

# 400 Gbit/s 彩光系统在 IP 网络中的应用探讨

## Research On Application of 400 Gbit/s Color Optical System in IP Network

陈 迅,朱永庆,龚 霞,赖道宁,胡泽华(中国电信股份有限公司研究院,广东 广州 510630)

Chen Xun, Zhu Yongqing, Gong Xia, Lai Daoning, Hu Zehua (Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China)

### 摘 要:

随着互联网流量的持续增长,IP 网络 400 Gbit/s 链路的规模部署迫在眉睫。彩光技术的进展为 400 Gbit/s 系统的部署带来了更多的选择。分析了 400 Gbit/s 主流接口标准化情况,对 400 Gbit/s 彩光接口、400 Gbit/s 白光接口、40 Gbit/s 彩光接口进行了比较,并分析了路由器设备支出情况,提出了 400 Gbit/s 彩光在 IP 网络不同场景中的应用策略,为 400 Gbit/s 链路规模部署提供了参考。

### 关键词:

400G;彩光接口;ZR/ZR+

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.04.013

文章编号:1007-3043(2024)04-0076-04

中图分类号:TN913

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

With the continuous growth of Internet traffic, the scale deployment of IP network 400 Gbit/s links is urgent. The progress of color light technology has brought more options for the deployment of 400 Gbit/s systems. It analyzes the standardization of mainstream 400 Gbit/s interfaces, compares 400 Gbit/s color optical interfaces with 400 Gbit/s white optical interfaces, 40 Gbit/s color optical interfaces, and analyzes the expenditure of the router equipment. It proposes application strategies for 400 Gbit/s color optical interfaces in different scenarios of IP networks, providing reference for the large-scale deployment of 400 Gbit/s links.

### Keywords:

400G; Color optical interface; ZR/ZR+

引用格式:陈迅,朱永庆,龚霞,等. 400 Gbit/s 彩光系统在 IP 网络中的应用探讨[J]. 邮电设计技术,2024(4):76-79.

## 0 引言

IP 网络作为综合业务承载网络,其流量仍保持较快增长。根据中国电信 2020—2022 年的流量统计,跨省流量仍保持 20%~30% 的同比增长率,省内、城域流量增长高达 40%。路由器之间的带宽需求日益增大,部分业务量大的 IP 骨干网局向已部署 16 条 100G 链路,网络维护复杂,成本高。随着路由 400G 接口及光模块的成熟,如何在 IP 网络中高效地部署 400 Gbit/s 系统成为了重要的研究方向。400 Gbit/s 彩光技术实现了重要的突破,在器件集成、简化网络等方面为 400

Gbit/s 链路部署提供了更多的可选方案。

## 1 路由器 400 Gbit/s 彩光系统分析

### 1.1 路由器 400 Gbit/s 主流接口标准化情况

路由器 400 Gbit/s 接口支持的光模块主要分为彩光模块和白光模块,彩光模块和白光模块之间不能直接互联。以太网 400 Gbit/s 彩光模块包括 400 Gbit/s ZR/ZR+,自身驱动距离为 40 km,加光放最高可达 480 km。以太网 400 Gbit/s 白光模块包括 400 Gbit/s VR/SR/DR/FR/LR/ER 等,自身驱动距离在 20 m~40 km 不等。主流 400 Gbit/s 光模块的光口对比如表 1 所示。

400 Gbit/s 光模块电口包括 QSFP-DD、OSFP 和 QSFP112。QSFP-DD MSA 和 OSFP MSA 已分别发布

收稿日期:2024-03-20

表 1 主流 400 Gbit/s 光模块光口对比

代码	参考标准	标准状态	距离	功耗/W
400G VR4	IEEE 802.3db	研究中	30 m(OM3)/ 50 m(OM4/5)	14
400G SR4	IEEE 802.3db	研究中	60 m(OM3)/ 100 m(OM4/5)	14
400G DR4	IEEE 802.3bs	已发布	500 m	14
400G FR4	IEEE 802.3cu 100G Lambda MSA	已发布	2 km	14
400G FR8	IEEE 802.3cu 100G Lambda MSA	已发布	2 km	14
400G LR4	IEEE 802.3cu 100G Lambda MSA	已发布	6 km/10 km	14
400G LR8	IEEE 802.3bs	已发布	6 km/10 km	14
400G ER4	100 Lambda MSA	研究中	30/40 km	14
400G ER8	IEEE 802.3cw	已发布	40 km	14
400G ZR	OIF-400ZR-01.0	已发布	40 km/80~120 km(加光放)	18
400G ZR+	Open ZR+ MSA	已发布	40 km/80~480 km(加光放)	23

400 Gbit/s 的 QSFP-DD 和 OSFP 规范,采用 8×56 Gbit/s 电接口, QSFP-DD MSA 又于 2021 年更新发布了包含 400 Gbit/s QSFP112 的新版本。国内由阿里巴巴、百度牵头成立的 QSFP112 MSA 已发布 400 Gbit/s QSFP112 规范,推进了国内数据中心的互联应用。目前,400 Gbit/s 光模块采用的主流封装技术是 QSFP-DD,400 Gbit/s ZR/ZR+彩光模块基本采用 QSFP-DD 封装。

目前,路由器 400 Gbit/s 彩光接口应用比较广泛的是 400 Gbit/s ZR。400 Gbit/s ZR 是由光互联网络论坛(OIF)定义的一种规范。OIF 基于数字相干光检测(Digital Coherent Optic, DCO)模块开发了 400 Gbit/s ZR 标准 OIF-400ZR-01.0。400 Gbit/s ZR+ 采用的是 OpenZR+标准,该标准是结合了 OIF-400G ZR 和 OpenROADM 各自优点而推出的 MSA 标准,具备 100G、200G、400G 多速率可调的优势。

### 1.2 路由器 400 Gbit/s 彩光系统与白光系统

路由器彩光系统具备降低设备空间、成本及能耗等优势。400 Gbit/s 彩光接口将波长变换器(Transponder)集成在光模块,通过可调激光器(tunable laser)实现标准彩光波长的输出,无需单独配置 OUT 等光器件。400 Gbit/s 彩光模块采用 DWDM 单波彩光+相干技术,可实现基于单载波 400 Gbit/s 的长距互连,自身驱动距离达到 40 km。ZR 在加光放场景下最长可支持 120 km 的长距传输,ZR+在加光放场景下最长可支持 480 km 的长距传输。对比 400 Gbit/s 白光模块,彩光

模块在 40~480 km 的长距场景下,具有快速部署、减少传输系统配套设施等优势。在典型的路由器加 WDM 传输系统的部署场景中,若采用彩光系统,则路由器彩光接口通过光跳线连接到合分波器;若采用白光系统,则路由器白光接口通过光跳线连接到波长变换器的用户侧光模块,再连接到合分波器(见图 1)。

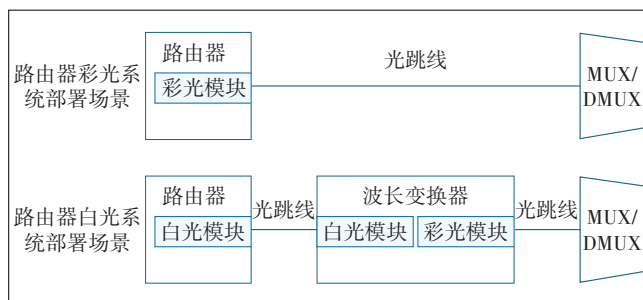


图 1 路由器彩光系统与白光系统典型部署模式对比

由于彩光模块集成了 Transponder 及相干光模块,模块成本高、功耗高(18 W/23 W),对需兼顾速度和维护成本的高密度路由器的散热技术提出了挑战。路由器硬件设计需充分考虑全速运行 400 Gbit/s ZR/ZR+相干 QSFP-DD 路由器光模块所需的功率(17~23 W)和冷却功率。目前,Cisco、诺基亚、中兴均推出了 400 Gbit/s 彩光/白光自适应的接口板卡,支持同样密度的彩光和白光接口。

### 1.3 路由器 400 Gbit/s 彩光系统与 40 Gbit/s 彩光系统

2006 年 Cisco 推出了路由器 40 Gbit/s 彩光系统的相关产品,其采用私有编码,只能单厂家互通,不支持异厂家光模块混插。受限于当时的芯片工艺、集成技术等因素,光模块功率较大,板卡端口密度受限,Cisco 路由器每个板卡只能部署一个 40 Gbit/s 彩光接口。同时,路由器相对封闭,北向接口较弱,难以实现对彩光接口传输时延、误码率、色散补偿等的有效管理,运维难度较大。这些原因导致 40 Gbit/s 彩光系统无法大规模应用,路由器主要采用 40 Gbit/s 白光接口。

路由器 400 Gbit/s 彩光接口 ZR/ZR+标准已发布,支持异厂家光模块混插及路由器互通。400 Gbit/s 彩光模块采用 QSFP-DD 400G DCO 封装技术,得益于硅光子集成电路、多芯片封装技术及 7 nm 制程芯片等技术的成熟,其与白光 QSFP-DD 400G 接口规格基本一致,板卡端口密度大幅提升,Cisco 路由器每板卡最大可部署 24 口 400 Gbit/s ZR 接口。

### 1.4 路由器 400 Gbit/s 彩光系统与 100 Gbit/s 系统

400 Gbit/s ZR 仅支持单波长 400G 速率,而 400

Gbit/s ZR+支持接口速率可调,可输出 100 Gbit/s 速率的彩光,同时在不增加光放的情况下传输距离可达到 80 km,加光放的情况下可达 1 000 km 以上。但降速到 100 Gbit/s 的彩光与 400 Gbit/s 彩光相比,无论路由器板卡还是光模块的成本均一致。此外,400 Gbit/s ZR+降速到 100 Gbit/s 时功耗仍高达 15 W,而主流 100 Gbit/s 白光模块功耗为 5 W 以下,板卡的端口部署密度低很多。

400 Gbit/s ZR+还支持 4×100GE 多路复用。通过部署 4×100GE 多路复用器可以将路由器上的 400G ZR+接口分光,并连接到对端路由器的 4 个 100GE QSFP28 端口。在部署 400 Gbit/s 接口初期,当对端路由器仅支持 100 Gbit/s 接口时,4×100GE 多路复用可支持两端路由器的互通。

## 2 路由器 400 Gbit/s 彩光系统厂家支持情况

国内外多家厂商已研发了支持 400 Gbit/s 彩光路由器的产品,Cisco、Nokia、中兴已推出支持 400 Gbit/s 彩光接口的路由器板卡,目前 ZR 光模块的支持情况较好。上述几个厂商的 400 Gbit/s 接口均支持彩光模块与白光模块的自适应,可识别插入的光模块类型。

各厂家波长可配置范围均包含 OIF 标准中定义的 191.3~196.1 THz,但 Cisco 和 Nokia 的默认频率为 193.1 THz,中兴遵循 OIF 标准中定义的默认频率 193.7 THz。通过在路由器以 100 MHz 颗粒度配置相同的频率,各厂家可实现互通。

## 3 400 Gbit/s 彩光系统在 IP 网络中的应用策略

目前,已有多光模块厂家支持 400 Gbit/s ZR/ZR+彩光接口,随着部署范围的扩大,成本将会进一步下降。在 10 km 以内的互联场景,400 Gbit/s LR4/LR8 白光模块已经成熟,成本、功耗更低,并且支持光纤直连。因此,400 Gbit/s 彩光系统更适合应用在 10 km 以上的场景中。400 Gbit/s ZR+彩光接口标准比 400 Gbit/s ZR 彩光接口推出稍晚,成本及功耗更高,但在传输距离上比后者有优势。综上所述,10~120 km 的场景应优先采用 400 Gbit/s ZR 彩光系统,120~480 km 的场景则采用 400 Gbit/s ZR+彩光系统。

### 3.1 400 Gbit/s ZR 彩光系统应用策略

#### 3.1.1 路由器光纤直连场景

两端的路由器可通过光纤直连,也可通过增加无源光器件光放大器(Optical Amplifier,OA)的方式增加

传输距离,只需在路由器侧进行配置,两端协商一致。这类方式适合距离在 120 km 以下,且光纤资源比较充足的场景。

#### 3.1.1.1 彩光点对点长距直接互连

如图 2 所示,400 Gbit/s ZR 彩光接口之间可直接通过裸纤相连,发送侧和接收侧的彩光配置相同的频率。这种解决方案适合传输距离在 40 km 以下,且光纤资源比较充足的场景,例如同园区 IDC 网元互联、城域内的中距互联。

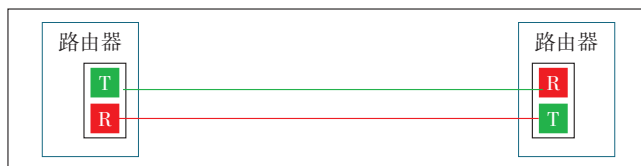


图 2 彩光点对点长距直连

#### 3.1.1.2 彩光点对点长距+光放(多级)互连

400 Gbit/s ZR 彩光接口之间可通过插入 OA 增加传输距离。两端发送侧各增加一个 OA 器件,传输距离可达 80 km,两端的发送侧和接收侧各增加一个 OA 器件,传输距离可达 120 km(见图 3)。

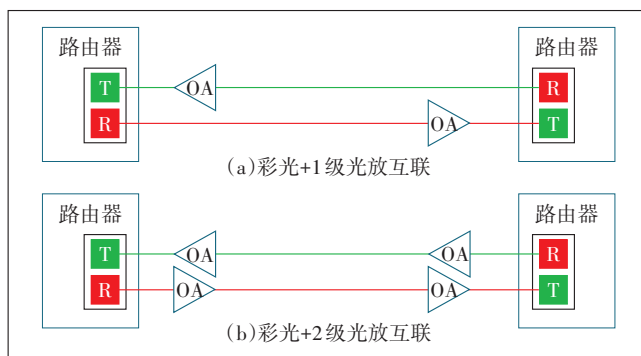


图 3 彩光+光放互连

这种解决方案适合传输距离在 40~80 km,且光纤资源比较充足的场景,例如城域内的中长距互联、云间多 AZ(available zone)互联、数据中心互联(Data Center Interconnect, DCI)网络等。

#### 3.1.2 路由器与传输系统协同场景

对于光纤资源比较紧张或成本较高的互联场景,若增加 OA 后仍无法满足长距传输的需求,就需要通过增加传输系统来实现光纤资源复用和长距传输。在此场景下,路由器与传输系统需在配置上进行协同,实现路由器管控平台与传输管控平台的波长、功率等信息的互通。

对于光纤资源比较紧张或成本较高的互联场景,

可采用彩光多点对多点长距+合分波互连方案(见图4),通过增加合波器(Multiplexer, MUX)/分波器(Demultiplexer, DMUX),将发送侧多个单波长的彩光信号合为多波长信号,再在接收侧将多波长信号分开。该方案需路由器与合分波器协同,以使分波器把混合的光信号分解为特定波长的彩光。采用此方案时,路由器与传输系统需就发射光频率等进行协同,首先光传输要支持开放解耦,其次需要IP控制器与光传输控制器的编排层实现IP和光传输的协同管控。

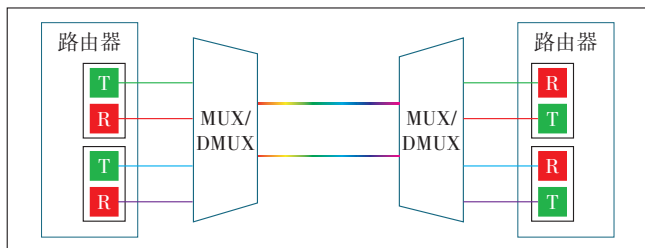


图4 彩光多点对多点长距+合分波互连

彩光多点对多点长距+合分波互连方案适用于互联带宽较大,需要通过多个波长传送信号的场景。同理,该解决方案可通过增加OA器件将传输距离扩展到最大120 km,具体如图5所示。

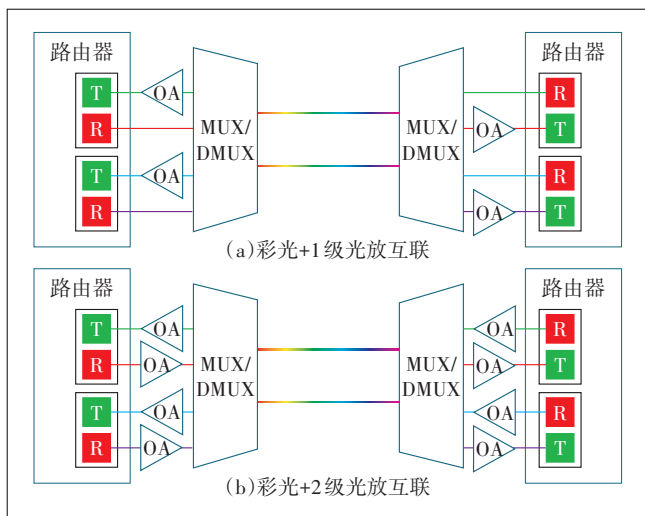


图5 彩光+光放互连

### 3.2 400 Gbit/s ZR+彩光系统应用策略

对于超过120 km的互联场景,可将彩光接口接入WDM系统(见图6)。400 Gbit/s ZR+彩光系统最多可支持6个跨段,在经过多段放大或可重构光分插复用器(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer, ROADM)后,传输距离最长可达480 km。

除了增加传输距离外,还可以通过ROADM系统

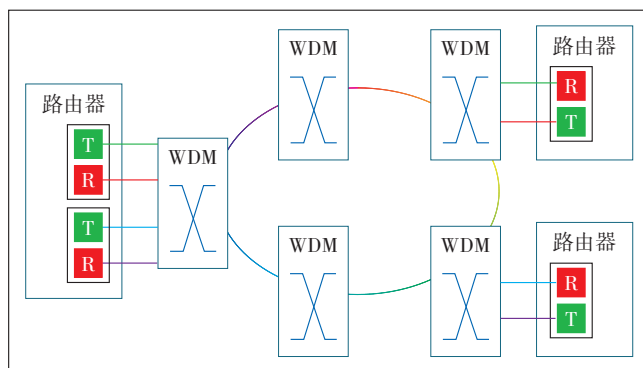


图6 彩光+WDM系统

等实现环状组网、灵活的上路下路等,适合在复杂的组网场景中部署。目前,大多数光传输网络在线路系统中采用50 GHz间隔的固定栅格承载100 Gbit/s或200 Gbit/s波长。而400 Gbit/s接口需要更高的波特率,需要75 GHz信道,WDM或者ROADM需要具备灵活栅格间距(FlexGrid)功能。

## 4 结束语

400 Gbit/s彩光系统在简化网络架构、减少相配套的机架空间和耗电等方面比白光系统更有优势。同时,路由器支持开放的北向管理接口,IP+光统一业务编排,是推动IP与光协同的抓手。目前,彩光接口在DC网络中已有较多部署案例,但在运营商的大型IP网络中仍在应用探索阶段,应积极推进试点应用,加快产业链成熟。

### 参考文献:

- [1] OIF. Implementation Agreement 400ZR: OIF-400ZR-01.0 [S/OL]. [2023-11-11]. [https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-400ZR-01.0\\_reduced2.pdf](https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-400ZR-01.0_reduced2.pdf).
- [2] OIF. Common electrical I/O (CEI)-electrical and Jitter interoperability agreements for 6G+ bps, 11G+ bps, 25G+ bps, 56G+ bps and 112G+ bps I/O: OIF-CEI-05.0[S/OL]. [2023-11-11]. <https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-CEI-5.0.pdf>.
- [3] OIF. Implementation agreement for coherent CMIS: OIF-C-CMIS-01.1 [S/OL]. [2023-11-11]. <https://www.oiforum.com/wp-content/uploads/OIF-C-CMIS-01.1.pdf>.

### 作者简介:

陈迅,工程师,硕士,主要从事数据通信相关技术研究、数据网络架构优化等工作;朱永庆,正高级工程师,硕士,主要从事IP网络新技术研究、云网融合技术研究等工作;龚霞,工程师,硕士,主要从事IP网络新技术研究、网络虚拟化技术研究等工作;赖道宁,工程师,硕士,主要从事数据网络新技术研究、设备技术研究等工作;胡泽华,工程师,硕士,主要从事IP网络、云网融合等方向的技术研究工作。