

城域开放光网络研究及应用

Research and Application of Metro Open Optical Network

杨鹏真,周彦韬,沈世奎,王光全,谭艳霞(中国联通研究院,北京 100048)

Yang Pengzhen, Zhou Yantao, Shen Shikui, Wang Guangquan, Tan Yanxia (China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

摘要:

数字经济快速发展对光网络的建设需求越来越强,光网络开放解耦已成为发展趋势,以降低运营商网络建设的成本。中国联通城域开放光网络是软件定义网络和多种光网络技术的融合,广泛应用于城域数据中心互联等多种场景。城域开放光网络管控系统,通过统一的设备SDN接口模型,实现多厂家设备形态的统一管控,推动光网络解耦及产业链规模化发展。基于城域光网络中模块化波分设备的应用场景,结合自主研发的管控系统,提出模块化波分系统的应用建议。

Abstract:

The rapid development of digital economy has led to an increasing demand for optical network construction. The open decoupling of optical network has become a development trend to reduce the cost of network construction for operators. China Unicom metro open optical network is the technology integration of SDN (software defined network) and multiple optical networks, it is widely used in various scenarios such as data center interconnections. The metro open optical network control system enables unified management and control of multi-manufacturer equipment forms through a unified device SDN interface model, which promotes the decoupling of optical network and the scale development of the industry chain. Based on the application scenarios of modular wavelength division devices in metro optical network and combined with independently developed control system, application suggestions for modular wavelength division system are proposed.

Keywords:

Metro optical network; Modular wavelength division; Control system; Open optical network

关键词:

城域光网络;模块化波分;管控系统;开放光网络

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.12.006

文章编号:1007-3043(2024)12-0035-06

中图分类号:TN913

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式:杨鹏真,周彦韬,沈世奎,等. 城域开放光网络研究及应用[J]. 邮电设计技术,2024(12):35-40.

0 前言

光网络是新一代数字基础设施的基础,已成为信息社会网络的全光底座,而构建和夯实底座是数字化转型的重要前提。网络开放和解耦已成为全行业的发展趋势,光网络同样朝着开放演进。中国联通通过智能开放光网络构建全光底座,全光底座可实现多种业务的综合接入,可应用在边缘云、公有云、私有云、行业云等,特别是在数据中心场景中,起到了至关重要

的作用。

由于大数据、云计算、高清视频等大带宽业务的迅猛发展以及更灵活的组网需求,在城域网组网中应用传统波分设备的成本十分高昂,因此具有模块化设计、低功耗、大容量、高集成度、开放解耦的模块化波分设备应运而生。

对于开放解耦的模块化波分设备,在无统一控制器的前提下,只能实现光层互通,相互之间无法进行管理,难以实现真正的解耦组网。通过统一的软件定义网络(software defined network, SDN)化管控接口,可实现多厂家设备的统一管控,推动产业链真正的解耦

收稿日期:2024-10-18

开放应用。目前国内模块化波分设备系统技术已较为成熟,相应的设备标准及管控标准规范已制定,这推动了多厂家设备的解耦及统一管控工作^[1]。

此外,在全光接入层,基于G.metro可调谐激光器/光模块、波长即业务(λ as a service, λ aaS),实现基于光波长级的连接,推动朝着光业务网络发展;在城域专线业务中引入光业务单元(optical service unit, OSU)技术,实现灵活可靠的光传送网络(optical transport network, OTN)专线业务。

中国联通根据自身网络特点及实际业务需求,制定了城域光网络设备管控接口模型,并基于该接口开发了城域开放光网络智能控制器,实现多厂家多设备形态的统一管控。同时通过北向、流量工程网络抽象与控制(abstraction and control of traffic engineering network, ACTN)接口对接编排器,实现专线业务的快速发放开通^[2-4]。

1 城域开放光网络介绍

1.1 城域光网络发展趋势

当前,无处不在的视频业务正在驱动网络流量快速增长,光传送网需要持续提速来降低单比特成本。据Omdia报告分析,2020—2022年全球400G波分复用(wavelength division multiplexing, WDM)市场增长异常迅猛,越来越多的国家选择400G建网。同时,Omdia预测未来几年400G WDM会持续高速增长,采用400G建网将成为全球首选。虽然800G也有可观的增长趋势,但是未来几年400G WDM仍然占据市场主流(见图1)^[5]。

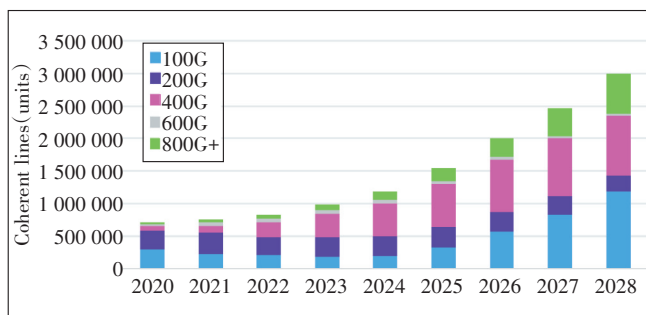


图1 WDM行业发展趋势^[5]

1.2 城域光网络组织架构

城域开放光网络组织架构如图2所示。智能城域开放光网络管控系统是城域光网络的大脑,通过标准化SBI(Southbound Interface)接口与城域开放光网络设备进行交互,实现边缘接入层和核心汇聚层的连接

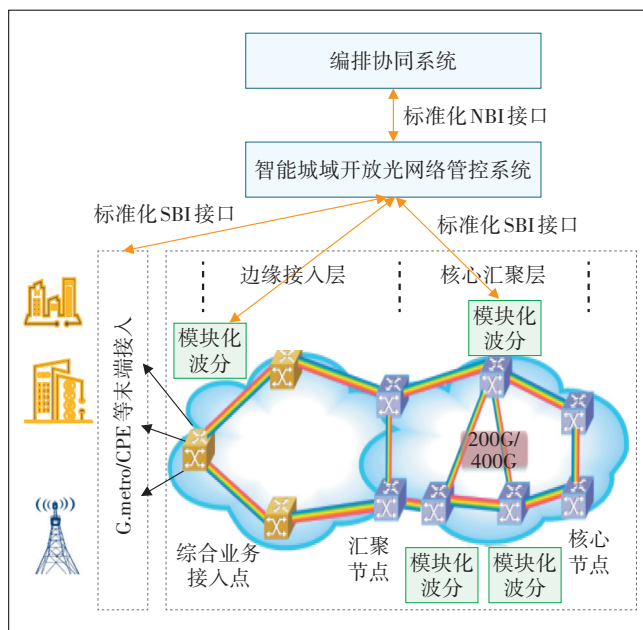


图2 城域开放光网络组织架构

及设备的统一管控;通过标准化的NBI(Northbound Interface)与上层编排协同层对接,实现端到端业务管理。用户通过G.metro/CPE(Customer Premise Equipment)等末端接入技术接入网络,这些技术在家庭或企业提供向城域网络的连接点,并且与边缘接入层的综合业务点相连。边缘接入层中的综合业务接入点还可使用模块化波分设备,从而提高接入节点的接入容量和网络的带宽利用率,同时还可支持更多的通信业务,满足用户的不同需求。数据通过这些接入点进入汇聚层并从汇聚层进一步转发到城域核心层节点。城域核心节点间及数据中心间可用开放解耦的模块化波分设备作为承载,进行大容量超高速的数据传送,当前可实现200G/400G的速率,未来向800G及更高速率演进。

1.3 城域光网络技术应用

1.3.1 模块化波分技术应用

在网络运营技术集约化和智慧化的新阶段,数据传输已经成为各个领域不可或缺的基础,人们对数据传输的速度和容量提出了更高的要求。而传统的数据传输技术已经难以满足日益增长的需求,需要一种能够提供更高带宽、更可靠传输的新技术。因此,模块化波分技术应运而生。模块化波分技术通过将多个不同波长的光信号在同一根光纤中同时传输,实现了高速、大容量的数据传输,具有高带宽、灵活扩展、可靠稳定等优势。同时,SDN一体化管控在城域开放

光网中具有重要意义,通过实现城域网和边缘接入层的统一管控,提升了全光网智能化和运维效率。这不仅简化了网络的运维和管理,还可以更好地满足用户的需求,提高用户体验^[1-3]。

1.3.2 OTN-CPE技术应用

城域网内存在大量的小颗粒专线业务,且有相当多的专线业务来自政务、金融、大企业客户,对高物理安全的网络诉求强烈。可接入光传送网-用户终端设备(OTN-CPE)可以有效提升政企精品网络的末端接入覆盖率。中国联通自主设计研发的CPE管控系统实现了多厂家 OTN-CPE 设备的统一管理,简化了网络管理架构,降低了网络配置复杂性,从而实现了业务快速开通,有助于保障接入层 OTN 网络的可持续发展^[6-7]。传统 OTN 技术基于时隙实现业务硬隔离,天然支持切片。然而,由于承载切片颗粒度较大、连接数少、时延较大和带宽调整不灵活等问题,其主要用于承载大于 1 Gbit/s 速率的业务,对于现有的大量低速业务,如 STM-1/4 等,使用 OTN 技术承载存在带宽浪费的情况。为了满足专线、视频等新业务对灵活带宽承载的需求,OSU(Optical Service Unit)技术应运而生。

OSU 新增 OSUflex 容器,采用定长帧灵活复接,将 ODU 划分成更小的带宽颗粒。与传统 OTN 相比,其网络硬切片的颗粒度达到 2 Mbit/s,网络连接数提升 12.5 倍;大幅简化网络传输层次,降低单站时延,灵活适配各类对时延敏感的业务场景;支持 2 M~100 G 无损带宽调整,支持在同一个高阶光通路数据单元(Optical Channel Data Unit, ODUk)通道内的原路径带宽调整^[8-11]。

1.3.3 G.metro 技术应用

为减少城域网光纤光缆资源的大量消耗,并积极推动产业化发展,中国联通首次提出边缘层引入密集型波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)技术,实现了 5G 前传和专线等综合承载。同时,中国联通牵头制定了 ITU-T G.698.4 国际标准,提出基于可调谐光模块内调顶技术的消息通道,实现对远程光模块的管控,即插即用^[12]。该技术的优势有:采用可调激光器技术,实现端口无关,波长自动适配,减少网络规划难度,适用场景广泛,减少备品种类和数量,并降低运维复杂度;提供波长级连接,带宽大,波道间独立工作,支持 10G/25G;基于 DWDM 技术,系统容量大,支持 20 波/40 波;传输距离长,最长支持 20 km;业务信号透明,减少电层处理带来的封装时延,不

影响业务性能;单纤双向,对称性好,更好传送时间同步信息,节省光纤资源。中国联通基于 G.metro 技术,联合攻关国产化可调谐激光器及光模块,构建国内可调谐激光器产业生态,通过光波长级连接、波长即业务和按需扩容,打造面向专线接入和 5G 前传等多场景全光综合接入产品^[13]。

2 城域开放光网络实践

2.1 城域开放光网络组网应用

模块化波分设备常用于城域网中,组网方式多样化,支持多种网络拓扑形态,如点到点、环形组网等,其中点到点组网系统根据是否包含光放站,可分为多跨段系统和单跨段系统(见图 3)。点对点系统通常应用于城域网内数据中心光互联(Data Center Interconnect, DCI),在应用时可根据具体的业务需求选择 200G/400G,还可根据实际情况配置点对点光纤自动切换保护系统(Optical Line Protection System, OLP)或者光复用段(Optical Multiplex Section Protect, OMSP)保护。在实验室的测试中,点到点组网 400G 支持 5×80 km/22 dB 传输,200G 支持 8×80 km/22 dB 传输;在现网的多跨长距测试中,200G/400G 可支持 4~5 跨的 300 km 内的传输,建议根据实际跨段光缆长度和衰减进行配置。

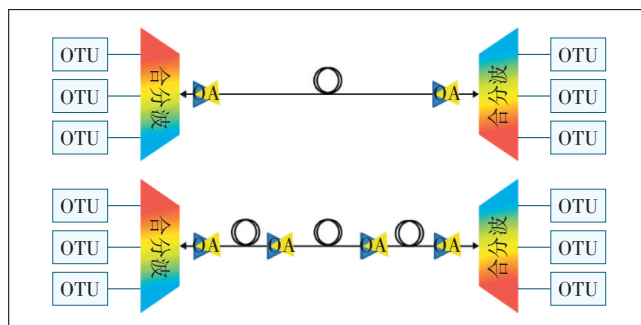


图3 模块化波分设备点到点组网(单跨及多跨)

在城域组网应用时,模块化波分设备还可采用环形组网方式(见图 4)。模块化波分环路支持 ROADM 组网,各光层节点部署 ROADM 设备。在城域网应用中,根据实际需求,业务板卡配置可选择 200G TMUX 板卡(线路侧 1×200G, 16QAM, 客户侧 1×100+10×10G),满足智能城域网及其他网络 10G 颗粒需求。

中国联通模块化波分设备的现网试点采用网状组网方式,系统架构如图 5 所示。现网试点验证了模块化波分设备具备了城域组网应用能力,实现并支持

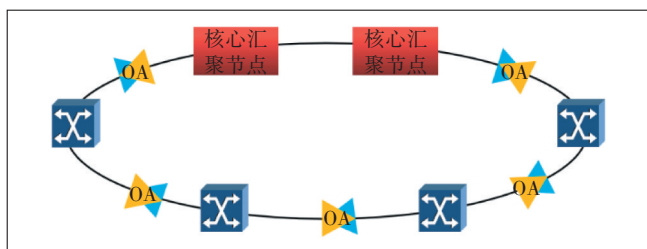


图4 模块化波分设备环形组网

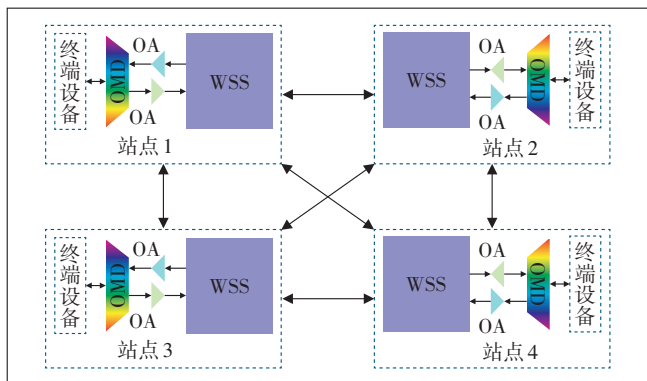


图5 现网模块化波分系统试点配置

多业务接入、ROADM组网、多种方式的光层保护以及同步传输的能力。

模块化波分系统适用的业务场景有:政企专线城域承载,OTN-CPE专线业务;城域数据网业务承载,可

接光线路终端(optical line terminal,OLT)上联业务、互联网专线业务等;县乡波分建设,需要与时间同步传输结合;4G/5G回传承载,需要与时间同步传输结合等。

根据现网的试点研究工作,以及中国联通对4G/5G回传承载的同步要求,对于模块化波分设备同步应用场景,要求其时间信号逐点传递,即需要模块化波分设备的同步处理单元具备对1588信号终结和再生的能力。当模块化波分部署在县乡波分或4G/5G回传时,需采用1588边界时钟(Boundary Clock,BC)同步板卡,实现高精度的1588同步信号传输。

2.2 城域开放光网络智能控制器应用

为加强数字化网络建设,降低建网成本,适应网络技术发展及用户业务需求,需要打破现有烟囱化的SDN编排系统,因此中国联通研究制定了智能化SDN管控编排体系架构,其系统架构如图6所示。其中,中国联通自研城域开放光网络控制器位于管控层,控制器南向接口对接城域光网络设备,实现对支持OSU技术的OTN-CPE设备、模块化波分设备及G.metro网络设备的统一管控,推动光网络解耦及产业链规模化发展,并通过智能化改造助力智能化运维,将被动式运维转为主动式运维,实现网络智能化。北向通过标准化ACTN接口接入业务协同编排系统,实现业务的端

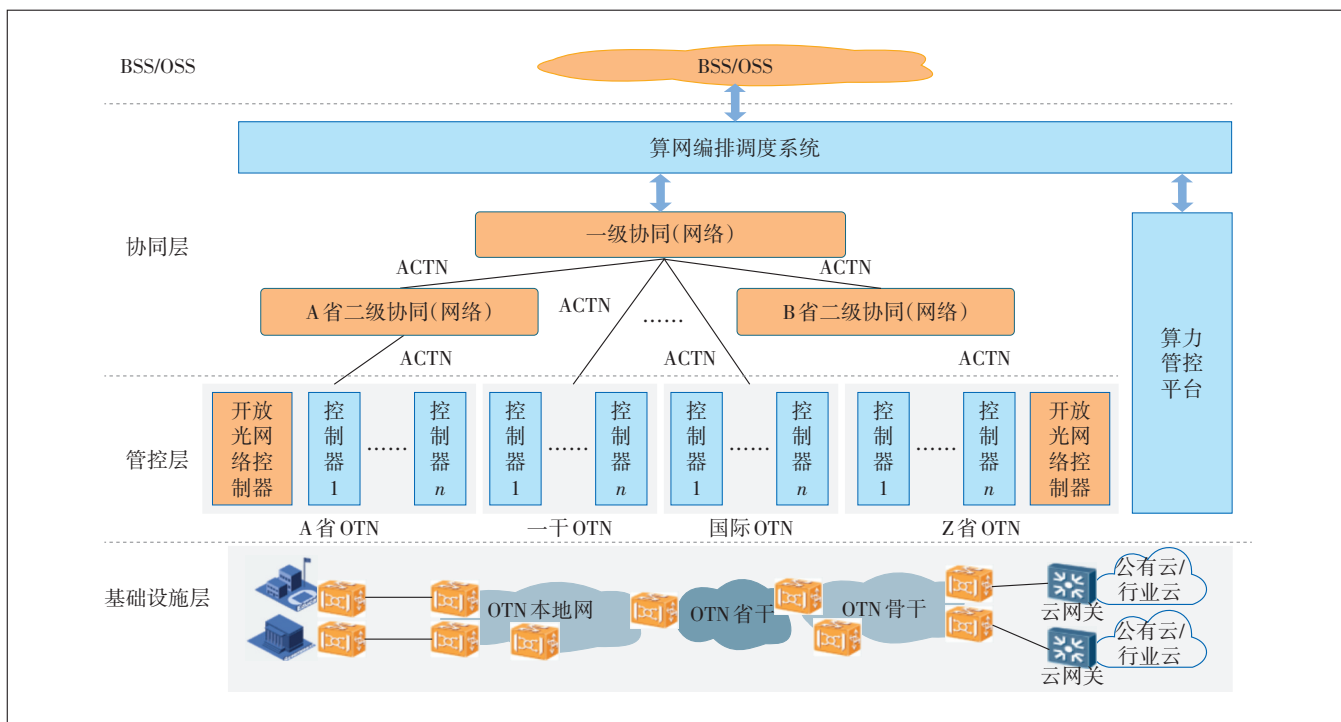


图6 SDN管控编排体系架构

到端快速发放及网络资源的统一管理^[2-3,14]。

光网络开放解耦主要分为设备层解耦与设备管控层解耦,其系统架构如图7所示,接入层为 OTN-CPE 设备,光网络采用开放线路系统的模块化波分设备。设备层解耦主要分为2部分,一是接入型 OTN-CPE 设备与核心汇聚 OTN 设备的解耦,二是城域光网络终端设备与开放线路系统的解耦。接入型 OTN-CPE 设备支持 OSU 技术,能够提供灵活可靠的专线业务。开放线路系统的解耦是通过标准化城域开放光网络系统中的光层参数,实现终端设备厂家与光线路系统厂家之间的设备解耦,使得在同一套光线路系统中可以引入不同厂家的终端设备。

在管控层,以往的网络设备管理存在各厂家通过私有接口对各自设备进行管理的情况,这导致网络隔离加深,也给网络运维带来不便。为解决这一问题,中国联通基于标准化的 Netconf 协议,制定了统一的 Yang 模型,自研开发了开放光网络管控系统。该系统采用微服务架构及 Browser/Server 的访问方式,设备相关的南向接口微服务可以同时支持基于 Netconf 的不同模型,从而提高网络管理的效率和准确性^[15]。

按照中国联通模块化波分设备的应用需求,制定了设备管控 SDN 接口模型。模型包含设备机框管控信息、各类光层板卡、电层板卡等信息及配置。其中光时域反射仪 (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) 接口模型支持进行 OTDR 的测试,并通过测试结果实现同沟同缆检测功能。波长选择开关 (Wavelength Selective Switch, WSS) 模型建立全面可重构光

分插复用器 (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer, ROADM) 相关信息,除了配置光交叉及灵活栅格,还允许对各通道的可调光衰减 (Variable optical attenuator, VOA) 值及通道光功率进行调整。此外,管控接口还定义了标准的 telemetry 方式,支持秒级性能监控,支持性能数据的训练及预测。

在 telemetry 性能监测过程中,系统支持多种业务类型下发以及对性能的周期性监测。当查看性能数据时,可以选择任务类型中的一种,管控系统将所有收到的数据绘制成曲线图,且收到的性能数据都会以表格的形式进行展示。

此外,自研的管控系统具有智能化的功能,支持 OTDR 同沟同缆分析。在测试时选取一对 SOR 文件后,点击“执行同沟同缆检测”,即可执行基于神经网络算法和 Waterman 算法的同沟同缆检测算法;算法的执行结果呈现在页面上,提示2个SOR文件对应线缆的匹配程度。

除了上述智能分析外,管控系统还支持性能预测分析,如图8所示,通过机器学习、深度学习算法,对历史告警和性能数据进行训练学习,形成性能预测的模型。利用性能预测模型,对指定的性能监测数据未来一周以及一个月的变化趋势做出预测,并以图表的形式进行展示。

3 结束语

在多种城域光网络技术中,模块化波分设备以其模块化设计、低功耗、大容量、高集成度的优势以及多

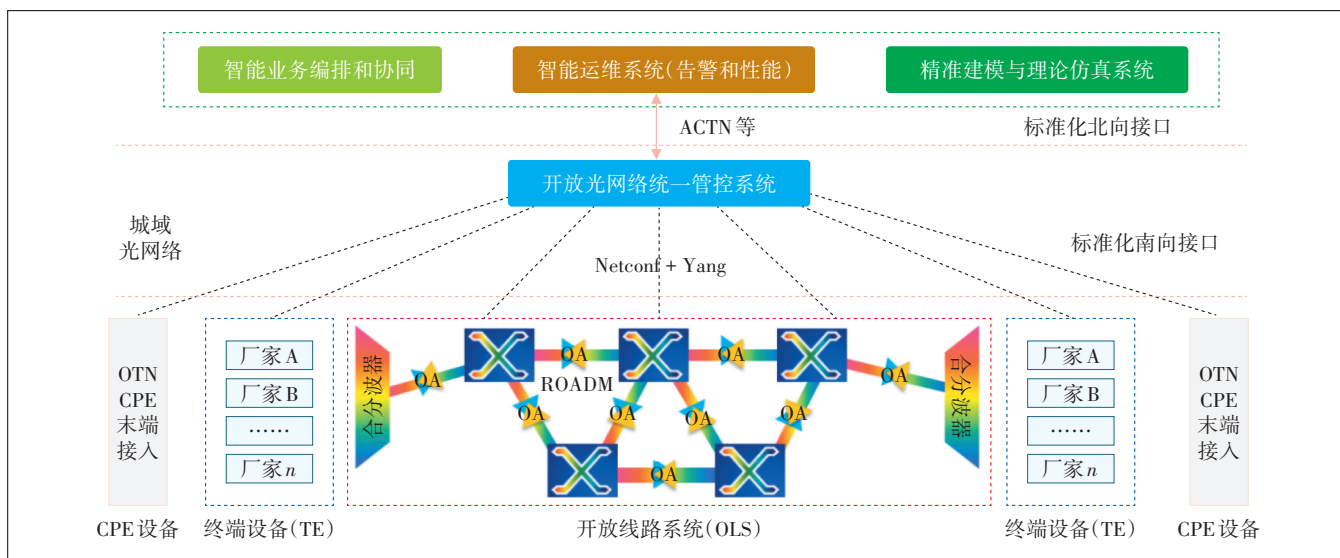


图7 城域光网络开放解耦系统架构

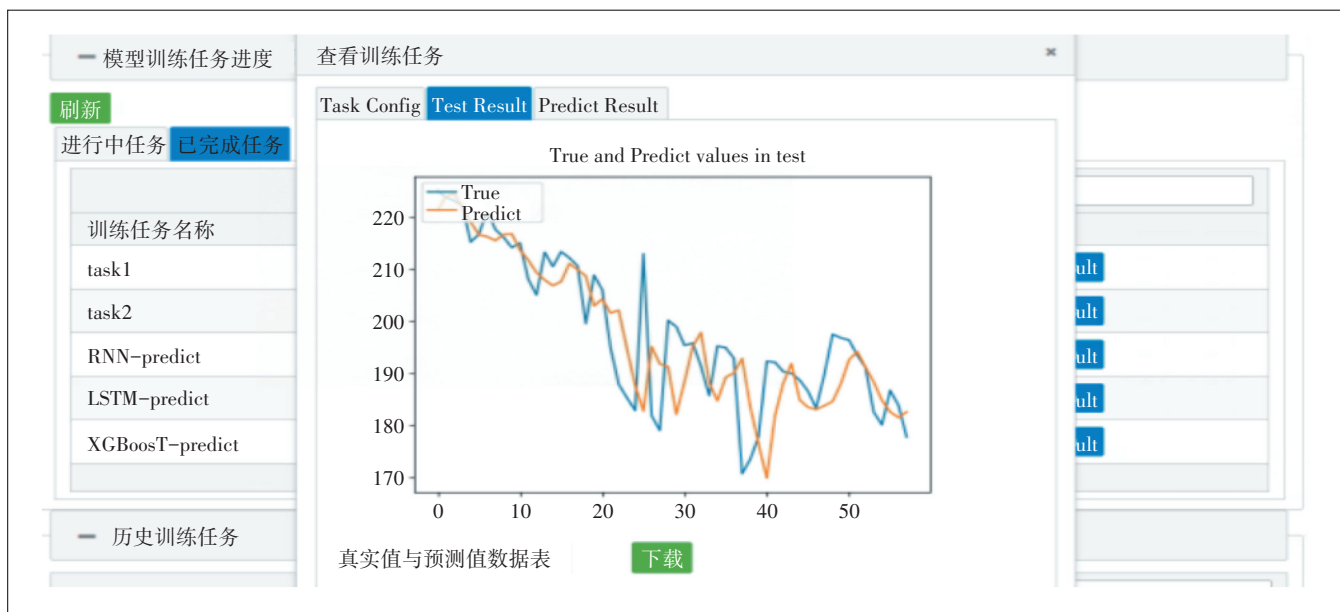


图8 性能数据模型训练

场景业务应用,极大地降低了城域网内网络建设成本。为了实现光网络的开放解耦,中国联通推出自主研发的城域开放光网络管控平台,解决了多厂家终端设备与统一开放光网络系统的解耦组网问题,极大地促进光网络解耦及产业链规模化发展;并在此基础上实现了智能化的运维能力,从被动运维向主动运维演进,提高网络可靠性,打造智能化的全光底座网络。同时,中国联通将联合产业链不断进行技术创新,持续推动光网络向更大带宽、更高可靠、更低时延等目标发展,推进向光基础网络和光业务网络的演进,进一步增强智能化(设备层,管控层,云端等)能力,以提升光网络的自动化和智能化水平。

参考文献:

[1] 中华人民共和国工业和信息化部. 开放与解耦的波分复用(WDM)系统技术要求: YD/T 4298-2023[S]. 北京:人民邮电出版社, 2023.

[2] 中国联通研究院,华为技术有限公司. 云时代的全光底座白皮书[R/OL]. [2024-03-05]. <https://www.vzko.com/document/143cf273d0a9fe4c95a9e200cdc9b1da.html>.

[3] 王光全,沈世奎. 云时代全光底座架构及关键技术[J]. 信息通信技术与政策, 2021(12): 19-26.

[4] 刘德才,杨涛,任余丰. 模块化波分网络部署研究[J]. 通信技术, 2019, 52(12): 2956-2960.

[5] REDPATH I, CHEN E, MUNKS T, et al. Optical network forecast: 2023-28 [EB/OL]. [2023-07-24]. <https://omdia.tech.informa.com/om030433/optical-network-forecast-202328>.

[6] 周彦韬,郑滢雷,张贺. 自研CPE-OTN设备管控系统中国联通发掘专线市场[J]. 通信世界, 2020(30): 36-37.

[7] 郭文珏,陈烈强,骆益民. OTN CPE 部署策略研究[J]. 长江信息通信, 2021, 34(9): 192-194.

[8] 唐雄燕,王海军,杨宏博. 面向专线业务的光传送网(OTN)关键技术及应用[J]. 电信科学, 2020, 36(7): 18-25.

[9] 谭艳霞,段致岩,满祥锬,等. 基于OSU的OTN智能管控技术研究[J]. 电信科学, 2023, 39(10): 147-155.

[10] 中国通信标准化协会. 基于OSU的OTN管控技术研究[EB/OL]. [2024-03-05]. <https://www.doc88.com/p-53073498402113.html>.

[11] 吕文琳,牛文林,陆源,等. 基于OSU技术的新型OTN解决方案及运营商部署研究[J]. 山东通信技术, 2022, 42(3): 25-29.

[12] International Telecommunication Union. Multichannel bi-directional DWDM applications with port agnostic singlechannel optical interfaces: ITU-T G.698.4 (06/2023)[S]. Geneva: International Telecommunication Union, 2023.

[13] 沈世奎,王光全. G.metro 技术及其在5G移动前传网络中的应用[J]. 电信网络技术, 2017(9): 14-18.

[14] 谭艳霞,王光全,王泽林,等. SDN智能管控编排系统技术方案研究[J]. 电信科学, 2023, 39(3): 143-152.

[15] 常亚楠. 基于YANG语言的NETCONF网络管理数据建模的研究与实现[D]. 武汉:华中师范大学, 2009.

作者简介:

杨鹏真,毕业于南开大学,工程师,硕士,主要研究方向为光传输网络、光接入网络;周彦韬,毕业于北京邮电大学,工程师,硕士,主要研究方向为光通信网络;沈世奎,毕业于北京理工大学,正高级工程师,博士,主要研究方向为光通信网络;王光全,毕业于南京邮电大学,正高级工程师,主要研究方向为光通信网络;谭艳霞,毕业于北京邮电大学,工程师,博士,主要研究方向为光通信网络。