

基于 MSTP 协议和 5G 双域技术的校园融合组网方法研究

马 峰¹ 李 行¹ 张 典¹

MA Zheng LI Hang ZHANG Dian

摘 要

在高校多校区网络建设中,当前组网技术存在功能单一、适用范围有限、安全性低、维护成本较高等问题,无法满足数字化转型对网络高速互联互通和安全稳定的要求。首先梳理了校园常用组网技术,并研究了融合组网技术原理。然后在此基础上,提出了一种校园融合组网方法,利用 MSTP 协议和 5G 双域网技术实现适用于不同场景的传输技术整合,整体实现链路保障、接入鉴权、安全隔离、分析预测功能。最后在学校真实校园网环境中完成融合组网部署测试,实验结果达到预期成效。

关键词

校园网; MSTP; 5G 双域; 融合组网; 流量预测

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.04.008

0 引言

中国地质大学位于武汉东湖国家自主创新示范区和光谷科创大走廊腹地,现有南望山校区、未来城校区,在北京周口店、河北北戴河、湖北秭归和巴东设有实习基地和野外地质教学实习场。经过多期建设,学校目前已形成基本齐全的信息化支撑环境,建立了技术先进、架构合理、有线和无线全校覆盖的校园网。所有教学、实验、科研、办公楼群有线、无线网络全覆盖,万兆主干到楼宇,100~1000 Mbit/s 到桌面,所有学生宿舍全覆盖。校园网络出口总带宽 20 GB,全校网络认证活跃用户达近 500 00 人。

为满足学校两个校区、四个实习基地、多个野外实习场和校外师生的网络需求,实现校园网的全面覆盖和无边界互联互通,有效保障线下线上一体教学、远程教学、数字孪生、科研合作等现代化教学的开展,同时也为智慧校园系列信息化应用提供基础网络环境保障,亟需为师生提供稳定、安全、便捷、灵活的跨校区、跨区域、跨运营商的校园网络。

宁伯强^[1]提出基于 WDM 光电解耦技术的广电 OTN 网络建设方案,并通过测试对所提方案进行验证,为 100 G OTN 在骨干传输网的应用打下理论与实践基础。陈增吉^[2]提出了利用 MSTP 协议,实现路由冗余和负载均衡的企业组网设计方案,并得到了良好的使用效果。唐俊勇等人^[3]提出了 MSTP 协议在单区域内实现网络负载均衡的方法,从而分流负载和优化网络。赵际洲^[4]、谢永安^[5]、陈力^[6]分别围绕 5G 双域专网、5G 校园专网、5G 智慧园区专网等提出建设方案与实践思路。董芸等人^[7]提出了 5G 专网接入安全管控方案,

包括组网方案和系统能力,并介绍了该方案在校园、金融、电力、工业 4 个行业场景的应用实践。

光纤链路、运营商专线、VPN 线路、5G 专网、5G 公共网在传输带宽、接入便捷性、安全性、稳定性、覆盖范围等方面各有优势。多种网络传输和网络接入技术如何择优部署和协同工作,需要设计校园网融合组网方法。该方法既要满足多种场景下远程传输的要求,也要兼顾传输安全性、使用便捷性和建设运营成本等因素。

1 融合组网技术原理

1.1 VPN 技术

虚拟专用网络(virtual private network, VPN)^[8]可以通过特殊的加密的通信协议为连接在 Internet 上的位于不同地方的两个或多个机构内部网之间建立一条专有的通信线路,通信线路通过加密技术构建,但是它并不需要真正铺设光缆之类的物理线路。

VPN 网络是建立在实际网络(或物理网络)基础上的一种功能性网络。它利用低成本的公共网络作为骨干网,同时又克服了公共网络缺乏保密性的弱点。在 VPN 网络中,位于公共网络两端的网络在公共网络上传输信息时,其信息都是经过安全处理的,可以保证数据的完整性、真实性和私有性。采用不同加密传输协议,常见 VPN 技术包括 IPSec VPN、GRE VPN、L2TP VPN、MPLS VPN 等,其中 IPSec VPN 是校园网跨校区 VPN 组网常用技术。

IPSec VPN^[9]即指采用 IPSec 协议来实现远程接入的一种 VPN 技术,IPSec 全称为 internet protocol security,是由 internet engineering task force(IETF)定义的安全标准框架,

1. 中国地质大学(武汉) 湖北武汉 430074

用以提供公用和专用网络的端对端加密和验证服务。

IPsec 提供了两种安全机制：认证和加密。认证机制使 IP 通信的数据接收方能够确认数据发送方的真实身份以及数据在传输过程中是否遭篡改。加密机制通过对数据进行加密运算来保证数据的机密性，以防数据在传输过程中被窃听。IPsec 协议中的 AH 协议定义了认证的应用方法，提供数据源认证和完整性保证；ESP 协议定义了加密和可选认证的应用方法，提供数据可靠性保证。

1.2 WDM 技术

波分传输技术(wavelength division multiplexing, WDM)^[10]是一种用于光纤通信系统的技术，它能够同时传输多个不同波长的光信号，从而实现高带宽和高容量的数据传输。WDM 技术是光纤通信中的重要技术之一，它在光纤中利用不同的波长将多个光信号进行复用，使得光纤的传输能力大大提高。

WDM 技术的基本原理是利用不同波长的光信号在光纤中传输，并通过光学器件（如波分复用器和波分解复用器）进行分离和合并。如图 1 所示，在发送端，多个光源产生不同波长的光信号，然后通过波分复用器将它们合并为一个复合光信号，然后通过光纤进行传输。在接收端，通过波分解复用器将复合光信号分解为不同波长的光信号，然后分别进行解调和处理。

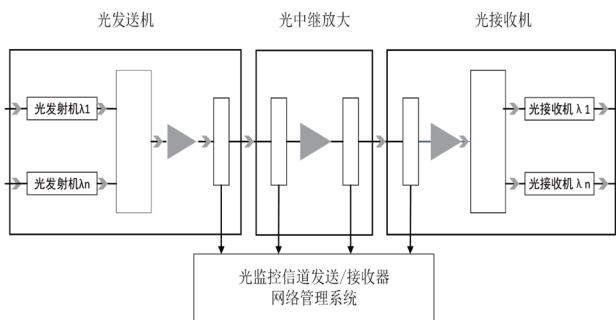


图 1 WDM 技术基本原理

WDM 技术有两种主要的实现方式：密集波分复用（DWDM）和波分复用（CWDM）^[11]。DWDM 技术使用更密集的波长间隔。如图 2 所示，通常在 0.8 ~ 0.4 nm 之间，可以同时传输数十个或数百个波长。CWDM 技术使用较宽的波长间隔，通常在几纳米到数十纳米之间，可以同时传输几个波长。通过同时传输多个波长的光信号，可以大大提高光纤的传输能力，实现高带宽和高容量的数据传输。WDM 技术可以根据需求增加或减少传输的波长数量，具有很高的灵活性和可扩展性。相比于传统的单波长传输方式，WDM 技术可以减少光纤的使用量，降低系统的成本。WDM 技术可

以与其他光纤通信技术（如光放大器、光开关等）结合使用，具有良好的兼容性。

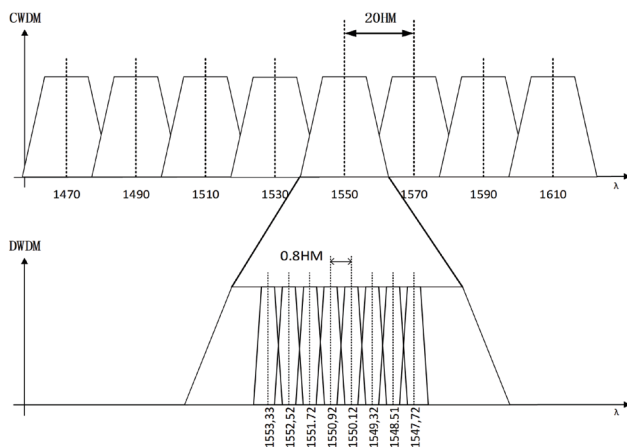


图 2 波分复用实现方式

1.3 5G 双域技术

第五代移动通信技术（5th generation mobile communication technology, 5G）具备大带宽、低延迟、广连接、本地产生、本地终结等特点。5G 在教育领域的应用主要围绕智慧教育开展。凭借 5G 低时延、高速率特性，结合 VR/AR/ 全息影像等技术，可实现实时传输影像信息，为两地提供全息、互动的教学服务，提升教学体验。

5G 双域网络技术^[12]以 5G 网络为基础，通过部署分流上行链路分流器（uplink classifier, ULCL）用户面功能（user plane function, UPF）网元，满足 5G 用户“不换卡、不换号、无感切换”，随时随地、安全便捷地访问互联网和企业专网。用户在 4G/5G 网络下，无感切换同时访问公网和专网，避免了漫游地网络升级改造，极大地缩短了网络部署时间。

5G 校园专网可按需进行广覆盖，小可至某一校园、某一地市，大可支持全省乃至全国漫游；网络侧可根据 PCF 签约识别用户是否为对应校园用户，用户激活即可自动连接校园网，无需用户手动认证；5G 可实现室内室外连续覆盖无死角，且容量更大，抗干扰强，移动性更好，提升访问体验；一机一卡接入可同时访问公网和专网，网络负责分流，用户无感知；基于 5G 网络可大幅降低拉设大量光纤和网线的施工周期、部署难度和线路维护成本，并由运营商集中运维，无需校园信息中心运维 5G 校园网络。

二次鉴权^[13]是指在终端在成功接入到 5G 网络以后，要访问校园网络时，需要再次进行的鉴权，叫作二次鉴权。而 5G 终端接入到 5G 网络时通过 UDM 进行的鉴权认证就是第一次鉴权。

如图 3 所示，二次鉴权时，终端必须带上特殊的用户凭证信息，这个用户凭证不是来自运营商的凭证，而是终端与校园网之间的凭证，这个凭证一般是学校签发的凭证（比如用户名、密码等）。认证是在终端与学校统一身份认证服务器之间进行的。二次鉴权使用的是标准 RADIUS 协议工作，协议格式如图 4 所示。



图 3 5G 网络二次鉴权流程图

0	8	31
Code	Packet Identifier	Packet Length
Authenticator		
Attribute		

图 4 RADIUS 协议报文格式示意图

报文格式说明及字段含义如表 1 所示。

表 1 RADIUS 报文字段说明

字段	长度	说明
Code	1 Byte	标识消息类型，如接入请求、接入允许、计费请求等
Packet Identifier	1 Byte	包 ID，一般是顺序递增的数字，取值范围是 0 ~ 255，用于匹配请求包和响应包
Packet Length	2 Byte	报文长度，是整个报文中所有域的长度
Authenticator	16 Byte	验证字用于验证 RADIUS 报文及 RADIUS 服务器的合法性。收到 RADIUS 报文的一方要查看该签名的正确性
Attribute	可变	Radius 消息的内容主体属性字段，承载认证、授权、计费以及配置等信息。采用 TLV 格式，主要是用户相关的各种 AVP 属性

其中，Attribute 字段长度可变，为 Radius 消息的内容主体属性字段。在二次鉴权通信时，携带鉴权相关 AVP 属性，如表 2 所示。在二次认证的过程中，认证服务器可以给 5G 网络反馈访问此业务相关的用户名、IPv6 地址、IPv4 地址、MAC 地址等重要信息。5G 网络就可以基于这些参数去实现

校园网的安全连接与访问。

表 2 二次鉴权 Radius Attribute 属性格式表

属性名称	标准 radius 含义	5G 二次鉴别含义
radius.User_Name	用户名，用于认证计费	二次鉴权时协商的账号，如果只通过记账进行鉴权，则没有该属性
radius.NAS_IPv6_Address	用户 IPv6 地址	用户 IPv6 地址
radius.Framed-IP-Address	用户 IPv4 地址	用户 IPv4 地址
radius.Calling_Station_Id	用户终端 mac 地址	签约用户手机号

此外，在二次认证的过程中，认证服务器也可以给 5G 网络反馈访问此业务相关的 QOS 参数、用户计费以及策略控制信息、VLAN 信息、L2TP 信息等。5G 网络就可以基于这些参数实现对鉴权终端网络的精准管控。

1.4 MSTP 协议

生成树协议 STP（spanning tree protocol）^[14] 的提出是为了解决交换网络中的环路问题。为了在以太网交换网络中进行链路备份，提高网络可靠性，通常会使用冗余链路。但是使用冗余链路会在交换网络上产生环路，引发广播风暴、MAC 地址表不稳定等故障现象，从而导致用户通信质量较差，甚至通信中断。该协议可应用于在网络中建立树形拓扑，消除网络中的环路，并且可以通过一定的方法实现路径冗余。

MSTP 是多生成树技术 ^[15]，允许在一个交换环境中运行多个生成树，每个生成树成为一个实例。如图 5 所示，实例之间的生成树彼此独立，比如一个实例下的阻塞接口在另一个实例中可能是转发接口。和 PVST 不同的是，MSTP 允许多个 VLAN 运行一个生成树实例。大部分情况下，运行多个生成树实例的好处就在于链路的负载分担，但是当只有一个冗余链路时，运行两个生成树实例完全可以实现负载均衡，同时又能节约系统开销。

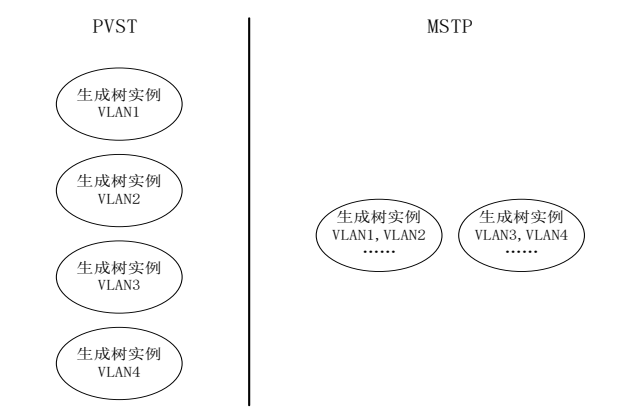


图 5 PVST 与 MSTP 技术原理对比

MSTP^[16-17] 的原理是把整个互联的二层以太网划分成若干域，在域内，把其中的 VLAN 分成若干组，每组具有相同的拓扑结构，然后定义若干 MSTI，并把这些生成树实例和

不同的 VLAN 映射起来。所谓实例就是多个 VLAN 的一个集合。通过将多个 VLAN 映射到一个实例，可以节省通信开销和资源占用率^[18]。MSTP 各个实例拓扑的计算相互独立^[19]，在这些实例上可以实现负载均衡。可以把多个相同拓扑结构的 VLAN 映射到一个实例中，这些 VLAN 在接口上的转发状态取决于接口在对应 MSTP 实例的状态。

2 校园融合组网方法设计

2.1 整体框架

目前行业有多种组网技术方案可实现高校多校区的校园网络互联互通。每种组网技术方案优势不同，具体如表 3 所示。

表 3 网络传输技术方案对比分析表

技术方案	传输链路	优缺点说明	适用场景
虚拟专用网络 (VPN)	互联网公网	使用公网传输，部署灵活，加密实现安全保障，传输带宽一般小于 100 Mbit/s。配套设备及其带宽使用成本较低。	分支机构使用场景
波分传输技术 (WDM)	物联专用链路	传输带宽大，通过波分技术可达到 100 Gbit/s 以上传输带宽。稳定性适中，故障响应较慢。物理实现安全隔离。配套设备及其带宽使用成本高。	大带宽传输，同城传输为主
5G 业务专网	专网链路	线路传输质量较高，可支持 10 Gbit/s 传输带宽，可多条专线聚合扩展使用。稳定性高，故障较少，故障响应较快。逻辑实现安全隔离。带宽使用成本较高。	大带宽传输，可跨区域远距离传输
5G 公共网络	5G 公网	无线接入，覆盖广泛，使用灵活，延时较低，传输速率 300 Mbit/s 以上。需要二次鉴权保障安全。配套设备使用成本适中。	全国覆盖，移动使用场景

为充分发挥各种网络传输技术优势，综合考虑建设和运维使用成本，提出一种校园网融合组网方法，该方法逻辑框架如图 6 所示。

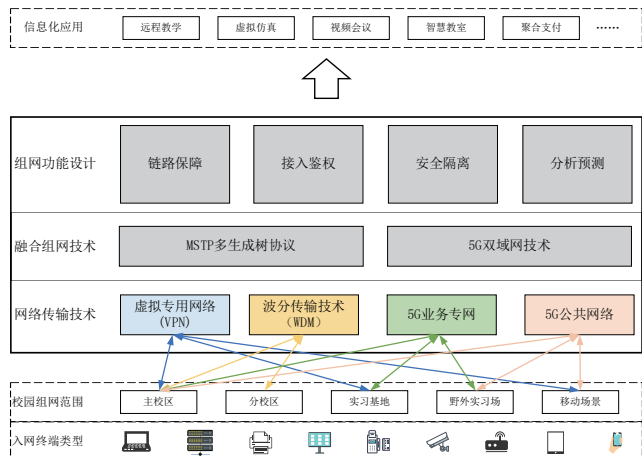


图 6 融合组网方法逻辑框架图

整体逻辑架构分配三个部分，下方虚线部分表示各校区、实习基地等校园网络覆盖区域和入网设备终端类型，上方虚线部分表示融合组网需要支撑的上层信息化应用场景，中间实线部分为融合组网方法的核心内容。

融合组网方法的核心内容分为三个逻辑层次。第一层为网络传输技术，包括虚拟专用网 (VPN)、波分传输及时 (WDM)、5G 业务专网和公共网络 4 种校园网常用网络传输技术，每种传输技术适用学校不同场景和区域，实现底层互联互通。第二层为融合组网技术，通过多生成树 (MSTP) 协议和 5G 双域及时实现，对底层传输技术的整合和安全加固，实现校园一张网的融合组网。第三层为组网功能设计，要实现校园一张网的建设目标，在进行多种网络传输技术融合组网时，需要围绕链路保障、接入鉴权、安全隔离、分析预测四个方向进行组网功能设计。

2.2 链路保障设计

MSTP 技术允许一个交换环境中运行多个生成树实例。每个生成树实例之间相互隔离，MSTP 通过设置 VLAN 与 MSTP 的映射表，将业务 VLAN 与 MSTP 对应，后续通过不同实例中接口的不同优先级，在保证冗余的情况下实现不同业务使用不同链路传输。

两校区互联链路采用“三主一备”方案为两校区业务提供稳定、高速的互联网络。其中采购两条裸纤，通过波分设备接入互联交换机，裸纤的优势在于带宽可自己控制，且中间无有源设备接入，除裸纤本身外均可由单位自己掌握；联通专线带宽为 20 GB，电信 IPRAN 专线带宽为 2 GB，两个运营商专线业务通过运营商直接提供波分及线路，优势在于稳定且运营商会协助监控线路。其中两条裸纤线路接入波分设备，波分与互联交换机通过两条尾纤形成一个聚合链路；当裸纤故障时，波分设备会自动切换线路。网络链路故障自动切换流程如图 7 所示。

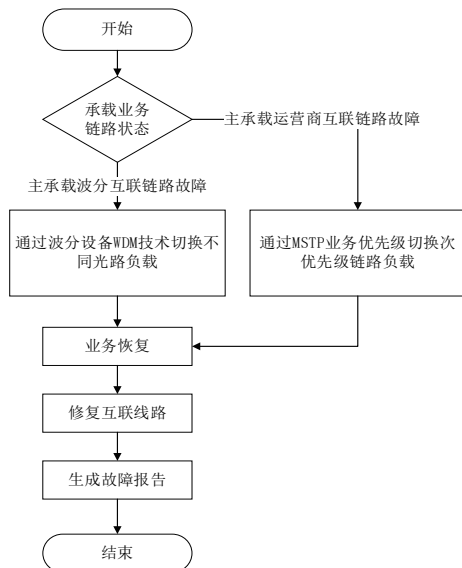


图 7 网络链路故障自动切换流程图

根据目前两校区业务，可将业务分为专网业务部分、用户上网和数据中心业务。如果以业务流量特征区分，应分为小流量关键业务、大流量重要业务。业务负载方面，使用了MSTP技术，对两部分业务分配了相应的生成树实例，生成树实例中对四条线路进行了优先级的定义，四条线路在两个实例中互为主备。

对四条线路的承载业务进行了定级，广佳、电信裸纤承载大流量重要业务，电信IPran承载小流量关键业务，联通专线则为两个业务的第二优先级的备份链路。

例如专网业务实例中，将稳定、低带宽的电信IPran线路定义为最高优先级，联通专线定义为第二优先级，裸纤为第三优先级；用户上网、数据中心业务实例中，将大带宽的裸纤业务定义为第一优先级，联通专线定义为第二优先级，IPran线路定义为第三优先级。当业务故障时，业务就会根据优先级依次向下负载。

但实际业务中业务不止两类，如智慧教室业务，存在录播流量数据，这种大流量专网业务可重新划分实例运行，也可分配至大流量重要业务中；MSTP协议多实例特性可灵活部署这种业务，且不影响现有业务。

将业务与线路结合分析，业务及线路分配方式如表4所示。

表 4 业务及线路分配表

MSTP 生成树实例	业务类型	VLAN	线路	带宽	COST 值	优先级
Msti 1	一般业务	1900-1999	波分线路	200 GB	1000	P1
			联通线路	20 GB	8000	P2
			电信 IPRAN 线路	200 MB	16000	P3
Msti 2	专网业务	100-120	大带宽线路	200 GB	16000	P3
			备用线路	20 GB	8000	P2
			小带宽线路	200 MB	1000	P1

2.3 接入鉴权设计

使用二次鉴权技术，保障公网用户终端接入的安全可控。如图8所示，用户终端接入5G网络，经过运营商第一次认证从UPF获取IP地址。运营商SMF发送radius报文给代理AAA，由代理AAA转发给学校AAA服务平台。学校AAA服务平台与学校统一身份认证平台对接，实现师生身份信息同步。当校验成功后，生成在线记录。授予终端校园网访问权限，从而实现用户无感接入校园网。如图8所示，用户接入鉴权数据流用虚线表示，用户网络业务数据流用实线表示。5G用户终端在运营商侧入网时，通过核心网3A服务器，完成第一次运营商接入鉴权。5G用户接入网络后，会触发代理3A服务器与学校侧3A服务器交互，完成第二次接入鉴权，从而实现运营商与校园网的双重接入鉴权安全认证机制。用户网络业务数据通过运营商与校园网部署的5G智能用户管

理网关，实现远程访问校内业务系统和校内外学术资源。

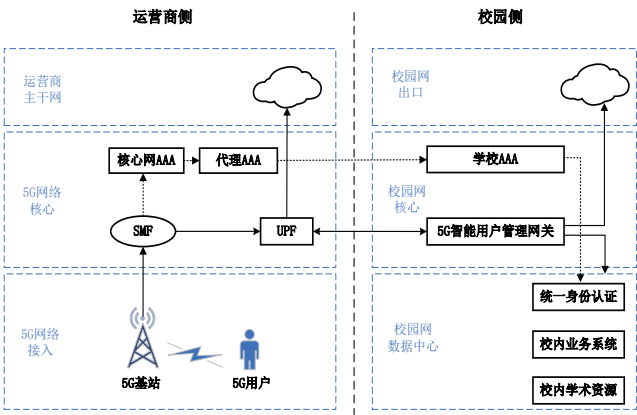


图 8 5G 终端融合组网接入鉴权网络拓扑图

2.4 安全隔离设计

为保障融合组网中各类业务的安全隔离，避免不同业务交叉影响，特别是部分专网业务需要在跨校区传输中保障安全合规，在融合组网方法中主要采用二层交换和三层路由两个维度的安全隔离。

2.4.1 二层交换隔离

融合组网方法中为不同业务分配独立的VLAN。隔离原理如图9所示，相同VLAN下入网终端可以业务互访，不同VLAN下业务终端互访被阻断。当存在跨VLAN互访业务时，可以通过网关路由策略、SDN流表策略、防火墙策略等技术实现端到端精准控制。

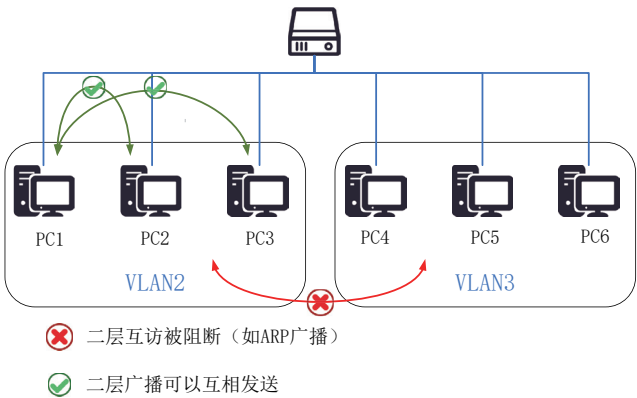


图 9 安全隔离原理示意图

2.4.2 三层路由隔离

虚拟路由转发（virtual routing and forwarding, VRF）允许在单一物理路由器上创建多个逻辑独立的路由实例。每个VRF实例拥有自己的路由表、IP地址池和其他网络参数。这种设计使得VRF能够在不增加硬件负担的前提下，实现网络隔离、流量控制和安全策略的精细化部署。

VRF为不同业务提供独立的路由和转发功能，确保业务数据的安全性和隐私性。利用VRF可以将校园网关键业务流

量与其他流量隔离，确保在遭遇网络攻击或故障时，关键业务能够保持连续运行。管理员利用 VRF 可以实现多域路由管理和策略控制，提高网络的扩展性和可维护性。

2.5 分析预测设计

为更好地支撑校园信息应用发展，在校园融合组网方法设计中，引入流量分析预测功能。通过基于对历史流量数据的采集、整理和数据分析，预测下一阶段校园网流量的变化趋势和流量极值，进而为带宽扩容、链路优化调整、核心业务保障策略配置和重大活动网络保障方案制定提供数据依据，进一步提升融合组网的业务支撑、带宽保障和应急响应能力。

为实现精准的流量分析预测，该功能设计采用传统 ARIMA 模型与 LSTM 神经网络模型相互验证的预测方法，引入两个不同原理的时序预测算法模型独立工作，为网络管理员提供预测结果，辅助做好网络管理。

2.5.1 ARIMA 模型

ARMA 模型 (autoregressive moving average model) [19]，即自回归滑动平均模型，是研究时间序列的重要方法，由自回归模型 (简称 AR 模型) [20] 与移动平均模型 (简称 MA 模型) [21] 为基础“混合”构成。公式可以表示为：

$$Y_t = c + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t \quad (1)$$

式中： Y_t 是时间序列数据。 ϕ_1 到 ϕ_p 是 AR 模型的参数，这些参数用来描述当前值与过去 p 个时间点值之间的关系。 θ_1 到 θ_q 是 MA 模型的参数，这些参数用来描述当前值与过去 q 个时间点的误差之间的关系。 ε_t 是在 t 时间点的误差项。 c 是常数项。

差分是一种预处理技术，用于使非平稳时间序列变得平稳。在时间序列中进行一阶差分，就是将每个观察值与其前一步的观察值进行比较，然后取这两个观察值之间的差异。时间序列 Y_t ，那么该序列的一阶差分就可以定义为：

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (2)$$

因此，ARIMA 模型 [22-23] 将自回归模型 (AR) 和移动平均模型 (MA) 结合在一起，同时加入了差分 (I) 这个操作。而 p 、 d 、 q 这三个参数，分别代表了模型中的自回归部分、差分阶数以及移动平均部分。

d 就是差分的阶数。差分的目标是将非平稳序列转变为平稳序列。 d 阶差分可以被表示为：

$$d_order_y = (1 - B)^d y_t \quad (3)$$

式中： B 为滞后运算， y_t 为时间序列。

在时间序列分析中，通常需要将非平稳时间序列转化为平稳时间序列，这种转化可以通过差分或其他预处理方法来

实现。自相关函数 (auto-correlation function, ACF) 和偏自相关函数 (partial auto-correlation function, PACF) 是时间序列分析中的两个重要工具，它们可以用来检验一个时间序列是否平稳，以及帮助确定 ARIMA 模型的参数。

2.5.2 LSTM 神经网络

LSTM (long short-term memory) [24-25] 是一种长短期记忆网络，是一种特殊的循环神经网络，更加适用于处理和预测时间序列中间隔较长的重要事件。

LSTM 结构包括了记忆细胞、输入门、输出门和遗忘门这四个部分 [26]，能够有效地解决长序列问题。记忆细胞负责保存重要信息，输入门决定要不要将当前输入信息写入记忆细胞，遗忘门决定要不要遗忘记忆细胞中的信息，输出门决定要不要将记忆细胞的信息作为当前的输出。这些门的控制能够有效地捕捉序列中重要的长时间依赖性，并且能够解决梯度问题。这四个部分通过计算权重矩阵和输入信号的点积，并通过激活函数计算出每个门的输出值，再乘上记忆细胞值来进行最终计算。

相比于原始循环神经网络的隐层 [27]，如图 10 所示，LSTM 增加了一个细胞状态 C_t (cell state)，是 LSTM 中间一个时刻 t 的输入输出。

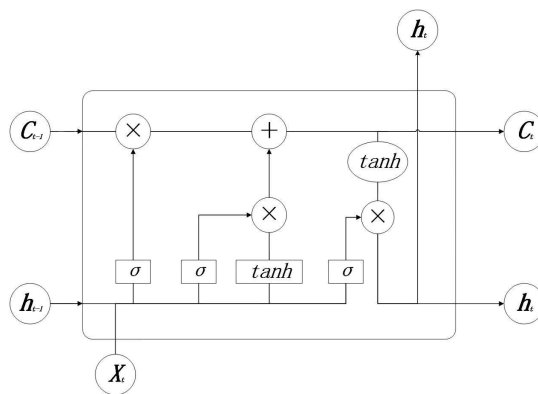


图 10 LSTM 算法逻辑图

LSTM 在 t 时刻有三个输入：细胞状态 C_{t-1} 、隐层状态 h_{t-1} 、输入向量 X_t ，而输出有两个：细胞状态 C_t 、隐层状态 h_t 。其中，细胞状态 C_{t-1} 的信息沿着上部传递， t 时刻的隐层状态与输入 X_t 会对 C_t 进行适当修改，然后传到下一时刻去。 C_{t-1} 会参与 t 时刻输出 h_t 的计算。隐层状态 h_{t-1} 的信息，通过 LSTM 的“门”结构，对细胞状态进行修改，并且参与输出的计算。

3 实验与结果分析

3.1 实验环境

为解决多种应用场景下的设备入网和网络质量保障要求，搭建融合组网环境，具体网络拓扑结构如图 11 所示。

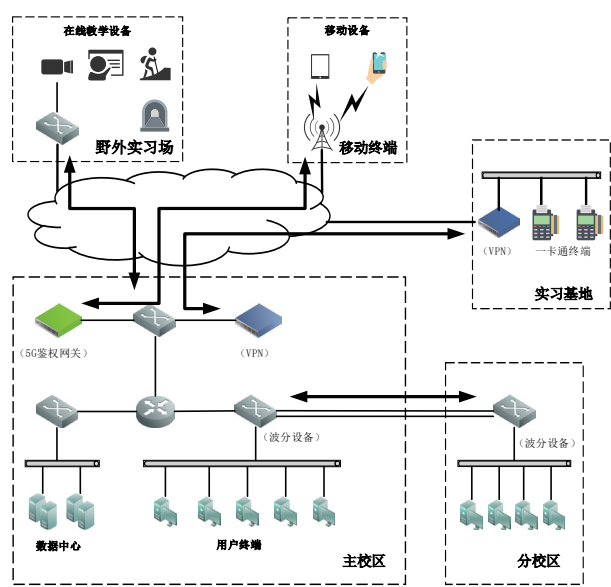


图 11 校园融合组网方法实验拓扑架构图

通过融合组网方式实现主校区、分校区、实训基地、野外实习场和移动终端的网络联通。主校区-分校区之间，采用波分链路和专线链路实现冗余互联，保障大带宽数据传输；主校区-实训基地之间，采用租用运营商广域网带宽部署 VPN 实现互联，保障一卡通应用；主校区-野外实习场之间，采用运营商 5G 专网实现互联，保障线上教学和户外场景覆盖；主校区-移动终端之间，采用 5G 公网实现互联，保障用户便捷接入。

3.2 传输质量实验结果

在实验时，为避免广域网流量带来的复杂因素对链路本身传输测试的影响，实验选在流量较小时进行，尽量准确反映传输技术的差异。测试时长 1 h，四种场景下的网络延迟测试结果如图 12 所示。

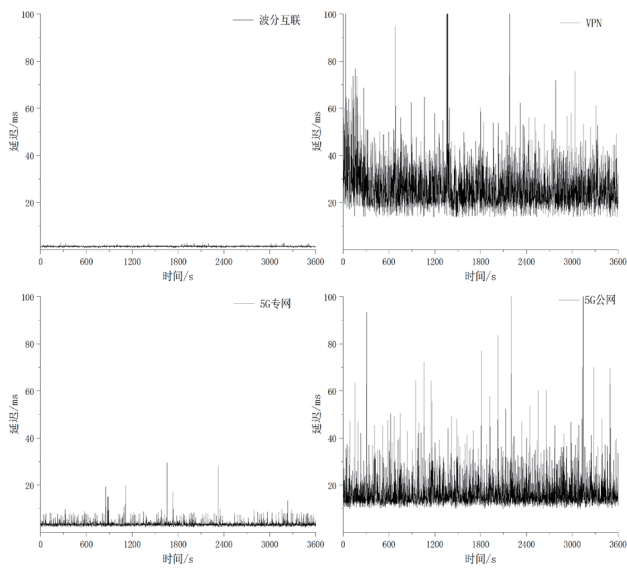


图 12 网络测试结果统计图

测试结果数据统计分析如表 5 所示，基于“波分+专线”与“5G 专网”方式组网相较基于“5G 公网”与“VPN”方式组网，前者链路延迟较小，网络稳定性更好。

表 5 网络传输测试结果统计表

测试场景	传输技术	传输带宽	平均延时 /ms	最大延时 /ms	最小延时 /ms	丢包率
主校区 - 分校区	波分+专线	100 GB	1.37	3.07	0.71	0
主校区 - 实训基地	VPN	100 MB	26.77	491.35	13.73	0
主校区 - 野外实习场	5G 专网	10 GB	3.65	84.35	1.92	0
主校区 - 移动终端	5G 公网	300 MB	16.73	152.97	9.87	0

3.3 负载容灾实验结果

学校主校区-分校区之间采用多条链路实现互联，通过 MSTP 技术保障网络的负载均衡和故障容灾。当前互联流量由电信专线、联通专线、波分链路 3 条链路分担。波分链路出现故障前后 30 min 流量情况如图 13 所示，发生故障后，联通专线自动接管波分链路流量，互联链路整体流量无波动，组网容灾实验结果满足设计要求。

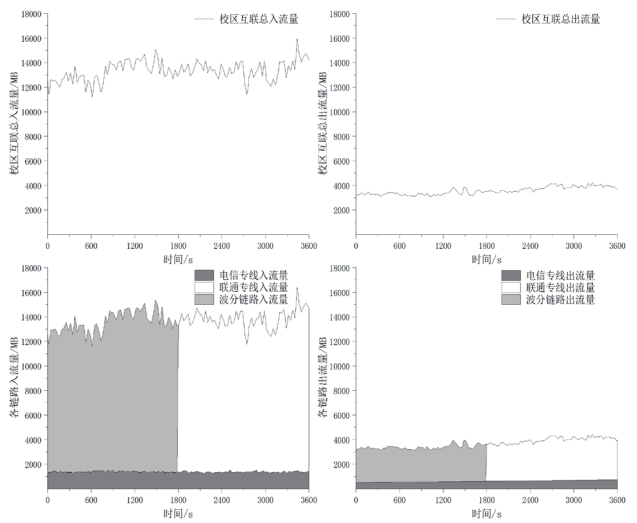


图 13 链路负载和容灾实验结果

3.4 分析预测实验结果

为更好发挥融合组网优势，采用 ARIMA 模型算法和 LSTM 神经网络算法，对链路流量趋势进行预测。实验选取了一个互联端口，对比了一个月的实际流量数据和预测结果，如图 14 所示。实验结果表明，两种算法均可准确预测流量变化趋势，ARIMA 算法在流量细节预测上更为精准。该方法可以为网络管理员提供较为准确的参考依据，实验结果符合设计要求。

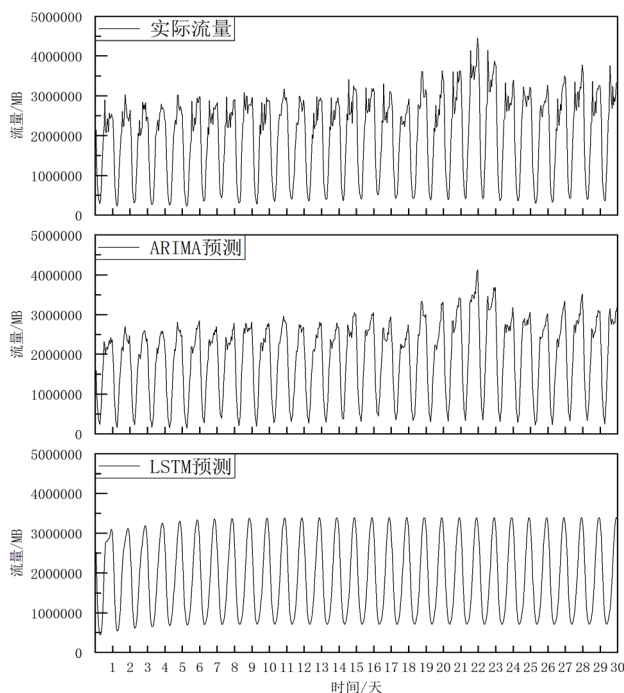


图 14 实际流量、ARIMA 预测和 LSTM 预测结果对比图

4 总结

人工智能、大数据、5G、物联网、IPv6 等技术的快速发展,为现代教育教学方式带来变革,高校智慧校园信息化应用不断改变着校园管理、运行方式。以校园网融合组网方法为基础,构建多校区融合“一张网”,为高校统一管理服务、一体化教育教学、协同科研创新提供基础网络保障,助力学校教育数字化转型,但也还存在一些缺陷。在今后研究中,将进一步结合高校特色深入优化融合组网方法,结合 SDN-Wlan 技术,探索更为灵活的组网管理方法,提升分析预测的精准度。

参考文献:

- [1] 宁伯强. 基于 WDM 光电解耦技术的广电 OTN 网络传输应用[J]. 电视技术, 2023,47(7):94-97.
- [2] 陈增吉. 基于 VRRP+MSTP 协议的可靠性网络设计[J]. 计算机应用与软件, 2009,26(4):208-211.
- [3] 唐俊勇, 郝海燕. MSTP 协议在单区域内实现网络负载均衡[J]. 新技术新工艺, 2010(9):42-45.
- [4] 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.
- [5] 谢永安, 刘永亨. 广州 5G 校园专网解决方案实践[J]. 广东通信技术, 2022,42(3):63-67.
- [6] 陈力, 黄新哲, 祝贺, 等. 5G 智慧园区专网解决方案[J]. 长江信息通信, 2022,35(12):169-172.
- [7] 董芸, 何余锋, 王菲, 等. 基于 DN-AAA 的 5G 专网接入安全管控方案研究及应用[J]. 信息安全研究, 2023,9(8):784-

791.

- [8] 申淑平. VPN 技术在校园网络安全体系中的应用研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2022,34(22):227-229.
- [9] 康秀兰. 校园网络安全体系中 VPN 技术的应用研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2023,35(1):219-221.
- [10] 汤瑞, 吴冰冰. 5G 前传 WDM 技术方案进展分析[J]. 信息技术与政策, 2020(5):24-28.
- [11] 吴晓华. WDM 技术原理及以此为基础的网络融合策略[J]. 中国有线电视, 2015(9):1055-1057.
- [12] 梁毅, 许冬. 基于 5G MEC 构建智慧高校超融合专网研究[J]. 邮电设计技术, 2023(9):21-25.
- [13] 张芳, 伍林伟, 蒋永彬, 等. 基于专用 DNN 的 5G 双域专网校园网部署方案[J]. 移动通信, 2023,47(1):12-17+76.
- [14] 段恒利, 唐良泓. 采用 SEP 与 MSTP 混合环组建中型企业园区网络[J]. 通信与信息技术, 2023(S1):50-52+102.
- [15] 刘卫斌. 以太网环路保护协议 STP 研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
- [16] 李铁. 基于 MSTP 技术的企业通信网设计与实现[J]. 信息技术, 2012,36(12):145-147+151.
- [17] 程宁. VRRP 和 MSTP 协议在企业园区网的应用与研究[J]. 软件, 2013,34(7):100-103.
- [18] 杨菊梅, 罗雪梅, 张明, 等. 基于 MSTP+MPLS VPN 的链路热备方法[J]. 计算机与现代化, 2013(9):163-166+171.
- [19] 汤岩. 时间序列分析的研究与应用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007.
- [20] 张冉, 赵成龙. ARIMA 模型在网络流量预测中的应用研究[J]. 计算机仿真, 2011,28(2):171-174.
- [21] 薛可, 李增智, 刘浏, 等. 基于 ARIMA 模型的网络流量预测[J]. 微电子学与计算机, 2004(7):84-87.
- [22] 金旗, 裴昌幸, 朱畅华. ARIMA 模型法分析网络流量[J]. 西安电子科技大学学报, 2003(1):6-10.
- [23] 盛虎, 张玉雪. 基于 ARIMA 的网络流量建模及预测研究[J]. 通信技术, 2019,52(4):903-907.
- [24] 康梦轩, 宋俊平, 范鹏飞, 等. 基于深度学习的网络流量预测研究综述[J]. 计算机工程与应用, 2021,57(10):1-9.
- [25] 王海宁, 袁祥枫, 杨明川. 基于 LSTM 与传统神经网络的网络流量预测及应用[J]. 移动通信, 2019,43(8):37-44.
- [26] 黎佳玥, 赵波, 李想, 等. 基于深度学习的网络流量异常预测方法[J]. 计算机工程与应用, 2020,56(6):39-50.
- [27] 李校林, 吴腾. 基于 PF-LSTM 网络的高效网络流量预测方法[J]. 计算机应用研究, 2019,36(12):3833-3836.

【作者简介】

马峥(1988—), 男, 硕士, 实验师, 研究方向: 计算机网络。

(收稿日期: 2024-02-18)