



## 推动长距网络演进的六大趋势

由于传统应用如内容分发、数据复制、软件即服务、路由器互连、波长服务及其他专用线路服务的需求和带宽消耗不断增加，长距流量持续增长。根据诺基亚贝尔实验室最近的一份报告，传统消费和企业流量的复合年增长率为 16%。

但同一份报告还指出，与 AI 相关的流量以 24% 的复合年增长率增长。此外，长距网络还必须应对与 AI 训练和推断相关的流量增长。在最近的一次光学会议上，一家超大规模互联网内容提供商（ICP）表示，其骨干流量以 100% 的复合年增长率增长。

与此同时，网络运营商需要通过长距网络最大化光纤容量，降低每公里比特成本、功耗和停机时间，并简化网络运营。为了应对这些需求并跟上 AI 和非 AI 流量的增长，运营商正转向推动长距网络演进的六大关键趋势。

### 1. 更高的波特率

长距光引擎持续发展以支持更高的波特率。例如，最新一代诺基亚高性能光学引擎 PSE-6 和 ICE7 可实现 140+ Gbaud，较上一代 (PSE-Vs 和 ICE6) 支持的 90~100 Gbaud 有显著提升。该行业预计将在 2027/2028 年交付 250 Gbaud，2035 年前后交付 500 Gbaud，2040 年后交付 1000 Gbaud。

这些更高的波特率使得在同一数据速率下能实现更广泛的覆盖范围，或者相比前几代实现更高的数据速率。这导致每比特成本更低、功耗更低，占地面积更小。

然而，更高波特率的波长需要相应更多的频谱（即 Gbaud 约等于 GHz）。因此，虽然其他改进可能从一代提升到下一代的频谱效率，但更高的波特率实际上对频谱效率略有负面影响。随着我们越来越接近香农极限，这些代际频谱效率的提升变得越来越渐进。



## 2. 每波段波长更少

转向更高波特率及其宽广光谱的一个结果是，在相同光谱中波长数减少。例如，在 50 GHz 中 30+ Gbaud (100G/200G) 波长时，4.8 THz C 波段可支持 96 个波长。在 300 GHz 频率下，250 Gbaud 1.6T 波段，同样的 4.8 THz C 波段只能填充 16 个波长。

较少波长所需的 ROADM 上/下业务端口较少，因此直接连接（即波长转换器直接连接到 ROADM 的快速上/下业务端口）比大量低速上/下业务端口更可行。

更少但容量更高的波长使得无色无向无竞争（CDC）成为更具成本效益的选择，包括利用更具成本效益、低端口数且未放大的 CDC 模块。另一方面，高频谱波长会带来波长阻断和多线频谱的挑战，使得网络管理系统（NMS）支持的频谱碎片整理工具变得越来越有价值。

## 3. 长距离可插拔的相干插拔

相干可插拔光模块在容量、覆盖范围和性能上的提升，使其成为许多长距应用的可行选择。例如，400G 相干插拔器可在最长 1500 公里的距离内实现 400 Gb/s，300 Gb/s 可达 3000 公里，200 Gb/s 可达 5000 公里。

最新一代 800G 可插拔光模块还能实现更大的容量覆盖。例如，诺基亚 ICE-X 800ZR/ZR+ 可在最长 1700 公里的距离内实现 800Gb/s，在 3000+ 公里时可达 400 Gb/s。这些可插拔光模块可以直接部署到路由器中，也可以利用简化的波长转换器来使用。

## 4. 更多频谱

由于香农极限限制了光引擎光谱效率提升的范围，缩放稀缺或昂贵长距光纤容量的一种方法是增加光纤上的可用光谱宽度。

一种选择是扩展到 L 波段，C+L 将频谱从 4.8 THz 翻倍到 9.6 THz。另一个是 Super-C，支持诺基亚 1830 GX 光线系统（OLS）。在无法合理化全 C+L 成本的情况下，Super-C 提供了将频谱从 4.8 THz 提升至 6.1 THz 的 27% 的经济选择，未来有潜力升级至 Super-C + Super-L。

## 5. 多纤

解决香农极限的另一种方法是多纤模式，即在节点间铺设多对并行光纤。这一方法推动了 ROADM/终端节点和光线路放大器（ILA）技术的发展。多纤波长选择性开关将实现成本效益高的多纤 ROADM 卡。多激光封装和无冷却激光器等放大器组件将使多轨放大器更高效。多端口光信道监控器（OCM）、动态增益均衡器（DGE）和光学时域反射仪（OTDR）的演进通过在更多轨道上共享这些组件，降低了成本、空间需求和功耗。



这些新组件的演进共同使机架单元的 ILA 数量从目前约一台（例如 3RU 1830 PSS-8 中 4 个 ILA/DGE，4 个 Super-C ILA 在 4RU 1830 GX G34c 中）增加到不久的将来两台、四台、八台甚至 16 台。

## 6. 点对点架构

我们看到的最后一个趋势，主要在超大规模企业中，是向点对点长程架构的演变。在某些情况下，具有一致性接口的路由器正在取代 ROADM，用于度级间流量切换。在其他情况下，ROADM 仍保留这一角色，尽管程度较小。在 2025 年 OFC 上，诺基亚提出了应对这些挑战的解决方案。1830 GX 的超大规模 OLS 解决方案包括一台 66 端口的 C+L ROADM，集成放大器、OCM、放大自发发射 (ASE) 噪声和 OTDR，以及高度集成的 C+L ILA/DGE。

随着传统流量和 AI 相关流量共同推动长距传输业务的持续增长，而香农极限又使得频谱效率的进一步提升日益困难，运营商正寻求通过这些及其他技术趋势来升级其长距光网络。

诺基亚正在不断演进其长距光传输解决方案，依托 1830 PSS 系列产品——包括 1830 PSI-L、全新推出的 1830 PSS-HC 以及 1830 GX--帮助网络运营商在长距网络中充分把握这些技术趋势。借助这些解决方案，运营商能够最大化光纤容量与网络可用性，降低每比特每公里的传输成本，减少功耗与设备占地面积，并简化网络运维。