

# 测试 100 G 的传输网络和服务

测试 10 G 和 100 G 服务的方法相似；但是也存在显著差异  
作者：Guylain Barlow

带宽容量日益增长的需求推动了 100 G 网络的发展。更具体地说，这指的是配有核心接口的网络，能够以 100 G 以上的比特率传输信号。100 G 首次试验和实验的重点为长距离传输信息的首要任务，这需要调制技术，以支持骨干连接。新的 100 G 网络部署已变得越发普遍，正在各大洲蔓延开来。应用范围开始超出骨干传输，向大规模和 100 G 端口捆绑方向发展。但诸如银行等企业客户对 100 G 服务的使用仍停留在初始阶段；其会在未来几年继续保持发展势态。同时，100 G 正不断朝着数据中心应用方向发展，其发展蓝图是实现服务器连接。本文概述了 100 G 传输网络体系架构的基本原理，描述适用于光模块和 100 G 千兆以太网 (GE) 测试的服务激活应用程序，并深入探究了 OTN 网络及其发展。

## 网络拓扑结构

模糊术语通常将 100 G 接口的主要类型归类为“客户侧”和“线路侧”。线路侧通常指的是用于长距离信息传输的接口，例如数百或数千公里，其中某些信号通过具有波分复用 (WDM) 的单光纤传输。这需要使用复杂先进的调制技术，通常为供应商专有。相比而言，客户侧接口使用的是简单的开关键控 (OOK) 调制，以及明确定义的多个供应商的标准接口，这些接口适用于较短的传输距离。客户侧接口主要有两种类型：

- 103.125 时的 100 GE，在 IEEE 802.3ba 中定义和标准化；这是最常见的类型
- 111.8 时的 OTU4，在 ITU-T G.709 中定义和标准化

100 G 的线路侧接口不使用任何标准化调制格式进行传输；但多数 100 G 线路接口都使用偏振复用正交相移键控 (PM-QPSK) 调制，也称为双偏振 QPSK (DP-QPSK)。此调制技术通常与远端接收器的相干检测配合使用；其中接收器配有锁定频率的本机振荡激光器，并通过数字信号处理恢复振幅及信号相位。此种相干接收器的一个优点是其可对光纤中的色散进行电子补偿，如此可显著增加传输信号对色度色散和偏振模式色散的容限。图 1 展示了 DP-QPSK 调制的系统结构图。发送器生成两个独立的光学 QPSK 信号，每个信号都有四个不同的光学相位，组合成两个正交极化结构。这导致信号的波特率为比特率的四分之一。

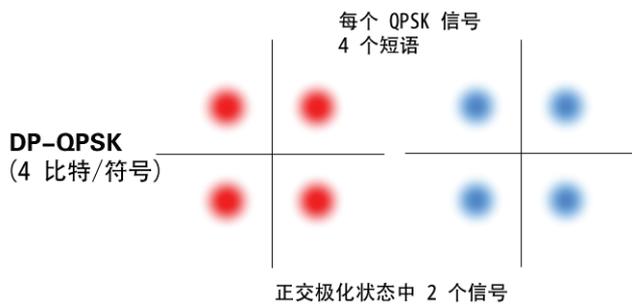


图 1. DP-QPSK 信号

客户侧接口可在供应商之间相互操作，并提供网络连接。使用 100 GE 传输时，最常用的接口为 100GBase-LR4，其可提供穿过长达 10 km 的 4 个波长的光纤连接。每个波长约等于 25 G 的带宽，总共提供 103.125 G。如表 1 所示，还有备选 100 GE 接口。多数接口都在 IEEE 802.3ba 中定义，同时 10x10 MSA 概述了 10 G 波长接口。当前，由于 40 km 光学器件的可用性不强，100GBase-ER4 的使用仍处于初始阶段。相对普遍的 100GBase-SR10 接口主要用于数据中心应用程序，而 100GBase-CR10 是电口的标准。

图 2 显示了典型的 100 G 传输网络中客户侧和线路侧 100 G 接口的关系示意图。

接口	范围	介质	WL/光纤芯数量	优点
100GBase-LR4	10 km	SMF	4 $\lambda$ / dir	IEEE 802.3ba
100GBase-ER4	40 km	SMF	4 $\lambda$ / dir	IEEE 802.3ba
100GBase-SR10	100 m 125 m	OM3 MMF OM4 MMF	10 个光纤 / dir	IEEE 802.3ba
100GBase-CR10	7 m	双轴电气	10 根电缆 / dir	IEEE 802.3ba
10x10 MSA	2 km 10 km 40 km	SMF	10 $\lambda$ / dir	10x10 MSA 技术规范

表 1. 100 GE 接口

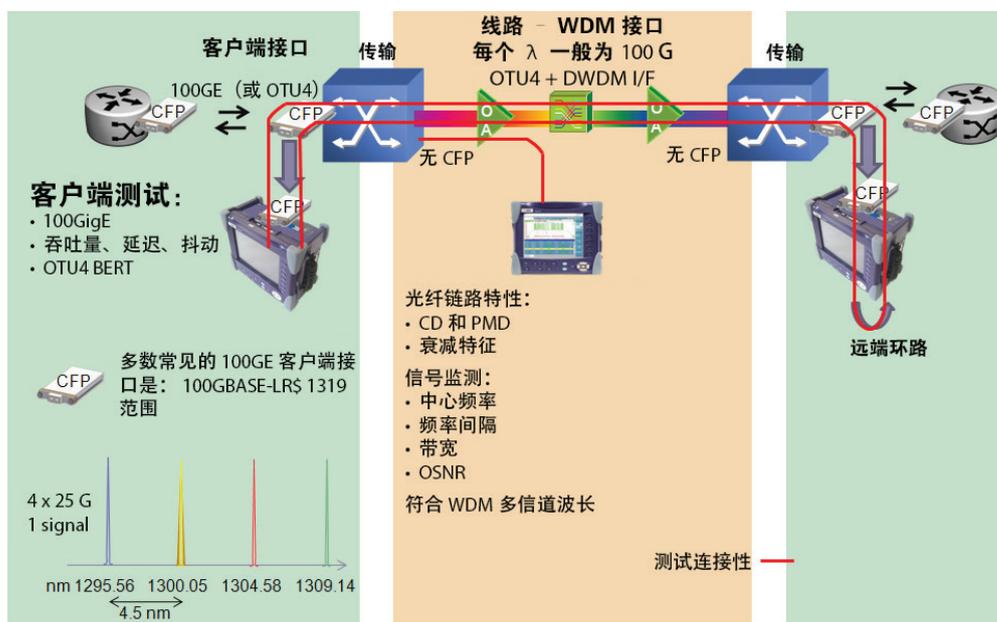


图 2. 线路和客户侧接口

在图 2 列举的应用中，在客户侧接口配有 100 G CFP（C 形可插拔接口）的传输设备通常被称为收发器应用。此种情况下，诸如 100 GE 之类的服务利用 WDM 核心链路在网络中传输。这与复用器应用相反，其中多个低速链路（通常为多个 10 G 链路，例如 10 GE 接口）连接形成核心主干网，以汇总合并到波长的 100 G。客户侧流量基本上通过多路复用阶段以利用更高速率核心主干网链路提供的效率。在应用测试中，激活此复用器服务意味着生成和分析来自一个或多个 10 G 源（而不是来自 100 G 源）的网络流量。还有其他的 100 G 传输应用；收发器和复用器是当前最常用的两种应用。图 3 列举了转发器应用中的示例连接。



图 3. 转发器应用

## 线路侧测试

测试网络接口包括分析与信号以及媒介（在这种情况下为光纤）相关的光学参数。对于色散，线路速率越高（例如 100 G）意味着接收器敏感度越高。对于色度色散，敏感度的增加与线路速率的平方（主要因素）成正比（较显著），而偏振模式色散与线路速率呈线性增加。但由于 100 G 系统采用了结合接收器中的高速电子信号处理的相干检测，因此显著缓解了色度和偏振模式色散导致的信号失真。这些信号的色度和偏振模式色散的容限明显大于常规检测的 10 G 或 40 G 信号的容限（通常大于 30,000 ps/nm 的累计色度色散和 30 ps 的偏振模式色散）。然而，光纤基础设施的特性描述和记录仍是开通系统时强力推荐进行的步骤，尤其是在具有混合信号的 WDM 系统中，可能会采用相同的光纤传输 10 G 和 40 G 信号以及 100 G 信号。

调试 100 G 线路侧链路时主要考虑的参数为光纤链路（尤其是链路终端）信号的光学信噪比 (OSNR)。确保 100 G 信号的 OSNR 在容限范围内是保证网络运营信息错误率最低的关键所在。然而，由于信号频谱已扩展至整个 WDM 信道宽度，因此很难直接测量传输 100 G 线路信号的 OSNR。此外，在此种情况中不适合使用测量单偏振信号（如 10 或 40 G OOK-NRZ）OSNR 的偏振识别技术（如零偏振技术），因为 PM-QPSK 信号未展现定义良好的偏振状态。因此，网络正在使用时，不能测量 100 G PM-QPSK 信号的 OSNR。某些情况下，可以通过关闭传输 100 G 信号来测量选定 WDM 信道的光学噪声电平。这要求停止使用网络，且不适用于采用光信道监控器 (OCM) 的 ROADM 网络，信号丢失时，该监控器可阻碍信道传输。行业层面进行的研究是为了确定 PM-QPSK 信号的带内 OSNR 测量方法。

## 100 GE 客户侧测试

100 GE 客户侧接口激活测试的基本内容包括监控报警和错误的同时，生成和分析流量。要执行网络测试，通常的方法是使用简化和自动执行操作的测试套件。IETF RFC 2544 和 ITU-T Y.1564 中定义了常见的流量服务激活测试套件。多数情况下，这些测试套件与网络远端的环回一起运行（如图 1 所示）。远端环路可采用硬环路形式，通常为仅用于第 1 层传输网络的光纤跳线连接。存在第 2 层或第 3 层功能（意味着以太网交换或路由）时，远端环回必须为逻辑功能。此功能需要有源设备（例如测试设备），其中交换第 2 层和第 3 层（根据要求）源以及目的地址。

根据激活测试的性质或仅根据调试或排除故障团队现有的程序，选择使用 RFC 2544 或 Y.1564。RFC 2544 是一种设计合理的方法，其包括吞吐量、延迟、帧损耗率以及突发测试。普遍认为，尽管没有建议，但仍增加了数据包抖动测试。RFC 2544 起到的主要作用是作为单一服务激活新链路。RFC 2544 测试套件的运行时间实际上取决于特定的部署；可进行优化以提高此测试的速度和效率。

ITU-T Y.1564 的重点主要是服务激活；促使测试套件部署具有同时为多个服务提供自动执行测试的主要优势。在测试套件中，可将此类服务模拟为使用的数据流，以区别分配给不同服务级别的服务流量，甚或常规服务流量和关键任务控制平面流量。Y.1564 重点关注 3 个关键性能指标 (KPI)，其可提供帧丢失率 (FLR)、帧延迟 (FD、延时) 以及帧延迟变化 (FDV、数据包抖动) 等形式的指标。通过根据其带宽配置文件对每个服务进行验证，Y.1564 的服务性能测试非常适合服务水平协议 (SLA)。与这些配置文件相关的流量参数始终包括承诺信息速率 (CIR)，并且对承诺突发量 (CBS) 的关注日益增加；尽管在实践中并非常用，但扩展信息速率 (EIR) 测试仍是 Y.1564 的一部分，而扩展突发量 (EBS) 却较少使用。JDSU Y.1564 测试套件称为 SAMComplete。与 RFC 2544 一样，Y.1564 可用于测试双向流量（利用环回），甚至是单向或非对称流量。表 2 高度概括了 RFC 2544 与 Y.1564 的对比情况。如果进行网络测试时检测到错误，则其中一个故障排除步骤可能会用于测试客户侧光学器件。此类 CFP 测试可在测试设备上执行，应包括对支持的时钟偏置范围进行低级码型测试，以太网的时钟偏置范围为  $\pm 100$  ppm。

	RFC 2544	Y.1564
100 GE 主要应用	开通新骨干链路或单一端对端连接	在核心中开通以太网连接或服务
参数已测量/验证	吞吐量 延迟 帧损失率 突发性 (附加: CBS) 附加: 数据包抖动	FLR 延迟: FD 数据包抖动: FDV CIR EIR 流量监管 CBS
重点	测试一个数据流 (地址对); 确定最佳性能	测试一个或多个服务, 验证帧传输性能 (其中包括 SLA 参数)

表 2. RFC 2544 和 Y.1564 应用

延迟测量值的精度和分辨率是 RFC 2544 和 Y1564 重点考虑的一项。精度是指测量值与实际值的相近程度（在误差范围内），分辨率是指提供的信息级别，例如 100 ns 或 0.01  $\mu$ s 的分辨率。为了准确关联光纤长度和延迟，需要高分辨率和高精确度。这种关联十分重要，尤其是支持涉及财务部门高频率交易的应用或时间敏感的无线服务等终端客户时。在 103.125 G 时（实际为 100 GE 速率），传输 1289 字节的帧需要 100 ns，前提是当前技术可实现帧级别延迟精度。

另一推荐的服务激活程序为第 2 层透明度测试。在具有交换或路由元件的以太网网络中，此测试是重点考虑事项，其可消除耗时繁琐的故障排除。交换机和路由器（包括传输设备中的以太网/MAC 模块）以控制平面信息格式生成相对少量的关键流量。这些控制平面帧主要发送给其他交换机和路由器。提供网络带宽服务时，应确保已正确处理所有控制平面协议：意味着已根据 MEF 6.11 将其隧道化、同步或舍弃。第 2 层控制平面协议由来自以太网类型或子类型字段的协议类型或逻辑链路控制 (LLC) 代码确定。此类协议包括生成树协议 (STP) 以及链路层发现协议 (LLDP)。执行此类测试的有效方法是在网络中模拟这些控制平面协议，同时确保没有被错误地拦截或修改相应的帧。当运营商提供可穿过第三方网络的带宽服务时，为另一个第 2 层透明度测试的应用实例。

总之，利用连接至客户侧接口的测试设备测试网络具有测试网络全部和完整数据路径的优点。使用此类设备，除全面的记录功能外，还可提供独立的性能评估。

## 网络问题故障排除

除服务激活测试外，还需要进行故障排除。在以太网级别（即第 2 层和第 3 层），测试方法和程序与在 10 GE 上执行的非常相似（如 RFC 2544、Y1564 和第 2 层透明度）。然而，100 G 模块和系统上实施的第 1 层与较低线路速率系统存在根本差异，并且这些差异还存在于多个波长的客户侧光学器件中。因此，现场故障排除要求在电气通道级别查看信息以进行报告。这些电气通道可在光模块（例如 CFP）的背面找到。每个通道错误和报警等信息（例如同步缺失）有助于指明与特定物理通道相关的硬件问题。在任何情况下，执行项目的深层测试（例如，skew 测试等）并非现场要求，而是在实验室环境中执行。如果现场出现严重的物理层问题，则可通过流量测试程序检测。

现场数据抓包为未要求的故障排除功能。此类功能需要镜像端口，以便进行抓包，100 GE 还不能使用该功能。此外，此级别的故障排除在终端客户回路（例如企业客户）处执行，其中当前能用到的 100 GE 线路极少。

## 光传输网络 (OTN) 的未来属于我们

100 G 网络的发展推动了更多 OTN 端口的部署。OTN 创建于十几年前，主要用途是长距离传输 SONET/SDH 客户信号。其特点是与每个 OTN 帧相关的前向纠错 (FEC) 算法，有助于延伸终止节点之间的距离。主要标准 ITU-T G.709 已得到发展，能适用多种有效载荷客户信号（例如以太网、光纤信道和通用公共射频接口 (CPRI)）；其定义了 100 G OTU4 接口。

进一步而言，从测试角度来看，主要的变化为将有更多的 OTN 端口作为客户侧接口使用。反过来，其也完全标准化了作为客户侧端口的测试应用，并实现了与测试设备之间的交互操作。多数传统的 OTN 应用程序（尤其 OTN 中包含客户侧信号的数字封装器）均适用于线路侧端口，其中由于兼容性问题，通常无法生成测试流量。在线路侧端口出现这些情况主要有两个原因：使用供应商指定的先进调制技术和专有的 FEC 算法。所有 OTU4 客户侧端口都支持通用 G.709 RS(255,239) FEC；G.709 中必须使用，以提供可用作测试接入点的公共接口。

新兴的 OTN 客户侧应用程序包括直接从路由器端口传送的 OTN，其中以太网封装在 OTN 中或位于两个运营商之间。使用 OTN 的理由在于操作先进、具有管理以及维护 (OAM) 功能，可提供强大的报警和错误监控。此外，值得注意的是 100 G 没有 SONET/SDH 标准。不久以后，我们将看到新兴的 OTN 现场应用，例如基于 ODU 多路复用技术的第 1 层 OTN 交换。这就是将要出现的部署浪潮，其中可交换较低速度的信号，然后汇集在高达 OTU4 的高速 OTN 链路中。这些发展背后的主要动力依然是高速以太网信号的传输。

## 结论

总之，全球各地区正在加快 100 G 部署速度。与 10 和 40 G 传输相比，其具有众改进，其中包括调制方案以及诸如新物理层等差异。需要考虑的主要测试参数（例如线路侧接口色散和 OSNR）、客户侧接口的帧丢失率、延迟、数据包抖动以及协议透明性等仍类似。但庞大的信息量以及 100 G 服务的紧迫性使得测试成为了关键部署因素。此外，全球转为使用 OTN 客户侧接口促使严格测试流程的使用成为了主要考虑因素。

这些因素促进了电信行业的发展，并使我们迈入以更高容量主干网为基础的下一创新阶段。



北京  
电话: +8610 6476 1300  
传真: +8610 6476 1302  
上海  
电话: +8621 6859 5270  
传真: +8621 6859 5265  
深圳  
电话: +86755 8691 0100  
传真: +86755 8691 0001

© 2015 Viavi Solutions Inc.  
本文档中的产品规格及描述可能会有所更改，恕不另行通知。  
test100gtransport-wp-tfs-tm-zh  
30175966 900 0213