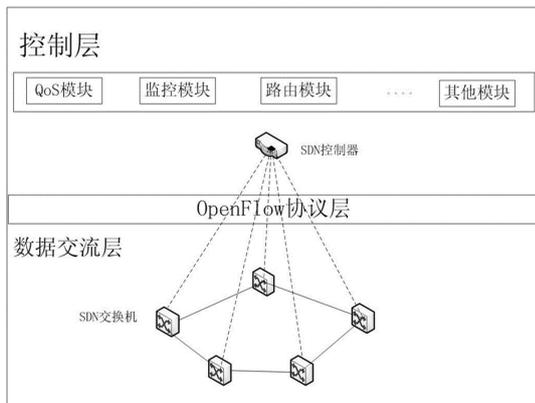


图 2 校园网络优化方案

**功能完整性:** 控制器应具备全面的功能, 如网络拓扑发现、流表管理、设备配置、策略下发等。例如, OpenDaylight 控制器提供了丰富的南向接口支持, 包括 OpenFlow、NETCONF 等, 能够满足校园网络中不同类型设备的管理需求; 同时, 它还提供了灵活的北向接口, 允许开发者编写自定义的网络管理策略和应用。

**性能与稳定性:** 控制器需要具备高性能和高稳定性, 以应对校园网络中大量的设备和复杂的流量。例如, 在大规模校园网络中, 控制器应能够处理每秒数万条流表下发请求, 同时保持低延迟和高吞吐

量。OpenDaylight 控制器经过多年的开发和优化, 在性能和稳定性方面表现良好, 已被多个大型企业和高校网络所采用。

### 4.2 网络应用开发框架

基于 SDN 的校园网络优化方案需要开发一系列网络应用, 以实现网络的集中管理和优化。以下是网络应用开发框架的详细设计:

#### 开发框架选择

**OpenDaylight:** OpenDaylight 是一个开源的 SDN 控制器项目, 提供了丰富的开发框架和工具。它支持多种编程语言, 如 Java、Python 等, 开发者可以使用这些语言编写自定义的网络管理策略和应用。OpenDaylight 还提供了完善的文档和社区支持, 帮助开发者快速上手和解决问题。

**Ryu:** Ryu 是一个轻量级的 SDN 控制器, 使用 Python 语言开发。它具有简单易用、灵活可扩展的特点, 适合快速开发和原型设计。Ryu 提供了丰富的 API 接口, 开发者可以方便地调用这些接口实现网络设备的管理和流量控制。此外, Ryu 还支持多种南向接口协议, 如 OpenFlow、OVSDB 等, 能够与多种网络设备进行通信。

#### 应用开发流程

**需求分析:** 在开发网络应用之前, 需要对校园网络的需求进行全面分析。了解校园网络的拓扑结构、设备类型、业务流量特点、管理需求等, 确定应用的功能和目标。例如, 开发流量监控应用时, 需要了解校园网络中不同区域的流量分布情况、高峰时段的流量特点、主要应用的流量占比等, 以便设计合理的监控策略和数据采集方法。

**设计应用架构:** 根据需求分析的结果, 设计网络应用的架构。确定应用的功能模块、数据流程、接口规范等。例如, 流量监控应用的架构可以包括数据采集模块、数据处理模块、数据存储模块和用户界面模块。数据采集模块负责从网络设备中获取流量数据, 数据处理模块对采集到的数据进行分析 and 处理, 数据存储模块将处理后的数据存储到数据库中, 用户界面模块提供友好的操作界面, 方便用户查看和分析流量数据。

### 4.3 流量调度算法设计

流量调度算法是基于 SDN 的校园网络优化方案中的关键部分, 通过合理的流量调度可以提高网

络的带宽利用率, 优化网络性能, 满足不同业务的需求。以下是流量调度算法的设计:

#### 算法设计目标

**提高带宽利用率:** 通过动态调整网络流量的路径和带宽分配, 使网络中的带宽资源得到充分利用, 减少带宽浪费。例如, 在高峰时段, 将非关键业务的流量调度到带宽较宽的链路上, 为关键业务(如教学视频会议)提供足够的带宽保障。

**降低延迟和丢包率:** 优化流量的传输路径, 减少数据包在网络中的传输延迟和丢包率, 提高网络的传输质量。例如, 为实时性要求较高的业务(如在线教育平台的视频播放)选择延迟较低的路径进行传输, 并通过流量整形和拥塞控制技术减少丢包现象。

**满足业务优先级:** 根据业务的重要性和紧急程度, 对不同业务的流量进行优先级划分, 并在流量调度时优先满足高优先级业务的需求。例如, 将教学视频会议、科研数据传输等业务的流量标记为高优先级, 确保这些业务在网络拥塞时仍能获得足够的带宽和低延迟的传输服务。

**实现负载均衡:** 在网络中合理分配流量, 避免某些链路或设备过载, 提高网络的整体性能和可靠性。例如, 通过监测网络中各链路的流量负载情况, 将流量动态地调度到负载较轻的链路上, 使网络中的流量分布更加均衡。

## 5 实验环境搭建与测试

### 5.1 实验环境搭建

为了验证基于 SDN 技术的校园网络优化方案的有效性, 搭建了相应的实验环境。实验环境主要基于 Mininet 虚拟网络仿真平台和 Ryu SDN 控制器进行构建。

**Mininet 虚拟网络仿真平台:** Mininet 是一个轻量级的网络仿真工具, 能够在单个 Linux 系统上创建一个完整的虚拟网络环境, 包括虚拟主机、交换机、路由器等网络设备。在本实验中, 使用 Mininet 搭建了与校园网络拓扑结构相似的虚拟网络, 模拟了校园内的教学区域、办公区域和宿舍区域的网络连接情况。通过 Mininet 的命令行界面, 可以方便地创建和管理虚拟网络中的设备, 模拟各种网络流量和业务场景。

**Ryu SDN 控制器:** Ryu 是一个开源的 SDN 控制

器, 使用 Python 语言开发, 具有简单易用、灵活可扩展的特点。在实验中, Ryu 控制器作为校园网络的集中控制中心, 负责下发流表规则、管理网络设备、监控网络状态等。通过 Ryu 控制器提供的 API 接口, 可以方便地编写自定义的网络管理策略和应用, 实现对虚拟网络的集中控制和优化。

**实验硬件与软件环境:** 实验在一台配置较高的服务器上进行, 服务器的硬件配置包括: CPU 为 Intel Xeon E5-2680 v4 2.40GHz, 内存为 64GB, 硬盘为 1TB SSD。操作系统为 Ubuntu 18.04 LTS, 安装了 Mininet 2.3.0 版本和 Ryu 4.30 版本。此外, 还安装了 Wireshark 网络分析工具, 用于捕获和分析网络流量数据。

### 5.2 测试方案设计

为了全面评估基于 SDN 技术的校园网络优化方案的性能和效果, 设计了以下测试方案:

#### 测试场景

**场景一: 网络带宽利用率测试:** 在虚拟网络中模拟高流量的业务场景, 如高清视频会议、大规模在线课程等, 观察在不同时间段内网络带宽的利用率情况。通过在 Mininet 中创建多个虚拟主机, 模拟不同数量的用户同时访问网络资源, 记录网络链路的带宽使用情况, 分析优化方案对提高网络带宽利用率的效果。

**场景二: 网络延迟和丢包率测试:** 选择虚拟网络中的关键业务流量, 如教学视频流量、科研数据流量等, 测量在网络拥塞和非拥塞情况下, 数据包的传输延迟和丢包率。通过在 Mininet 中设置不同的网络拥塞程度, 模拟校园网络在高峰时段和低谷时段的流量情况, 使用 Wireshark 工具捕获数据包的传输信息, 计算延迟和丢包率的数值, 评估优化方案对降低网络延迟和丢包率的作用。

**场景三: 业务优先级调度测试:** 对虚拟网络中的不同业务流量进行优先级划分, 模拟高优先级业务(如教学视频会议)和低优先级业务(如学生上网浏览)同时存在的情况, 观察在资源竞争时, 高优先级业务是否能够获得足够的带宽和低延迟的传输服务。通过在 Ryu 控制器中编写优先级调度策略, 下发到网络设备中, 记录不同优先级业务的流量传输情况, 分析优化方案对满足业务优先级需求的能力。

**场景四: 网络负载均衡测试:** 在网络中模拟多

条路径的流量传输情况, 观察在不同路径负载情况下, 流量是否能够均衡地分配到各条路径上。通过在 Mininet

## 6 结束语

本文通过深入研究基于 SDN 技术的校园网络优化方案, 从理论架构设计到实际应用实现, 全面探讨了 SDN 在校园网络中的应用潜力。通过构建详细的 SDN 网络模型, 开发并集成网络应用程序, 以及在 Mininet 虚拟化环境中的仿真实验, 本文验证了 SDN 技术在提升校园网络性能、优化资源分配、增强网络安全以及改善用户体验方面的显著优势。实验结果不仅证实了理论设计的可行性, 还为未来的校园网络建设和管理提供了宝贵的实践指导。展望未来, 随着技术的不断进步和应用场景的拓展, SDN 有望在校园网络中发挥更大的作用, 推动教育信息化的深入发展。

## 参考文献

- [1] 王海波. 人工智能时代校园网络安全系统的构建[J]. 中国宽带, 2024(04).
- [2] 嵇海波, 李刚. 云计算环境下智慧校园网络安全技术应用探讨[J]. 互联网周刊, 2024(01).
- [3] 肖伟, 王江, 秦宏伟. 智慧校园网络安全“四维一体”管理体系研究——以扬州大学为例[J]. 无线互联科技, 2023(23).
- [4] 元佳茜. 基于入侵检测技术的校园网络安全系统设计[J]. 信息与电脑(理论版), 2023(21).
- [5] 邵美科. 校园网络安全体系架构搭建的技防策略研究[J]. 中国新通信, 2024(03).
- [6] 高昊民. 中职校园网络安全治理体系构建与应用实践研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2024(03).
- [7] 曹文胜. 高职院校智慧校园网络安全管理探究——以贵州电子信息职业技术学院为例[J]. 西部素质教育, 2024(09).
- [8] 张洋洋. 基于数字孪生技术的校园网络安全仿真推演[J]. 黑龙江科学, 2024(13).
- [9] 魏银华, 任芳. 数字化背景下校园网络安全问题探讨[J]. 电子元器件与信息技术, 2024(06).
- [10] 唐文春, 徐琴, 吕云山, 刘玲. 数字孪生技术在校园网络安全中的应用[J]. 集成电路应用, 2024(07).

**版权声明:** ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

