

IPv6 与 5G 融合的新型数字底座研究与构建

林初建¹, 焦宝臣¹, 梁哲龙¹, 朱悦¹, 赵星^{1,2}, 李涛^{1,3}

(1.南开大学大数据管理中心, 天津 300071;

2.南开大学电子信息与光学工程学院, 天津 300350;

3.南开大学计算机学院、网络空间安全学院, 天津 300350)

摘要: 基于南开大学校园网现状, 研究了 IPv6 和 5G 等新一代信息网络技术, 基于 IPv6 协议构建了 Wi-Fi 校园网与 5G 专网融合的新型基础网络, 进行了信创平台的 IPv6 适配和应用试点部署, 并针对 IPv6 建设全方位安全防护体系, 构建了一个即插即用的 IPv6 与 5G 融合的新型数字底座, 为智慧校园业务系统的部署提供成熟的云网一体解决方案, 为下一代互联网相关学科专业人才培养、技术研发与创新工作提供新型基础网络环境和可信计算资源, 赋能高校教育数字化转型。

关键词: IPv6; 5G; 信创; 新型教育基础设施; 数字底座; 教育数字化转型

中图分类号: TP393

文献标志码: A

DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2024251

Research and construction of new digital foundation for the fusion between IPv6 and 5G

LIN Chujian¹, JIAO Baochen¹, LIANG Zhelong¹, ZHU Yue¹, ZHAO Xing^{1,2}, LI Tao^{1,3}

1. Big Data Management Center, Nankai University, Tianjin 300071, China

2. College of Electronic Information and Optical Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China

3. College of Computer Science, College of Cyber Science, Nankai University, Tianjin 300350, China

Abstract: Based on the current situation of the campus network of Nankai University, new generation information network technologies such as IPv6 and 5G were studied, a new basic network integrating Wi-Fi campus network and 5G private network based on IPv6 protocol, IPv6 adaptation and application pilot deployment of the information innovation platform was built, a new digital foundation integrating IPv6 and 5G for plug and play against IPv6 was carried out and constructed, a mature cloud network fusion solution for the deployment of smart campus business system and a new basic network environment and trusted computing resources for the training, technology research and innovation of professionals in the next generation Internet related disciplines were provided, and the digital transformation of university education was enabled.

Keywords: IPv6, 5G, information technology application innovation, new educational infrastructure, digital foundation, digital transformation of education

0 引言

在教育数字化战略行动深入实施背景下, 伴随着人工智能、大数据、云计算及 5G 等先进技术的融合应用, 高校信息化建设正稳步迈向教育智能化、全面数字化、高效云存储及大带宽传输

的新阶段。以新发展理念为引领, 以信息化为主导, 面向教育高质量发展需要, 聚焦信息网络、平台体系、数字资源、智慧校园、创新应用、可信安全等方面的教育新型基础设施建设, 已成为信息化时代教育变革的牵引力量和加快推动教育

数字化转型的有力支撑。

利用互联网协议第 6 版 (IPv6)、5G 等新一代信息化技术, 围绕新网络、新平台、新安全等信息基础设施建设, 构建新型数字底座, 可以为教育行业特色的数字资源的聚集、智慧校园模式的深度探索和创新应用的广泛实践, 提供坚实而稳固的基础支撑。

IPv6 作为下一代互联网的核心协议, 具有地址空间巨大、安全性高、传输效率高等优势, 对于 5G、物联网、工业互联网、人工智能、云计算等重要基础前沿技术的广泛应用起着至关重要的支撑作用。作为网络技术创新的重要方向, 面向 IPv6 进行技术升级改造, 并深入推进 IPv6 等新一代网络技术的规模部署和应用, 对构建教育领域的新型基础设施、为教育高质量发展提供数字底座具有重要意义。

5G 技术具有高速率、低时延、广覆盖、大连接的网络特点以及按需定制、差异化服务的业务特征, 将 5G 技术与校园网进行融合, 可以弥补 Wi-Fi 校园网接入能力不足和覆盖范围有限的短板^[1], 实现校园网的广域延伸, 建立定制化、高安全、高可靠、低时延的泛在网络, 服务于教学办公和科研创新需求^[2]。5G 技术在教育新型基础设施建设中扮演着至关重要的角色, 它不仅可以提高获取教育资源的效率, 还可以丰富教学手段和方法, 促进教育信息化与智能化的进程。

本文立足南开大学校园网络现状, 以中央网信办、教育部等 12 部委共同组织开展的 IPv6 技术创新和融合应用试点项目为依托, 深度融合校园 Wi-Fi 网络和运营商 5G 专网, 通过 IPv6 单栈部署技术, 结合互联网数据中心 (IDC) 国产信创计算资源, 建立云、网、端全面防护的安全体系, 构建了一个满足室内外业务终端全场景接入、业务系统部署即插即用的新型数字底座, 架构如图 1 所示。

1 网络现状

经过多年的发展建设, 南开大学校园网形成了有线/无线全面覆盖一校三区 (津南校区、八里台校区和泰达学院)、IPv4/IPv6 双栈运行的格局。

校园网整体分为公共校园网、管理专网以及数据中心网络 3 套网络进行组网, 拓扑架构如图 2 所示。公共校园网用于师生通过有线/无线方式接入, 访问学术期刊数据和互联网资源, 满足教学、科

研、办公、服务的需求; 管理专网用于承载智能化业务系统, 如安防监控、一卡通、能源监控、视频会议等; 数据中心网络为数据中心服务器、业务系统、云平台等信息化设施提供基础网络支撑环境。

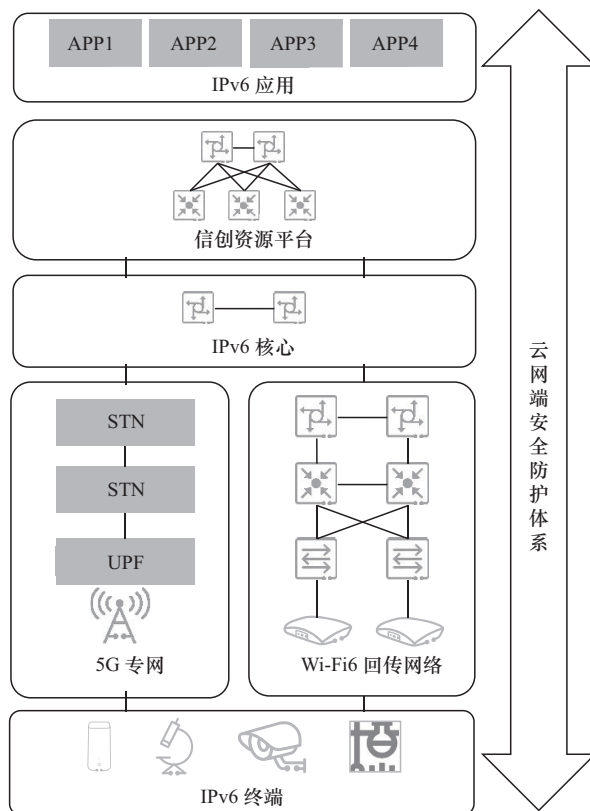


图 1 IPv6 与 5G 专网融合的新型数字底座架构

在 IPv6 协议支持方面, 全校各楼宇有线/无线网络均已支持 IPv4/IPv6 双栈, IPv6 日常用户流量峰值达 6Gbit/s, 并部署有 IPv4/IPv6 双栈域名解析系统。同时, 南开大学校园通过运营商 5G 基站和 5G 室分的部署, 已基本实现 5G 网络全覆盖。南开大学校园网络整体已具备打造基于 IPv6 的新型信息化基础设施, 并以此开展技术创新和融合应用的条件。

2 技术方案

2.1 关键技术

2.1.1 IPv6 技术

IPv6 是由互联网工程任务小组 (IETF) 在 1992 年推出的下一版本的互联网协议, 它对 IPv4 作了重大改进^[3]。作为下一代互联网的主导协议, IPv6 在地址空间、安全性、服务质量、移动性等方面展现出更为显著的优势。IPv6 协议与 IPv4 的主

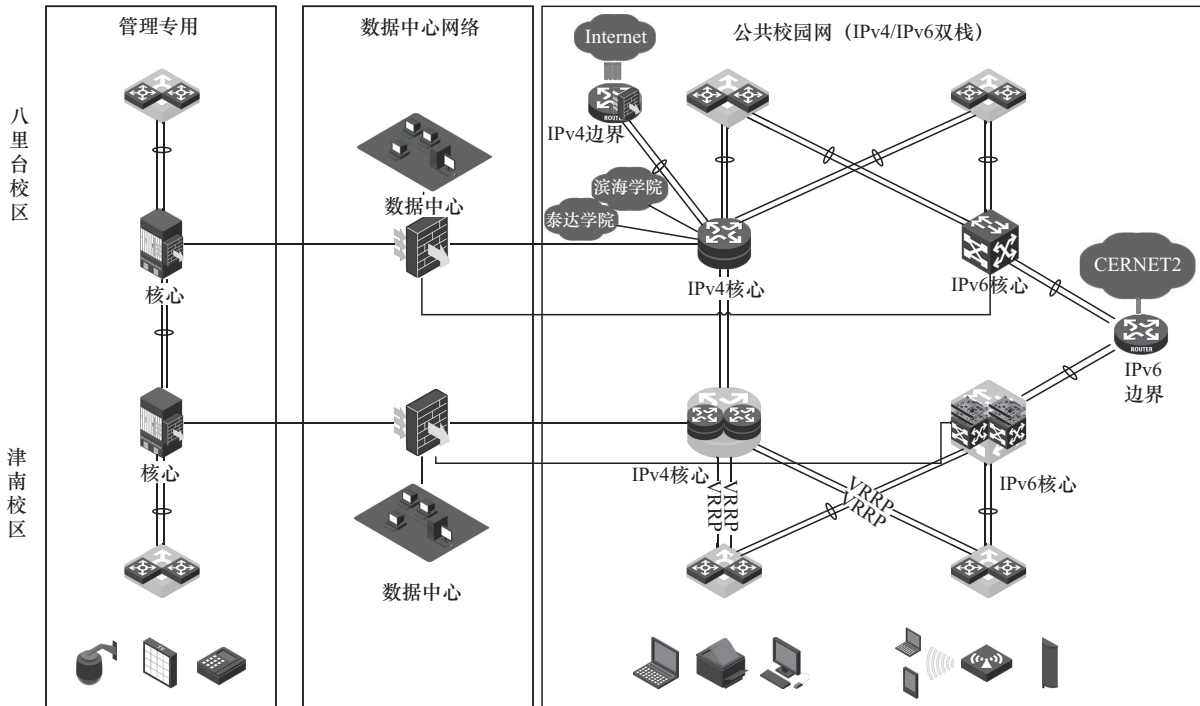


图2 南开大学校园网拓扑架构

要差异如表 1 所示。

IPv6 的推出，解决了 IPv4 存在的诸多不足问题。其最显著特点就是 IP 地址长度从原来的 32 bit 升级为 128 bit，摆脱了 IPv4 时代地址紧缺的困境。IPv6 海量的地址空间，可以满足当前及未来互联网设备数量的激增需求，从而为物联网、人工智能、大数据等新基建的发展提供坚实的网络支撑。

IPv6 协议本身具有更高级别的安全性设计，如内置身份验证、数据加密、增强的邻居发现机制等功能，可以极大提升下一代网络的安全性和可靠性，为数字化时代各行业的数据安全提供有力保障。

IPv6 通过简化的首部格式、层次化的地址结构、灵活的扩展首部等机制，提升了网络传输和处

理速度，同时引入流标签、优先级等机制，实现对流量的精细控制和管理。这有助于提升网络服务的稳定性和可靠性，确保业务的连续性和高效性。

随着信息化技术的发展和互联网的普及和应用，IPv4 地址资源已经处于耗尽状态，全球互联网向 IPv6 过渡已经成为必然趋势。《2023 全球 IPv6 支持度白皮书》等资料显示，全球范围 IPv6 的部署和应用正经历迅猛增长，特别是在中国，IPv6 的用户数量呈显著增长态势。这种趋势反映了互联网向下一代演进的必要性和紧迫性，同时也预示着 IPv6 将在未来互联网的发展中扮演更加重要的角色。

随着 IPv6 的快速发展，近年来，以 IPv6 分段路由、网络切片、随流检测、新型组播和应用感知网络等为代表的 IPv6+ 协议创新和以网络分析、自

表 1 IPv4 与 IPv6 比较

协议特点	IPv4	IPv6
地址长度	32 bit, 理论上可以提供 2^{32} 个 IP 地址。采用点分十进制, 形如 192.168.8.100	128 bit, 理论上可以提供 2^{128} 个 IP 地址。采用冒号分隔的十六进制表示, 形如 2001:250:401:8018:159d:c85:f7d5:e63b
首部格式	由 20 B 的固定部分和长度可变的可选字段组成	由 40 B 的基本首部组成, 允许有 0 个或多个扩展首部
地址层次结构	IPv4 单播地址由网络号和主机号组成	IPv6 单播地址全局路由由前缀、子网 ID 和 64 bit 接口 ID 组成
地址配置方法	静态手工配置与 DHCP 服务动态配置	除静态手工配置与 DHCPv6 服务动态配置外, 还支持无状态自动配置获得全球唯一的路由地址
安全机制	大多通过应用程序建立, 网络层的安全性考虑得较少, 容易受到假冒、篡改等安全风险	内置互联网安全协议 (IPSec) 功能, 在网络层提供不同级别的安全性

动调优、网络自愈等网络智能化为代表的 IPv6+ 技术创新^[4]，充分释放了 IPv6 的灵活开放能力，推动了下一代互联网服务能力的增强，并为各行各业的数字化转型奠定了坚实的基础。

2.1.2 5G 双域专网

5G 专网是基于切片技术实现逻辑隔离的 5G 专用网络^[5]。5G 专网可以根据用户不同场景的需求，提供高速率、低时延、高可靠的定制化移动通信服务，同时还具有高安全性、高灵活性和高可控性等特点，广泛应用于工业互联网、公共服务、医疗、教育等行业^[6]。5G 双域专网则是以 5G 专网技术为基础，通过部署用户平面功能（UPF）网元，实现 5G 用户同时访问互联网（公网）和企业内部专网（内网）的技术。5G 双域专网通过对公网、内网访问进行识别和数据的有效分流，实现内网安全隔离访问，确保用户核心数据的保密性。

在 5G 双域专网的网络分流方案中，通常包含 2 种技术路线^[7]：一种是沿用传统 4G 的接入点名称（APN）/数据网络名称（DNN）的方式，即通过专用 DNN 实现内网流量疏导；另一种是 5G 标准中提

出的一种本地分流架构，将用户专网流量在指定的设备上疏导，即上行链路分流器（ULCL）^[8]方式，仅限 5G 接入支持。ULCL 方式可以采用通用 DNN 实现分流，采用专用 DNN，则需要进行终端配置或定制化改造。5G 双域专网结构如图 3 所示。

相较于传统的 Wi-Fi 校园网络，5G 双域专网拥有更广泛的覆盖范围以及无感的网络分流优势。这表明 5G 能够在更广阔的区域，例如整个城市或跨省界，提供稳定的专用网络连接。此外，5G 网络能够在用户无感知的情况下，实现终端设备的内网与外网分流，无须借助 VPN 等辅助工具，从而为用户带来更为流畅的上网体验。

2.2 建设路线

IPv6 与 5G 融合的新型数字底座构建工作，结合了南开大学校园网 IPv6 部署现状，围绕新网络（信息网络新型基础设施）、新平台（平台体系新型基础设施）、新安全（可信安全新型基础设施）等方面进行重点建设，按照“网络搭建-平台部署-安全防护”的建设路线，推进信息化基础设施的 IPv6 改造，各部分的建设内容如表 2 所示。

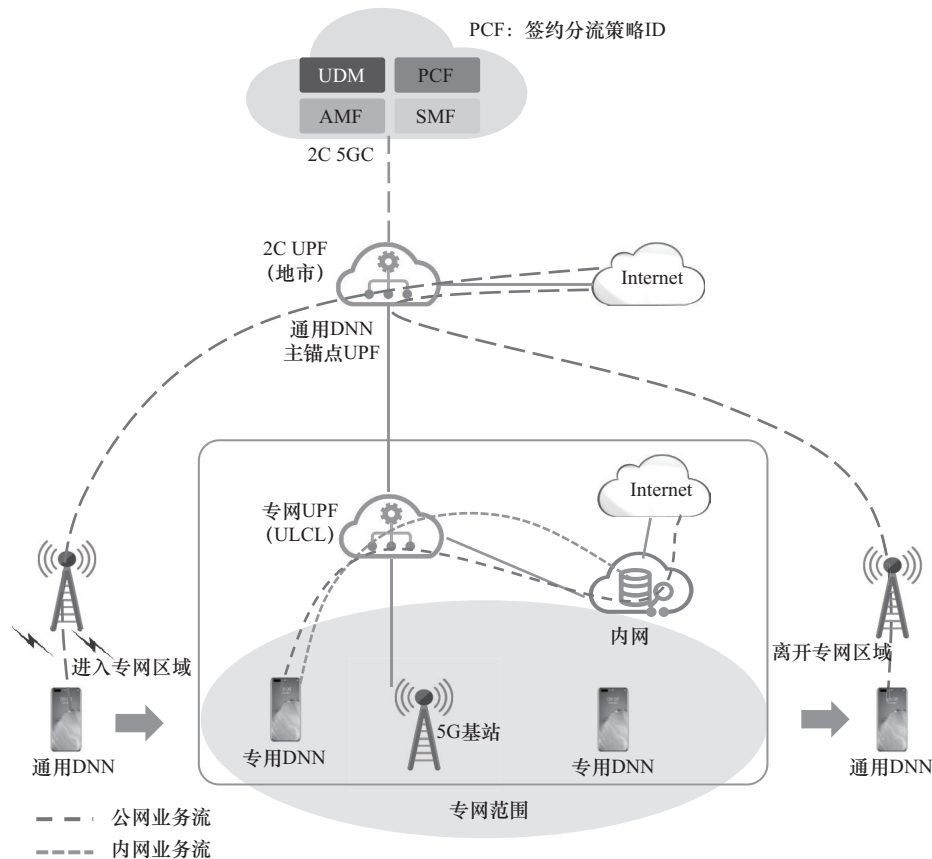


图3 5G 双域专网结构

表2 新型数字底座建设内容

建设路线	重点建设内容
网络搭建(新网络)	基于 IPv6 融合 Wi-Fi 校园网与 5G 专网部署 信创计算资源平台搭建
平台部署(新平台)	物联网平台部署测试 IPv6 智慧教室视频采集业务系统试点部署
安全防护(新安全)	IPv6 安全防护体系构建

2.2.1 网络搭建

本文基于 IPv6 单栈部署技术，通过融合 Wi-Fi 校园网与 5G 专网，进行信息网络新型基础设施的构建，如图 4 所示。通过无线校园网升级改造等项目，在南开大学八里台校区、津南校区以及泰达学院校区等的教学办公、生活区域实现了 Wi-Fi 的全面覆盖，并开通了 IPv6 接入能力。IPv6 网络核心开启无状态地址自动配置 (SLAAC) 方式进行 IPv6 地址分配。同时，在域名解析系统 (DNS) 部署 IPv4/IPv6 双栈解析服务的基础上，提供单栈解析服务能力。

5G 双域专网则采用了 UPF+MEC 网络系统总体架构设计，采用下沉式独享型 UPF，UPF 通过防火墙与学校 IPv6 核心互联，实现与 Wi-Fi 校园网络

在 IPv6 层面的互通。为了实现通过域名访问内网业务系统的需求，在 UPF 侧配置 DNS Rewrite 功能，支持 5G 终端通过内网 DNS 服务器进行域名解析并访问校园内网应用。

在 5G 专网的分流方案方面，采用了 ULCL 分流方案，同一协议数据单元 (PDU) 会话根据目的 IP 和 DNS 域名的不同进行分流，即在用户的会话中插入 ULCL UPF 和辅锚点 UPF，ULCL UPF 根据用户的目的 IPv6 和 DNS 域名识别校园的业务并通过辅锚点 UPF 进行校园流量本地分流，其他访问公网的流量仍从主锚点 UPF 出口，具体情况如图 5 所示。

2.2.2 平台部署

为实现 IPv6 应用系统的落地部署，在构建新型数字底座的整体框架下，建设了 IPv6 信创资源平台，包括 10 个节点，采用鲲鹏 920 ARM 架构计算集群，包含 1 000 物理核计算资源、10 TB 存储资源。按照业务系统较通用的集群化部署资源需求量 (如表 3 所示) 进行评估，信创集群在资源使用量 (按 CPU) 达到 80% 的情况下可支撑部署近 30 个 IPv6 应用。

同时，基于国产麒麟系统，采用了 IPv6 Only

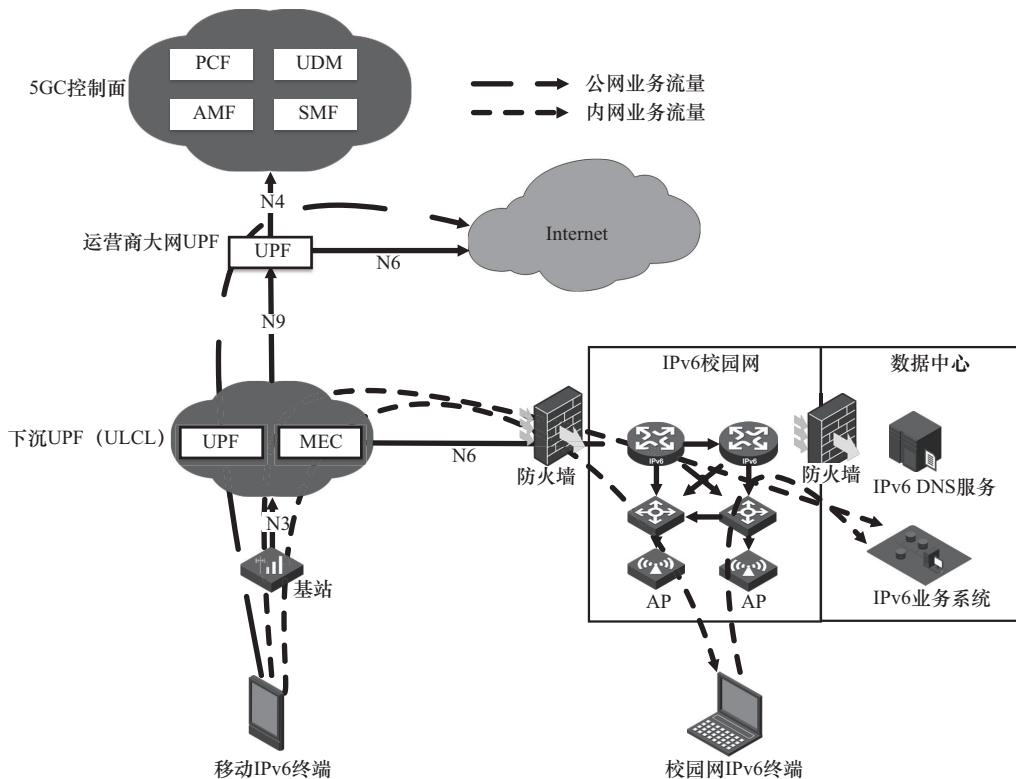


图4 Wi-Fi校园网与5G专网融合结构

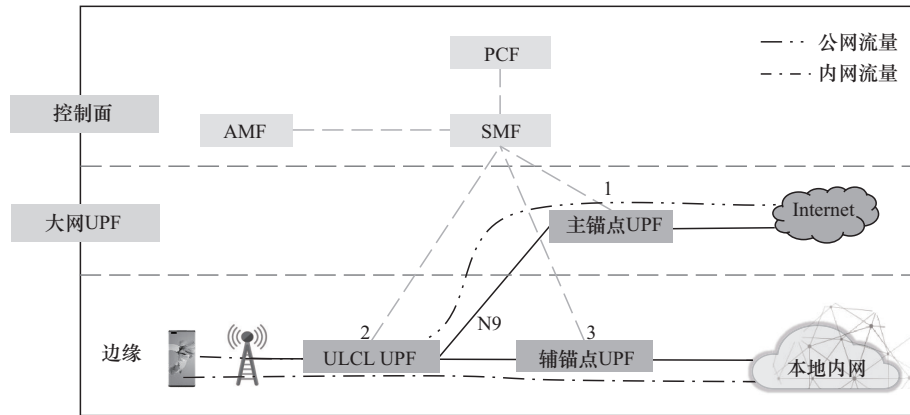


图5 ULCL分流方案

表3 集群化部署资源需求

服务器用途	主机类型	数量/台	操作系统	vCPU	内存/GB	硬盘/GB
业务应用服务器	X86平台信创云主机	3	麒麟/欧拉	4C	8	100
代理服务器	X86平台信创云主机	1	麒麟/欧拉	2C	4	100
文件服务器	X86平台信创云主机	1	麒麟/欧拉	4C	8	100
数据库服务器	X86平台信创云主机	2	麒麟/欧拉	8C	32	200

的配置，搭建了国产开源物联网平台进行可行性验证，如图6所示。

在IPv6试点应用方面，聚焦教学场景，在智慧教室的建设过程中，通过部署支持IPv6的摄像头实现对课堂实况的采集，目前共有340间智慧教室支持通过IPv6进行在线巡课，相关情况如图7所示。

2.2.3 安全防护

为确保创新应用运行在安全可信的环境中，针对IPv6建成了由防火墙、反向代理、WAF等组成的全方位、多维度网络安全防护体系（如图8所示），实现了对学校数据中心信创平台全覆盖的安

全防护能力。

3 创新点

IPv6和5G融合的新型数字底座构建，基于新网络、新平台、新安全的建设理念，形成了基于IPv6协议的可交付的新型基础设施整体解决方案，为智慧校园IPv6创新应用的部署提供了开箱即用的能力。

3.1 IPv6与5G专网的融合部署

IPv6地址作为全球唯一地址，可以避免运营商5G专网使用RFC1918定义的私有IPv4地址产生的

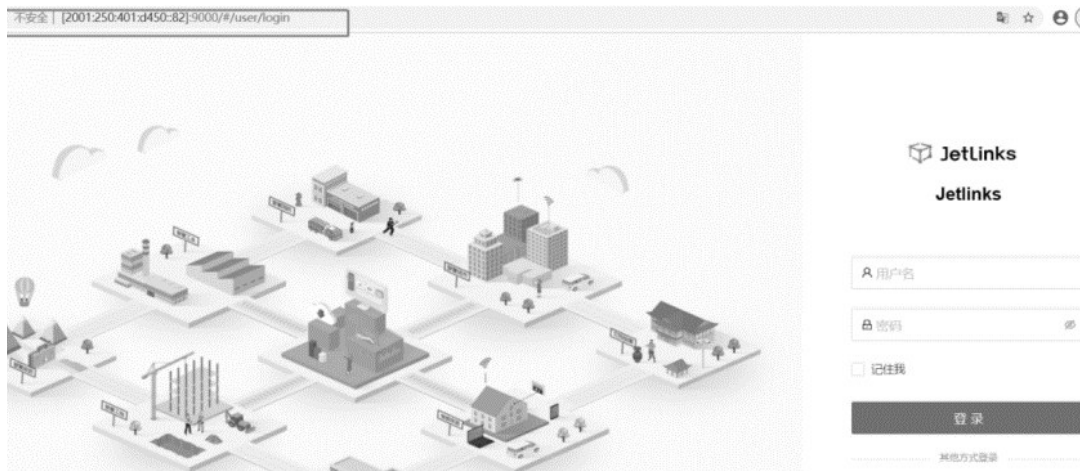


图6 IPv6物联网平台验证

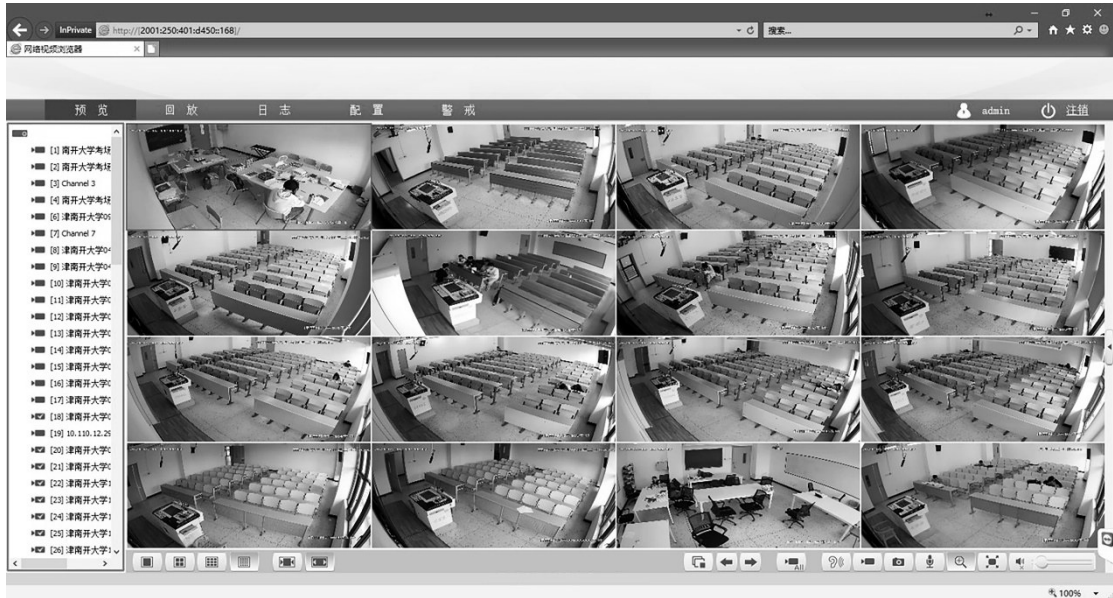


图 7 IPv6 智慧教室视频采集业务系统试点部署

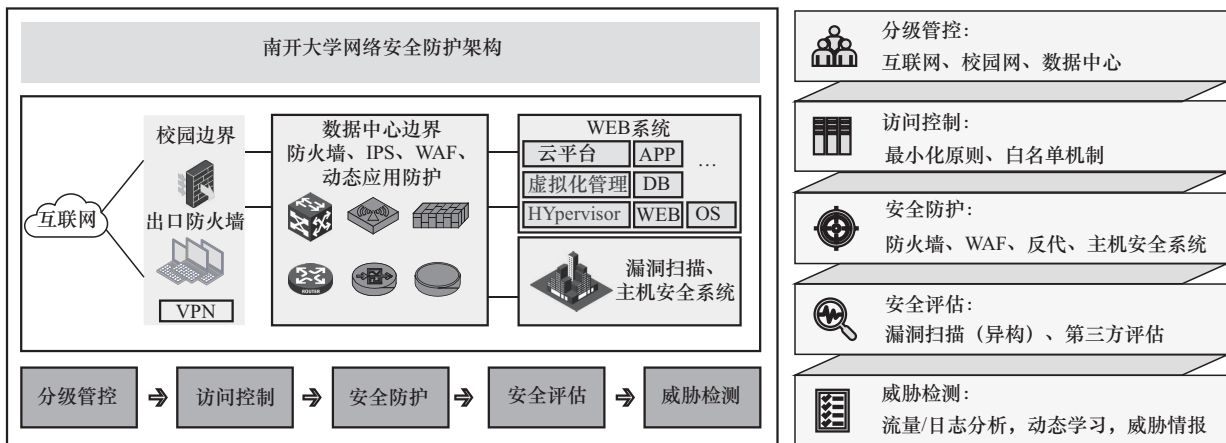


图 8 IPv6 网络安全技术防护架构

地址冲突问题，从而可以简化拓扑和管理成本。同时，IPv6 所提供的庞大地址空间突破了传统 IPv4 地址数量的限制，为海量物联网终端的接入开辟了广阔前景，为智能安防、智能照明、智能能源管理等智慧校园业务的开展提供了坚实的基础支撑。

3.2 信创平台的 IPv6 适配

通过对国产化基础硬件和信息系统在 IPv6 的环境中进行部署和评估，确保其在 IPv6 环境下的兼容性和稳定性，可以有效推动信息技术创新，提升网络基础设施的现代化水平，为未来互联网的发展奠定坚实基础。

3.3 全面的安全防护体系

结合新型基础网络、信息技术应用创新平台，通过基于 IPv6 的全方位的安全防护体系的建立，

使新型数字底座具备了完整交付新网络、新平台和新安全等信息化基础设施的能力，并为 IPv6 创新应用的落地部署提供了成熟的安全环境。

4 结束语

IPv6 与 5G 融合的新型数字底座研究与构建整体工作，通过 IPv6 技术融合 Wi-Fi 校园网络和 5G 专网，构建了信创资源平台，进行了下一代互联网技术的适配，建立起符合“信创”要求的技术底座和技术体系，推动教育信息系统的“升级替换”，也为我校未来的数字化转型和智能化信息化发展提供有力支撑，并取得了良好效益。

打通 Wi-Fi 校园网络和 5G 通信网络，实现一张全校无死角覆盖的下一代无线基础网络平台，为服

务于学校教学、科研、办公和生活的智能业务系统提供跨校区的接入能力,为基于下一代互联网的智慧校园应用提供底座支撑能力。

通过项目建设,构建了基于单栈 IPv6 的新一代网络平台和计算资源平台,打造 IPv6 科研创新生态,为 IPv6+ 体系技术提供实验环境和落地部署条件,促进我校下一代互联网人才培养。

通过 IPv6、5G 等技术的融合,带动上下游相关产业的发展,在推进关键网络设备国产化普及、促进核心技术自主化方面发挥作用,提升生产能力,促进社会经济发展。

参考文献:

- [1] 刘治纲. 校园网与 5G 融合模式研究[J]. 中国教育网络, 2022(6): 79-80.
LIU Z G. Research on integration mode of campus network and 5G[J]. China Education Network, 2022(6): 79-80.
- [2] 孙玮. 一种 5G 融合校园网部署方案[J]. 电信科学, 2023, 39(12): 133-143.
SUN W. A deployment scheme of 5G fusion campus network[J]. Telecommunications Science, 2023, 39(12): 133-143.
- [3] 梁艳. IPv6 技术综述[J]. 福建电脑, 2008, 24(5): 27, 50.
LIANG Y. Overview of IPv6 technology[J]. Fujian Computer, 2008, 24(5): 27, 50.
- [4] 田辉, 魏征. “IPv6+”互联网创新体系[J]. 电信科学, 2020, 36(8): 3-10.
TIAN H, WEI Z. IPv6+ innovation of the NGI[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(8): 3-10.
- [5] 赵恒梅, 冷昕. 基于 5G 专网的智慧校园建设应用[J]. 信息与电脑(理论版), 2024, 36(3): 42-46.
ZHAO H M, LENG X. Application of smart campus construction based on 5G private network[J]. Information & Computer, 2024, 36(3): 42-46.
- [6] 罗凤娅. 5G 定制专网典型案例对比及标准化模式分析[J]. 通信与信息技术, 2024(4): 54-58.
LUO F Y. Case sharing of 5G customized private network and mode standardization recommendation[J]. Communication & Information Technology, 2024(4): 54-58.
- [7] 赵际洲, 周欣, 谷群, 等. 5G 双域专网解决方案浅析[J]. 移动通信, 2022, 46(1): 20-26.
ZHAO J Z, ZHOU X, GU Q, et al. A brief analysis of 5G dual domain solution for private networks[J]. Mobile Communications, 2022, 46(1): 20-26.
- [8] 王韬, 胡前笑, 郑康, 等. 5G 双域专网解决方案的研究与部署[J]. 江苏通信, 2023, 39(5): 20-23.
WANG T, HU Q X, ZHENG K, et al. Research and deployment of 5G dual-domain private network solution[J]. Jiangsu Communication, 2023, 39(5): 20-23.

[作者简介]



林初建 (1979-), 男, 浙江温州人, 南开大学高级实验师, 主要研究方向为教育信息化、计算机网络。



焦宝臣 (1982-), 男, 天津人, 博士, 南开大学高级工程师, 主要研究方向为计算机应用。



梁哲龙 (1994-), 男, 广西玉林人, 南开大学工程师, 主要研究方向为教育信息化、网络安全、微波通信。



朱悦 (1990-), 男, 河北唐山人, 南开大学工程师, 主要研究方向为教育信息化、计算机网络。



赵星 (1980-), 男, 北京人, 博士, 南开大学教授, 主要研究方向为光电成像技术、应用光学、光学信息处理。



李涛 (1977-), 男, 山东泰安人, 博士, 南开大学教授、博士生导师, 主要研究方向为异构计算、智能物联网、区块链系统等。