

独立市场研究和竞争分析
面向服务提供商和厂商
针对下一代商业和技术解决方案

**HEAVY
READING**
**WHITE
PAPER**

全光传送：趋势和创新

Heavy Reading 出品

作者：Heavy Reading 首席分析师，Sterling Perrin

简介

在过去十年，相干检测技术推动了光网络的发展，使得光系统满足了网络流量的增长，实现了更低的每比特成本。相干检测的时代尚未结束，并将日臻成熟。因此，供应商及其客户必须不断创新，降低光系统的总体拥有成本（TCO）。幸运的是，硬件和软件的不断进步助力服务提供商应对这一挑战。

本白皮书重点分析了未来 3 年光网络的关键需求和解决方案，并且讨论了以下机会点：

- 结合全光传送的发展，包括更高速率、硬件简化和先进的运营、管理和维护（OA&M）功能，降低 TCO。
- 为高价值客户创造新的收入机会，他们愿意为高性能和安全性支付更多的费用。

更高速率

本节详细介绍了随着光学接近香农极限，实现高速率的进展。华为将这种趋势定义为“新速率”（New Speed）。

香农极限定义了每一条通信信道能够传输多少信息。研究人员预测，密集波分复用（DWDM）的实际限制在 1 Tbit/s 左右。目前，商用系统的最高能力是单波 600 Gbit/s，并且有几家厂商声称已经支持 800 Gbit/s 数字信号处理器（DSP）芯片组（虽然还没有商用）。通信行业正迅速逼近 C 波段 DWDM 传输的香农极限，继续提升单波速率的成本越来越高。由于高昂的单波速率提升成本，在达到理论极限之前，会受限于实际上的极限速率。除了相干检测和高阶调制，设备供应商及其客户正在寻求选择新的扩容方案。

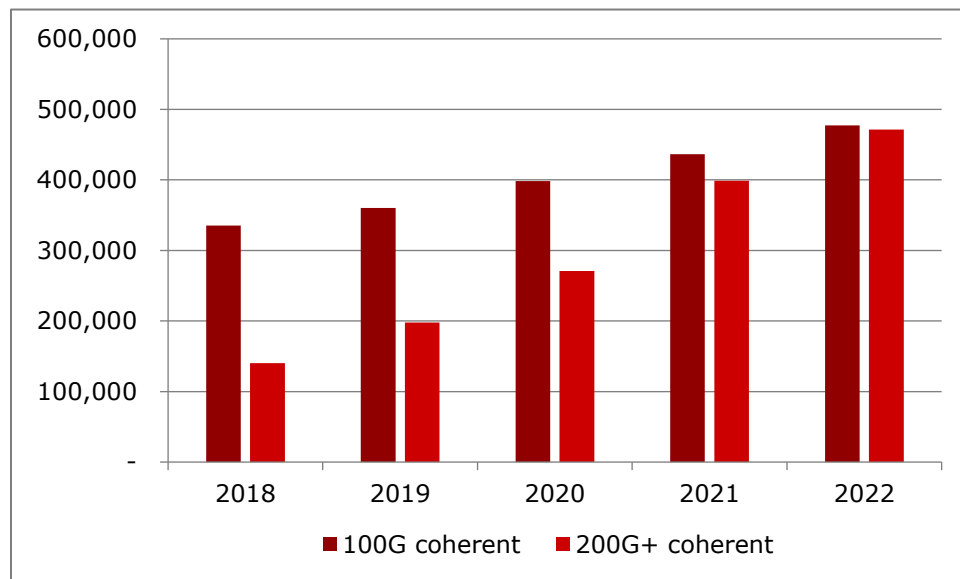
100G 向 200G 及以上速率迁移

上面讨论了市场的高性能方面（例如超大型数据中心之间的大容量链路，以及光纤部署严重受限的海缆传输等特殊场景的大容量链路）。当前城域和长距 DWDM 网络中，100G 速率仍然是主流。根据 Ovum 统计，2018 年 100G 的相干 DWDM 线路侧波长占比 70%。

因此，超过三分之二的电信市场计划短期内完成 100G 向 200G 的迁移。随着 400G 技术成熟和成本下降（除大型互联网公司外），最终将迁移到 400G 速率。

如图 1 所示，Ovum 预测了当前线路侧 DWDM 的相干 100G、200G 和更高速率的发货量。预计 2018–2022 年，相干 100G 的份额将从 70% 下降到 50%，而 200G+ 的份额将从 30% 增长到 50%。

图 1：2018–2022 年全球线路侧 DWDM 的相干波长发货量



注：不包含 400ZR 单元。

数据来源：Ovum, 2019

2021 年之前，400G 不太可能在电信领域迅速主导市场，这就为 200G 提供了一个有利的短期窗口，为网络运营商解决当前容量不足的问题。相对于早期的 16QAM 芯片，新一代 200G DSP 有两大好处：

- 早期 200G DSP 只能实现 1000 公里的无中继传输。借助概率星座整形（PCS）等更先进的调制技术，新的 200G DSP 将传输距离提升到 3000 公里，可以覆盖大部分陆地 DWDM 应用场景，几乎避免了先前容量和距离的权衡取舍。
- 早期 200G DSP 需要占用 75 GHz 频谱宽度来实现远距离传输。部分新一代 16 nm 的 DSP 可以基于 50 GHz 通道间隔支持 200 Gbit/s 速率，实现相同的性能。更紧凑的通道间隔非常重要，因为它意味着现有的固定栅格光线路系统可以直接用于 200G 传输，而不需要升级到灵活频谱方案。

这些新一代的 DSP 不仅解决了当前的容量短缺，还可以延长 200G 的生命周期，即使 400G 已经启动加速，因为不是所有运营商都愿意为 400G 升级线路系统或者牺牲传输距离。

硬件极简

本节介绍在网络日益复杂的情况下，为了简化硬件而作的系统级创新。华为将这一趋势定义为“新站点”（New Sites）。

除了容量的增加外，运营商还希望减少空间占用和功耗，增强光系统的模块化能力。这些趋势最初是由大型互联网公司（如谷歌、Facebook、亚马逊等）驱动的。随着网络运营商寻求降低网络 TCO 和采用大型互联网公司所倡导的创新技术，这些趋势在传统电信领域获得了越来越多的青睐。

高速 DWDM 可插拔模块在电信领域的日益普及，也许是大型互联网公司驱动硬件创新最突出的例子，但这种趋势远远超出了模块本身，而是覆盖了整个光系统。这种系统级的硬件创新有两大目标：

- 简化网络和网元。
- 确保通过硬件使能在其上运行的软件自动化。

模拟的光层绝不能成为软件自动化（即软件定义网络）实现低成本、自动化和互操作性的瓶颈。波长无关、方向无关、竞争无关（CDC）ROADM 硬件的商用首次实现了光子层的端到端可编程，这是软件自动化应用于光层的必要条件。

但是，在大型 Hub 站点中，大量部署的 ROADM 节点导致了更高的复杂度和光纤管理的挑战，这种挑战会降低收益。在这些大型站点中，数千条 ROADM 光纤连接需要手工管理和物理调整。这种费时的手工操作极易出错。同时，这些连接也会消耗中心局站（CO）的大量空间。

如今，新推出的全光或光子交叉产品 OXC 提供了一种创新的硬件管理方法。OXC 通过光背板来实现光纤管理的自动化，也避免了在大量光学部件之间部署数千条连接光纤。

在 OXC 产品中，所有连接都是通过背板来实现的，不需要外部光纤连接。背板本身包含了所有物理光纤连接，实现了任意端口到任意端口的硬连接，从而避免了对外部光纤连接的需求。在背板上，所有可能的光纤连接都是硬连接的。内部硅基液晶 LCoS 波长选择性开关（WSS）器件按需将单个波长从一个端口转向另一个端口。波长转向是通过软件控制的，因此完全自动化。

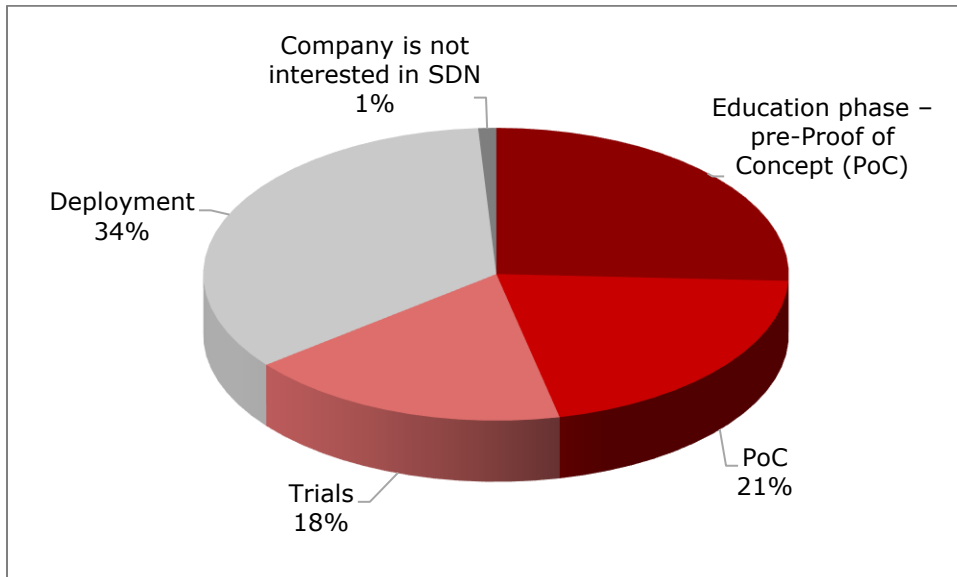
未来的若干年里，CDC ROADM 将继续在网络中扮演重要角色，这一点毋庸置疑。然而，OXC 这一极具前景的选择可以简化大型枢纽机房的连接。作为这类产品的先锋，华为 OXC 产品已经在中国移动和 XL Axiata（印尼）成功商用。

运营、管理和维护（OA&M）中的软件自动化

如今“软件定义网络（SDN）”这个术语已经很少使用，但其概念还远不至于消失。并且，运营商已经认识到软件驱动的自动化是降低 TCO 和满足客户网络需求的关键。不管 SDN 这一术语是否仍在使用，软件创新必须与硬件创新相结合。

图 2 展示了 Heavy Reading 的 2018 年全球运营商 SDN 部署阶段的调查结果。

图 2：2018 年全球运营商 SDN 部署阶段



N=142

数据来源: Heavy Reading, 绘制网络自动化&解耦合路线图, 2018年2月

尽管还需要几年才能实现完全 SDN 和真正基于意图的网络, 软件自动化在管理和运维、业务发放和故障处理方面产生了显著的运营和效率收益。华为称这种趋势为“新运维” (New Smart OAM)。

例如, 基于全局网络视图和实时数据采集的自动化、实时网络发现, 即使没有实现业务的自动发放, 也能为运营商带来直接收益。准确地理解全部存量是网络现代化的关键, 允许技术人员在不引起广泛业务中断的情况下, 拆掉旧的端口和系统。Heavy Reading 将这称为“只读” (read-only) 用例, 并且一些运营商正在部署该用例。

另一个只读用例是跨域 (可能是网络层) 数据的自动关联, 它可以用于分析网络并识别出结构异常。由于运营团队往往不能完全实现规划团队所设计的网络愿景, 所以普遍存在网络异常。因此, 可以基于实时数据收集、关联和软件分析来改进业务特性, 这也是一些领先运营商正在做的事情。

更新的成果是实时数据采集、机器学习以及预测算法的结合 (通常称为“人工智能”)。目标是通过网络数据输入和复杂的软件分析, 准确描述当前网络状态, 预测未来的健康状况。通过预测健康状况, 运营商能够提前识别网络风险, 并采取措施主动规避故障的影响。

同样, 实时数据采集和机器学习可以结合起来, 在网络故障发生时进行自动化根因分析。根据历史经验, 从故障引发的告警风暴中定位出根本原因, 是一个劳动密集型、耗时费力的过程, 而且故障的后果往往会引起广泛关注, 容易成为新闻头条。基于数据建模和机器学习, 采用先进的最新软件可以严格地缩小范围, 甚至准确地识别出故障根源。

网络变现: 全光传送应用案例

本白皮书所讨论的全光传送不仅有助于降低运营商的 TCO, 还可以通过高品质的光业务来显著地帮助运营商增加收入。运营商正在向以太网业务转型, OTT 的软件定义广域网 (SD-WAN) 业务越来越吸引企业

客户。并且，关键业务仍然需要高带宽（10 Gbit/s 至 100 Gbit/s）、可保证的低时延、可保证的带宽和高安全性的连接。OTN 波长正好能满足这些严格的业务需求，尤其在金融服务、医疗和政府等垂直行业。运营商可以利用全光传送的软硬件优势，进一步吸引愿意支付溢价的客户。值得注意的是，领先的运营商正在这样做，如下两个案例将详细介绍。

全球网络运营商：面向金融行业的低时延 SLA

某运营商的同步数字体系（SDH）存量的生命周期即将结束，竞争越来越激烈，但该运营商希望抓住新的收入机会。特别是，该运营商发现了在金融和政府业务中，高带宽、高可用、低时延和高安全性的溢价定价机会。因此，该运营商选择了远超过 SDH 线路速率的优质 OTN，并计划初步面向金融行业提供时延承诺的服务。时延承诺将基于实测的网络时延数据，基于主要目标企业的位置和可测量的微秒级时延圈，该运营商能够提供与众不同的服务水平协议（SLA）。

通过为 OTN 网络应用自助服务门户，该运营商实现了快速带宽开通和调度，以及按需带宽调整。该运营商提供了增强的客户自管理能力，可以弹性调节带宽以及可视化选择 SLA，并且结合性能和先进的功能，可以针对这些新业务收取额外的费用。

全球移动运营商：部署专用的 OTN 业务承载网

在竞争激烈的市场中，某移动运营商发现了高品质 OTN 的商业机会。基于所拥有的大量资金和可用光纤，该运营商产生了一个大胆的愿景，决定构建一个完整的、专用的 OTN 业务网络。其中，精品专线网络包括一个 200G 灵活 Mesh 骨干网络，全国网络包括部署 OXC 和 OTN 集群的 150 个中心节点。OTN 部署在大型企业和汇聚中心局点，通过光穿通“一跳直达”实现低时延，避免了传统 SDH 环网的频繁“光-电-光”转换。

集中网管能够管理三十万网元，包括用户驻地设备（CPE）。通过高速的网络参数监测实现了“细粒度”的网络监控。并且部署了在线 Portal，包括销售报价 Portal 和租户 Portal。全光传送既提升了运营商的网络效率，又增加了收入。

总结与结论

随着网络流量和复杂度的增加，需要在硬件和软件方面不断创新，以应对运营商的光网络需求。这些创新是全光传送的核心，旨在实现如下目标：

- **提高传输效率：**先进的 DSP 不仅能使数据速率更加逼近理论的香农极限，还能从现有线路系统和数据速率中挤出更高的效率。例如，50 GHz 间隔的 200G 传输，以及扩展光纤的有效工作频谱。
- **降低硬件复杂度：**下一代硬件加强了系统模块化设计，并且降低了空间占用、功耗和整体成本。例如，OXC。

-
- **提升运营效率：**结合实时数据采集、机器学习和预测算法，实现管理&运维（OA&M）、业务发放、故障处理等自动化，从而降低 OPEX。例如，实时库存、健康度预测、自动化排障等创新。

综上，这些创新降低了运营商的 TCO，包括 CAPEX 和 OPEX，同时也为增强业务（如 OTN 专线）打开大门，从而极大地提升收入。