

白皮书

5G 网络中的光纤

前传、中传、回传 - 光纤在 5G 中 将无处不在

与 LTE 不同，5G 将影响网络的每一个节点组件，并在不同的用例上提供，从增强的移动宽带到同一网络上的超可靠低延迟。5G 网络将需要对资源进行优化，使每个用例都能满足该应用的特定 SLA。挑战在于，这意味着射频、光纤、硬件和网络元素等 5G 网络资源虽然在宏观层面上共享，但将为每个具体应用提供单独的颗粒级网络。例如，用户在联网汽车中观看视频将需要更高的吞吐量、更大的射频和网络资源，而同一辆联网汽车将需要超低延迟和可靠的连通性。为了使这个网络的网络成功，所有资源都必须灵活而敏捷地以有效的方式提供不同的 SLA。我们都知道将每个用户连接到基站发射塔或接入点的射频资源的价值，但对于 5G 的成功交付而言，将该接入点连接到网络核心和云的射频资源的重要性也不亚于此。在大多数情况下，射频和 5G 云之间的连接将由光纤构成。事实上，5G 是促使服务提供商投资数十亿来进行新光纤部署和/或升级光纤基础设施的关键原因之一。

光纤在 5G 中的角色

虽然部署光纤的成本很高，但在大多数情况下，与部署所面临的挑战相比，它带来的好处更大。光纤以更少的衰减提供更高的带宽，可抵抗电磁干扰，能够提供更低的延迟，并且，随着复用技术的改进，可以适应在相同光纤基础设施上的容量增长。

除了商业和物流方面，以下 5G 网络架构的变化将推动光纤基础设施的发展和拓扑结构：

- 5G 对中频和毫米波的支持将导致城市和郊区环境中基站的显著增长。毫米波使用大量的频谱；然而，毫米波的覆盖范围是有限的。这将推动大量的基站部署在更小的服务区域。
- 网络功能虚拟化 (NFV) 将允许分离控制面和用户面，对于低延迟应用，分散的用户面将更靠近终端。
- 划分基带功能并创建称为分配单元 (DU) 和集中单元 (CU) 的新节点实体，以根据应用的需要优化传输功能。
- 支持大规模 MIMO 和波束成形的有源天线系统 (AAS) 需要更高的带宽和直接光纤连接，这将使更多的光纤下移，并创建额外的传输节点。

光纤投资的另一个关键用例是光纤在接入网中的汇聚。在过去，光纤接入网是为单一的用例而设计的（即光纤入户或光纤到天线）。现在，服务提供商正在设计能够支持光纤到 x（即 FTTx，x = 任何东西）的光纤基础设施。5G 分散架构将允许服务提供商利用现有和新的固定网络资源，以降低管理多个网络的总体成本，并实现更敏捷和灵活的资源池。如前所述，固定和移动资源的共享现在可以通过对接入站点和光纤基础设施的整体规划和升级来实现。

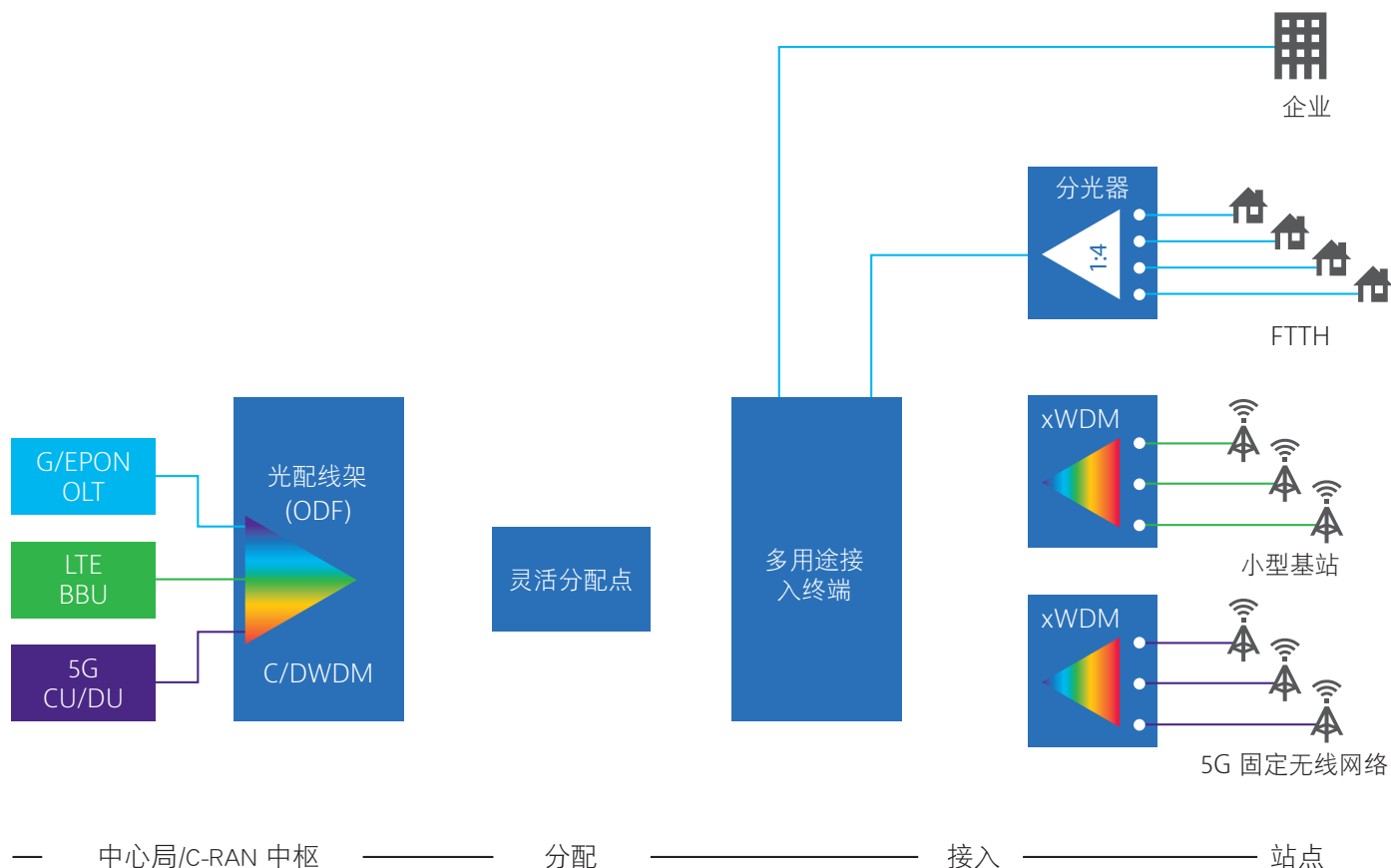


图 1. 融合光纤接入网络的示例
来源: CommScope

总之，5G 服务的光纤网络拓扑结构将根据暗光纤（不发光的可用光纤，也称为灰纤）的数量和成本、网络上支持的不同 5G 应用的用例、光纤升级的业务案例，以及管理多个 FTTx 网络的成本而变化 and 演变。

5G 前传的演变

不久以前，光纤还只用于长途网络，但随着宽带（永无止境地）持续稳定增长，光纤已成为主要的传输介质，不仅在核心网络，而且在城域网和接入网中都是如此。同样，移动网络用户对更高带宽和更高容量服务的渴求推动着光纤在无线接入网络 (RAN) 中更深、更高层次的采用。

随着无线电变得更强大和平均更换时间 (MTTR) 的改善，供应商开始提供远程无线电解决方案。为了避免长同轴电缆和连接器造成的大量损耗，无线电设备已经移到离天线更近的地方。这一策略不仅有助于改善射频足迹，还降低了位于或靠近发射塔底部的无线电设备外壳的冷却成本。但是，为了支持远程射频单元 (RRU)，引入了新的接口。这些接口通过物理光纤链路将数字设备（也称为基带单元 (BBU)）连接到 RRU。在 BBU 和 RRU 之间引入的新链路称为前传，这与将 BBU 与核心移动网络连接的回传形成了对比。用于通过光纤前传传递射频信息的最常用技术是通用公共无线接口 (CPRI) 协议。

CPRI 提供专为在 RRU 和 BBU 之间传输无线电波形设计的专用传输协议。CPRI 框架会随着无线电信道带宽和天线元件数的增加而扩展。CPRI 在统计多路复用方面效率不高，无法根据 5G 的需求进行扩展，尤其是对于大规模 MIMO 和更大的带宽增量。5G 场景所需的带宽和天线将使 CPRI 的带宽需求超过 100 Gbps（表 1）。

天线	10 MHz	20 MHz	100 MHz
1	0.49 Gbps	0.98 Gbps	4.9 Gbps
2	0.98 Gbps	1.96 Gbps	9.8 Gbps
4	1.96 Gbps	3.92 Gbps	19.6 Gbps
64	31.36 Gbps	62.72 Gbps	313.6 Gbps

表 1: 取决于带宽和天线端口的 CPRI 带宽

对于规模更大的 5G 网络部署而言，这些带宽分配将非常昂贵。3GPP、IEEE、ITU-T 等标准机构一直致力于：

1. 研究 BBU 功能的不同拆分选项（如图 2 所示）及其含义
2. 确定针对不同应用和服务的最佳要求（吞吐量、延迟、抖动等）
3. 确定划分不同 BBU 功能以满足应用和网络需求的潜在挑战和解决方案
4. 针对灵活前传拆分提供指导

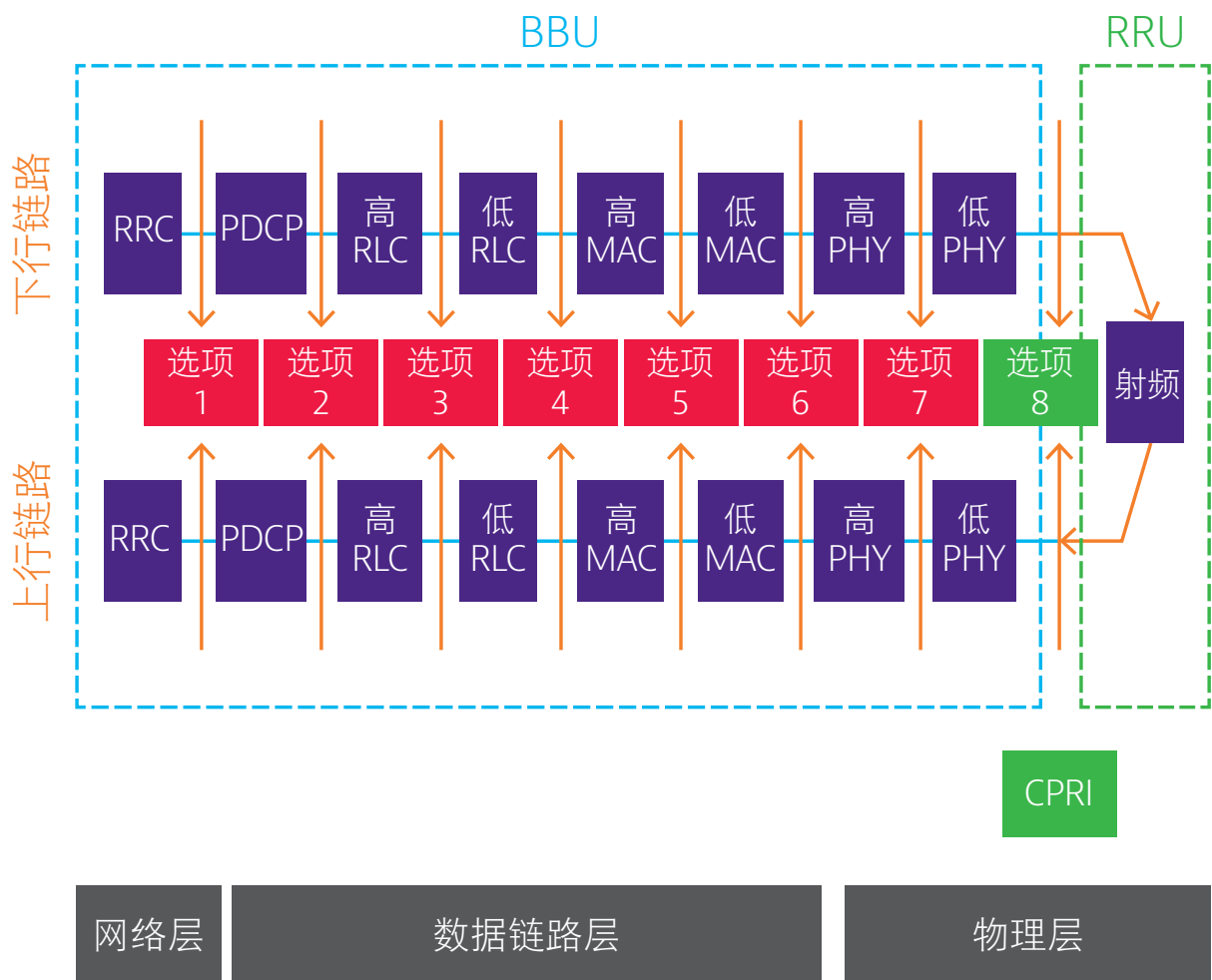


图 2. 功能拆分选项

除了带宽效率低的主要缺点外，CPRI 的延迟预算也非常有限。在实践中，这意味着 BBU 和 RRU 之间的距离将非常有限。距离由延迟预算以及前传中部署的传输技术的类型决定。暗光纤是实现最大距离的最简单的光纤。包含一些处理元件的传输设备可以减少延迟预算，有时甚至可以大幅降低延迟预算，正如光传输网络 (OTN) 一样。通常情况下，操作人员必须查看各个用例并进行权衡分析，以确定最佳传输技术。分析中的关键输入包括光纤和机房的可用性，以及无线电端点的数量和位置。以下是对前传供应商和服务提供商的高级要求：

- a. 减少前传的比特率（容量使用），特别是将前传使用从天线端口容量中分离出来，如同 CPRI 的情况一样。
- b. 管理 URLLC 类型应用严格的延迟需求。
- c. 优化协调特性（例如协调多点 (CoMP) 和载波聚合 (CA)）的定时和抖动要求。
- d. 减少间接成本和部署成本，因为光纤是一种昂贵的部署资源。

为了满足这些需求，下一代的 RAN 已经取得了发展，BBU 执行的功能分为了三个部分：

1. 中央单元 (CU)
2. 分配单元 (DU)
3. 射频单元 (RU)

某些物理层无线电功能（例如资源映射）将迁移到 RU。RU 将监督天线的 I/Q 信号和无线电载波的产生。这将大幅减少前传上所需的比特率支持。CU 和 DU 之间的链路称为中传，中传的特性类似于 4G 回传。CU 带有非实时功能，从而允许将它放置在远离无线电的地方，根据应用类型，DU 可能非常接近 RU 或集中放置。例如，对于诸如移动性或协调多点 (CoMP) 之类的协调应用，DU 的集中放置更有意义。



图 3. DU/CU 拆分

这种新的体系结构有助于解决带宽难题，并在延迟方面提供灵活性，从而驱动这些功能元素和网络支持的应用的位置。标准机构正在推动的一件事是，提供一种更灵活的基于分组的技术，用于在前传上传输用户面。使用以太网在前传上进行传输很有意义，因为它可以向后兼容，考虑到了商品设备，使接入网络更加融合，并能实现统计多路复用，从而可帮助降低集合比特率要求。使用标准 IP/以太网网络交换/路由也将使得功能虚拟化和整体网络编排可以相对轻松完成。

eCPRI

在讨论光纤回传、中传和前传拓扑结构之前，让我们回顾一下 5G 前传接口的发展。eCPRI 技术以物理层 (PHY) 组件的功能拆分为基础。eCPRI 规范建议将拆分选项 I_u 用于上行链路，并建议为下行链路部署 II_D 或 I_D ，后者对于 3GPP 将映射到 7x 拆分（如图 4 所示）。eCPRI 通过前传传输网络连接 eCPRI 无线电设备控制 (eREC) 和 eCPRI 无线电设备 (eRE)。与 CPRI 相比，eCPRI 的目标是通过功能分解降低 eREC 和 eRE 之间的数据速率需求，同时限制 eRE 的复杂性。此外，eCPRI 设计为可通过基于分组的前传传输网络（比如 IP 或以太网）实现高效而灵活的无线电数据传输。

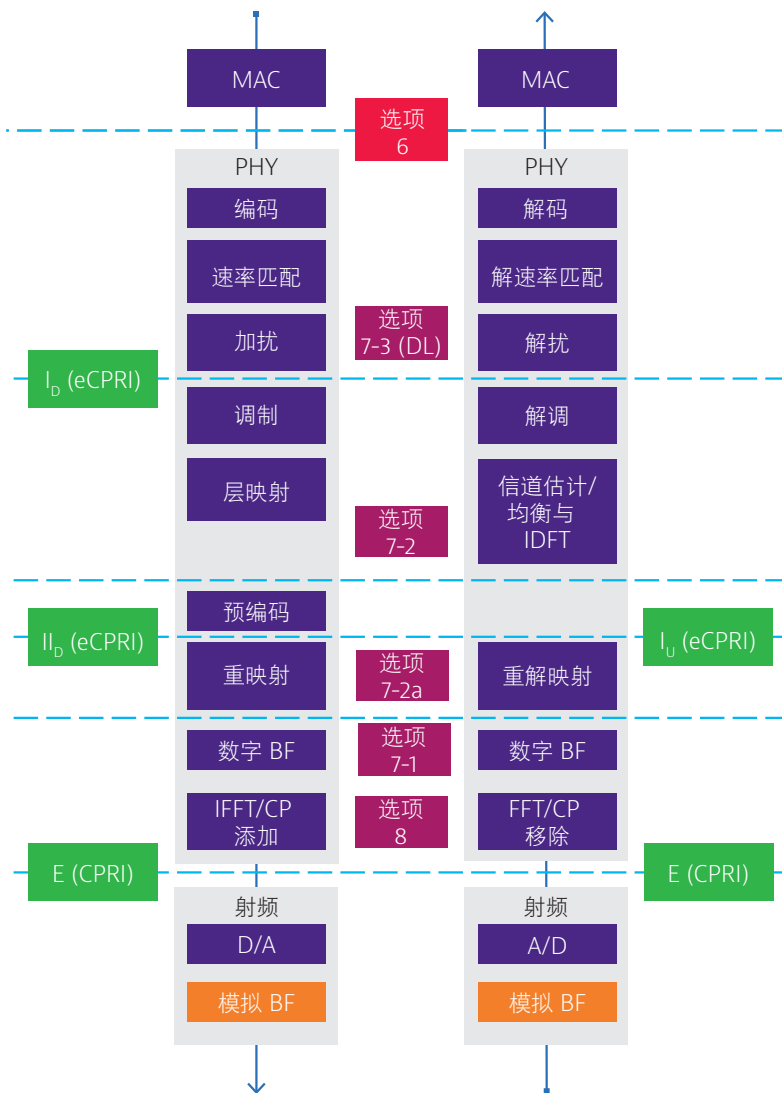


图 4. PHY 中的功能拆分

对于 eCPRI 来说，eREC 与 eRE 之间的相互作用需要三个面：1) 用户面、2) 同步面以及 3) 控制和管理 (C&M) 面。eCPRI 标准定义用户面，并引用其他标准定义其他各个面。例如，运营商可以自由选择用于同步的精确定时协议 (PTP) 或全球定位系统 (GPS)。

eCPRI 还提到了基于分组的用户面传输技术。以太网 (第 2 层) 和以太网/IP/UDP (第 2/3/4 层) 均可行。对于物理层，eCPRI 指的是以太网速率 10 Gbps 到 100 Gbps。这个讨论的重点不是重新讨论 eCPRI，而是找出 CPRI 和 eCPRI 之间的区别。而且，在 CPRI 接口受限的情况下，eCPRI 通过降低前传上的吞吐量为 5G 打开了大门，它使用的帧格式支持以太网或以太网/IP/UDP 帧传输。该帧包括一个 eCPRI 标头，后跟第 2 层或第 2/3/4 层标头，再后面是 eCPRI 有效载荷。

同步面在任何以太网层上独立进行，不受特定协议的限制。全球定位系统 (GPS)、精确定时协议 (PTP)、同步以太网或类似的技术都可以用于定时和同步。

综上所述，拆分 BBU 功能对于 5G 服务是至关重要的，因为 CPRI 对于 eMBB 和大规模 MIMO 是不可扩展的，而且它没有提供 MMTC 和 URLLC 应用所需的灵活性。转移一些 BBU 功能来降低前传比特率（CPRI 比特率与天线数量和用户吞吐量成比例）会影响协调功能和实时应用（包括 URLLC）的延迟需求。通过对不同应用类型使用 NFV 和灵活的拆分选项，可以实现更理想的中传和前传（也称为 x 传）。这种新的 x 传架构支持可扩展的、基于分组的传输技术，但缺点是运营商现在必须解决定时和同步问题。不过，可以使用基于标准的定时和同步技术（例如 GPS、PTP、同步以太网或其他类似技术）来解决这些问题。最重要的是，5G 前传和中传网络将根据所提供的应用程序、网络拓扑、介质可用性（光纤、微波等）和服务提供商业业务情况而有所不同。没有放之四海而皆准的办法。

光纤前传技术

光纤将成为前传网络的主要介质。通过上述 5G 和前传演进讨论，我们可以描述光纤前传网络的需求。可以根据对特定网络需求的正确理解来规划和实现各种前传网络拓扑结构和技术。以下是 5G 光纤前传网络的关键要求：

1. **经济高效**：部署光纤的成本很高昂。如果有暗光纤（不发光的光纤）可用，应首先使用暗纤（无光光纤），随着容量需求的增加，下一层多路复用 (WDM) 系统的部署和未来的规划可以增加网络容量。
2. **灵活**：前传应该允许在相同的光纤前传基础设施上实现具有不同延迟和抖动预算的不同应用。
3. **透明**：前传应该允许实现具有不同服务质量 (QoS) 的多个服务，其中特定应用和服务的 QoS 可以由更高的层管理。
4. **敏捷**：敏捷性将使新服务的快速交付成为可能，允许动态分配和释放不同服务所需的网络资源，动态优化网络连接的能力将是 5G 前传的关键组成部分。
5. **定时和同步**：延迟和抖动非常重要（特别是对于移动性和 URLLC 应用），因此是 5G FH 的一个非常重要的要求。
6. **管理和维护**：前传必须易于管理和维护，才能快速解决网络故障，并实现时间敏感应用的高可靠性。

对于提供多种服务的服务提供商来说，另一个关键的方面是部署一个可扩展的接入光纤架构，这种光纤架构应能容易地在同一平台上支持住宅、商业、企业和 5G 中传/前传。光纤到户 (FTTH) 提供商可以通过租用暗光纤或通过增加光纤容量来提供前传服务，从而利用现有的光纤网络。在任何情况下，部署的前传解决方案都将随着新服务的提供和数据使用的增长而变化和发展。我们看到正在讨论、计划和实施的一些不同的前传网络解决方案有：

暗光纤

暗光纤是一种点对点解决方案，在这种解决方案中，具有过剩光纤容量的服务提供商可以提供最简单的前传解决方案。在这种情况下，DU 和 RU 之前不需要任何传输设备，为了实现更高的吞吐量，可以在两个节点之间安装多条光纤。这个解决方案提供了最简单的部署和最佳的延迟，但它在光纤资源方面也是最低效的，一些服务提供商可能从点对点暗光纤开始，但随着移动宽带的增长和/或新服务的提供，可能会在后期实现多路复用或光纤共享。

这个解决方案可能是最容易安装的，因为只需要基本的光纤检测和认证。在多条光纤用于单个无线电的情况下，我们可能会看到四通道 SFP 接口 (QSFP)，它们可能需要一个 MPO 测试解决方案来同时验证多个光纤束。

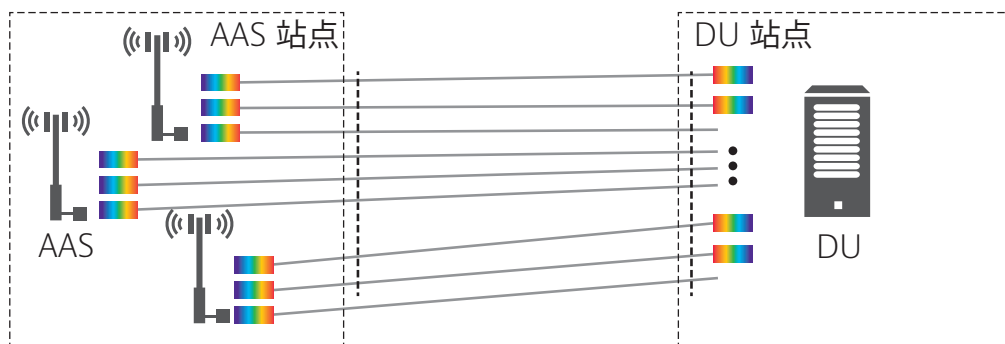


图 5. 点对点光纤

无源 WDM

在无源 xWDM 网络中，多个数据信号通过单个暗光纤网络在不同波长信道上传输。彩色收发器直接连接到以太网交换机，然后输出信号直接连接到多路复用器，反之亦然。无源设备不需要通电。其维护简单，但由于需要彩色光学接口或可重新配置的 SFP，特别是因为组件类型和备件成本的原因，成本可能相对较高。如同有源 WDM 一样，由于没有发生光-电-光转换，因此延迟较低。与任何其他光网络一样，在大多数情况下，功率预算将决定传输距离，对于前传来说，这通常应该不是一个大问题。部署将稍微复杂一点，验证功率电平以及正确的收发接口之间正确的波长传输和接收是关键所在。

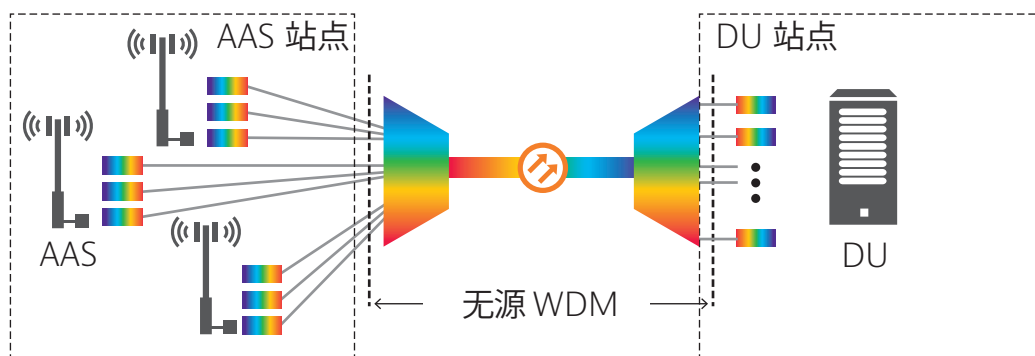


图 6. 无源 WDM

WDM-PON

支持无线前传的一个直接解决方案是在传统的 PON 中覆盖新的波长，而不与传统的固定接入服务共享带宽。NG-PON2 技术（TWDM 和 PtP WDM，也称为 WDM-PON）都可以用于这种场景。

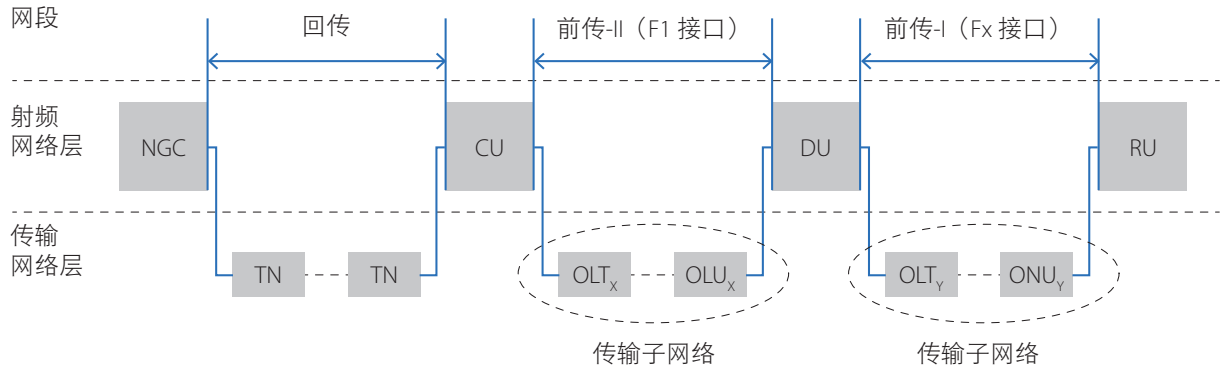
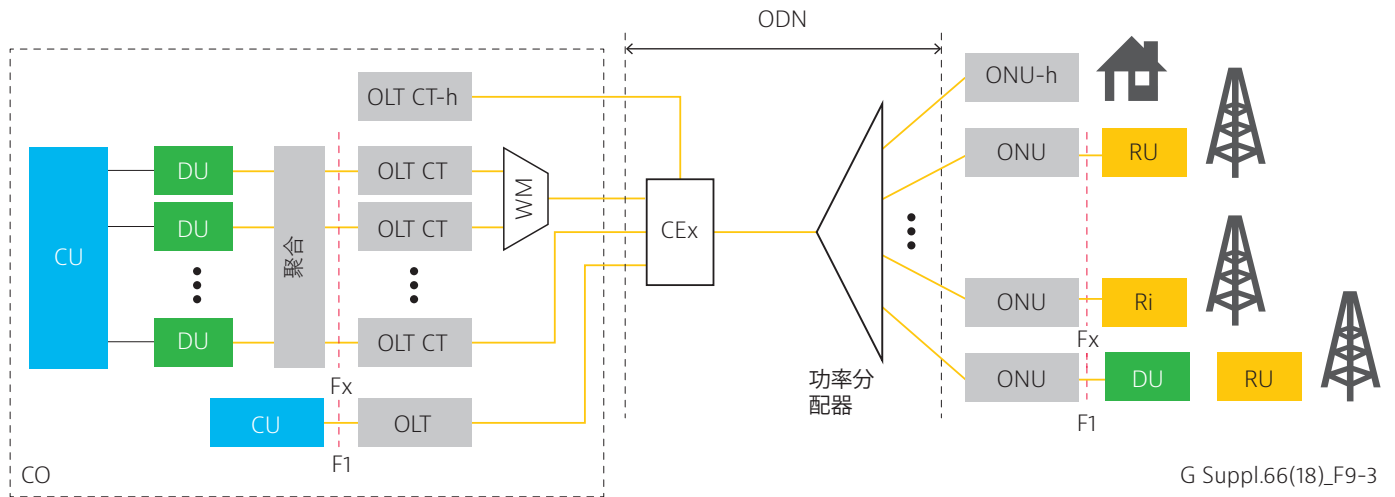


图 7. 分层结构的概念，显示无线网络层（CU、DU、RU）和传输网络层 [3GPP TS 38.401]

WDM-PON 是一种接入网技术。它在物理点对多点光纤拓扑的基础上创建基于波长的逻辑点对点架构。WDM-PON 被认为是融合接入网的一种潜在技术，可为无线网络传输来自住宅、企业和前传/中传的数据。WDM-PON 提供了一个简单的库存控制，因为可以使用无色的可插拔收发器，并且这种方法使用星形网络。



注 - 每个 OLT Ct 可以支持多个 ONU，为了简单起见，图中没有显示。

图 8. 基于传统 PON 的更高层和更低一层拆分前传（含 WDM 覆盖）

拆分选项（更高层或更低一层拆分）可能会使相同 PON 上的延迟和带宽需求有很大差异，因为波长资源和处理功能需求可能会随着拆分的不同而变化。多路复用器/解复用器和连接器造成的路径损耗会影响链路距离。WDM 处理也会影响链路延迟。数据、管理和同步 (Synced/PTP) 可能需要单独的链路。

WDM/OTN

光传输网络 (OTN) 技术提供了用于光信道传输、多路复用、交换、监控和管理的功能。基本上, OTN 是一个数字封装器, 它可以透明地将每个客户端有效载荷封装到一个容器中, 以便跨光网络传输, 同时保留客户端的本机结构、定时信息和管理信息。OTN 增强的多路复用能力允许不同的通信类型 (例如以太网、数字视频、SONET/SDH 等) 在单个光传输单元帧上传输。OTN 通过前向纠错 (FEC) 提供透明的客户端信号传输。

在 5G 领域, 接入 WDM/OTN 设备可以在 RU 和 DU 中枢处配置。多个前传信号基于 WDM 技术共享光纤资源, 并使用 OTN 开销进行管理和保护, 以保证质量。接入 WDM/OTN 设备和无线节点使用标准的灰色光口连接, 降低了管理彩色光口的成本和复杂性。有源 WDM/OTN 解决方案同时支持点对点 (P2P) 联网和环形联网。

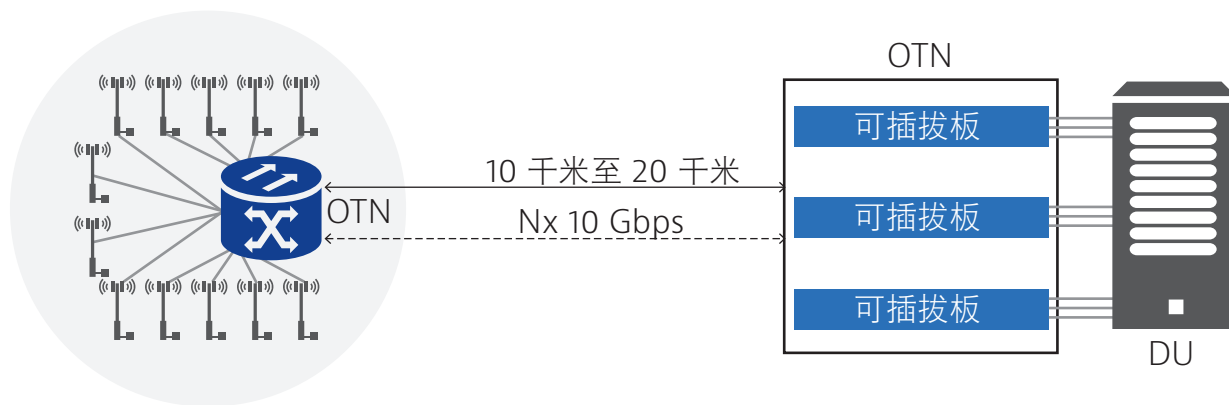


图 9 a: 有源 WDM/OTN 解决方案的 P2P 架构

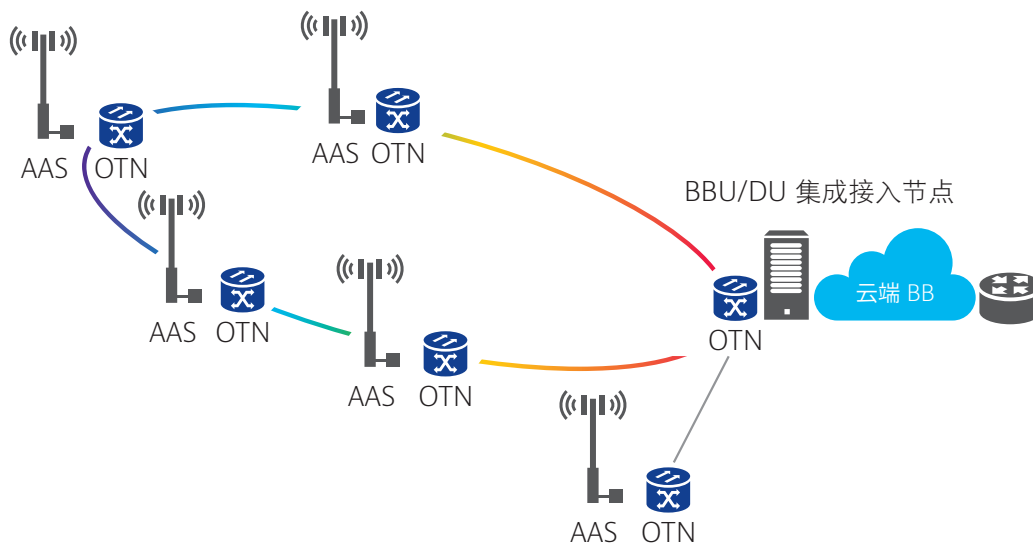


图 9 b: 有源 WDM/OTN 解决方案的环形网络架构

环形架构提供了更高的网络可靠性和资源利用率, 有源 WDM/OTN 解决方案的成本相对较高。为了使 OTN 成为首选的 5G 前传技术, 需要完成更多的工作来改善有源组件处理所增加的成本和延迟。

以太网/TSN

时间敏感网络 (TSN) 定义了一组主要针对以太网开发的 IEEE 标准, 用于在以太网上提供确定性服务。这意味着可以保证实现具有低延迟和有限延迟、低分组延迟变化和低丢包的分组传送。在光纤前传容量有限的情况下, 服务提供商可以使用基于 TSN 的以太网交换解决方案来部署高效的前传, 这种解决方案提供了最有效的光纤使用, 因为在光纤前传上实现基于分组的交换提供了统计多路复用来实现流量收敛和提高带宽。使用基于 TSN 的以太网交换可以帮助前传满足严格的延迟要求。请记住, 自动驾驶汽车和增强现实等应用要求的延迟在 1 毫秒内, 但移动前传对延迟提出了更严格的要求: RU 和 DU 之间的最大单向延迟为 100 微秒 (0.1 毫秒)。TSN 技术需要为延迟敏感的前传使用经过优化的交换机, 这需要很昂贵的成本, 并且维护和管理成本也相对昂贵。

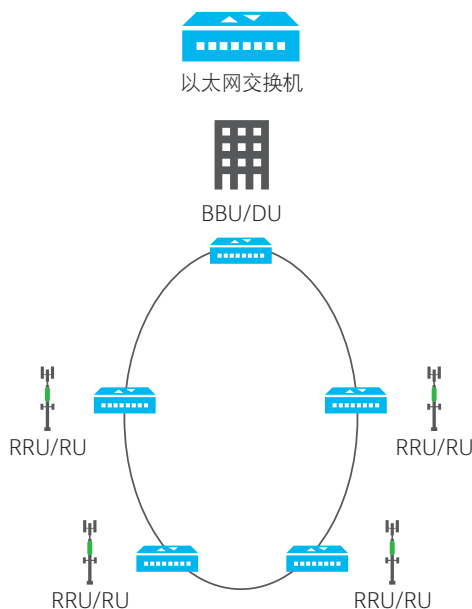


图 10. 无源 WDM

综上所述, 5G 光纤前传接入有多种选择。促使采用光纤前传技术类型的因素将根据服务提供商、他们提供的服务以及最重要的是他们能够接入的光纤资产的数量而有所不同。如果服务提供商能够接入低成本的暗光纤, 或者部署暗光纤的成本更低, 那么点对点光纤是最佳选择, 因为它提供了最大的容量和最低的 FH 延迟。如果接入光纤成本很高的或受到限制, 那么可以选择采用共享光纤, 但所提供服务的 FH 容量需求和延迟将推动光纤前传技术的采用。从无源 WDM、WDM-PON 到基于 TSN 的以太网交换解决方案, 有多种方案可供选择。关键是部署的总成本、对其他有线服务的影响、技术可用性以及接入网的管理和维护。对于无法使用光纤或部署成本太高的地方 (例如农村地区), 在这些情况下, 微波或无线光链路可以提供更可行的解决方案。同样, 在规划这些前传网络时可能需要考虑容量和应用延迟。

测试光纤前传

正如我们之前所讨论的，5G 的规模将比它的前代更有意义，特别是在推出毫米波 (>24 GHz) 和中段 (3 GHz 到 6 GHz) 的 5G 服务之后，因为这些频带与低频带相比，射频传播相对较差。每平方公里将需要更多的无线电设备和基站。此外，5G 中使用了更大的带宽来提供千兆位的吞吐量，因此更依赖于更密集的光纤前传、中传和回传网络。更高密度的光纤 FH、MH 和 BH 不仅意味着更多的光缆和端点，还意味着更高的多路复用阶数。所有这些都增加了光纤测试的复杂性和规模。过去，连接到无线电设备的是一对光缆。这一点现在发生了演变，我们看到每个 RU 有 12 对或更多的光纤 (图 11)，因此，可视故障定位工具不足以验证光纤信号的完整性。技术人员可在另一端看到光，但无法验证特定波长路径是否正确。此外，在 WDM 系统中，测试功率电平是否正确需要不同的仪器套件。多条光纤将需要部署更多的 MPO 连接器，这将需要一个 MPO 光源和一台 MPO 测试仪。总而言之，随着 MPO 和 xWDM 部署的显著增加，光纤现场安装将变得更加复杂，这将促使服务提供商及其承包商要求使用简单易用的光纤仪器，并实现测试过程自动化，以扩展 5G 部署。

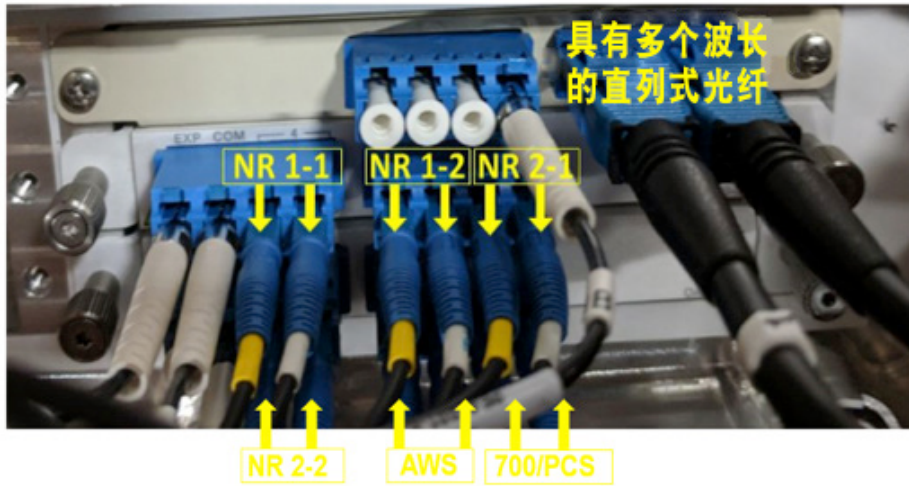


图 11. 在一条光纤中具有多个波长的光纤，拆分为进入不同无线电设备的多个波长

大体上，基本的光纤测试和保健不会改变，但 5G 将使光纤前传测试得以发展；将需要新的测试方法和解决方案。下面介绍了其中的一些测试：

1. 光纤检测：

被污染的连接器是光纤网络问题的首要原因。混入到光纤纤芯中的一颗微粒即可造成严重的向后反射和插入损耗，甚至会损坏设备。运营商应遵守“先检测，后连接”流程，在连接器对接前确保光纤端面保持洁净。对于 MPO 连接器，可以使用像 Sidewinder 这样的 MPO 测试解决方案。

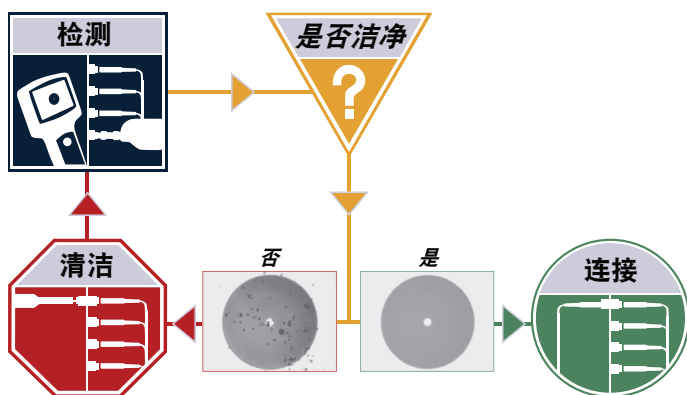


图 12：“先检查，后连接”过程



图 13：VIAVI FiberChek Probe 和 Sidewinder

2. OTDR 测试：

光时域反射仪 (OTDR) 允许技术人员检测、定位和测量光纤链路上的事件（例如对接的连接器、熔接、弯曲、末端和中断），并且可通过仅访问光纤的一端（单向测试）来测量以下属性：

- 衰减 - 光纤跨度沿线两个点之间的光功率或信号损耗或者损耗率。
- 事件损耗 - 某个事件前后光功率电平的差异。
- 反射系数 - 反射功率与某个事件的入射功率之比。
- 光回波损耗 (ORL) - 反射功率与某条光纤链路的入射功率之比。

VIAVI SmartOTDR 适用于任何技能水平的技术人员执行所有必需的光纤测试。智能链路映射 (SLM) 应用程序以图标形式显示每个事件，从而可为技术人员提供整个链路的示意图，帮助他们更高效地使用 OTDR，而不需要能够解读和理解基于 OTDR 轨线的结果。

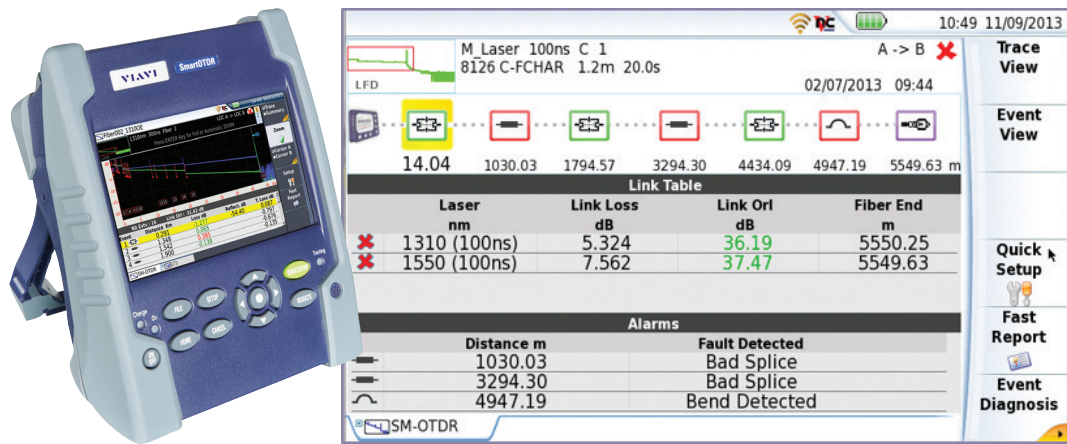


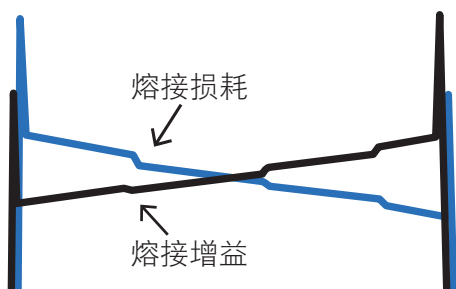
图 14: SmartOTDR 和 SmartLinkMapper 应用 6.5G 网络部署测试指南

为了更准确地对光纤链路和单独的事件进行特征分析，并在进行单向测试时尝试揭示出可能被 OTDR 自己的盲区性能隐藏的其他事件，暗纤供应商或光纤所有者/运营商可以执行双向测试。这样将对事件（损耗和反射等）进行更准确的测量，并确认它们在两个方向上均相同。在某些情况下，由于光纤容差、不匹配或熔接的原因，会导致在从不同方向上查看时出现过度或存在差异的光损耗（或视在增益）。

请记住，在安装光纤时，您绝对不可能 100% 确定该光纤将用于哪个方向的服务。许多应用都是包含一条发射光纤和一条接收光纤的双光纤，但还有一些由单光纤实现，在同一光纤上使用不同的波长实现方向相反的发射和接收。

VIAMI FiberComplete™ 是一种全功能自动化单一测试端口解决方案，可测试双向插入损耗 (IL)、光回波损耗 (ORL) 和 OTDR。

双向分析



光纤后向散射系数不匹配可能导致熔接出现增益或损耗情况，具体视测试方向而定。

双向分析可同时测量两个方向上的熔接损耗，并对结果取平均值来获取真正的熔接损耗，可用来最大程度地减少可能的不匹配。

图 15: FiberComplete 应用

WDM（波分复用）

WDM 允许服务提供商在光纤束的任一端添加新设备来增加容量，并合并单一光纤束上的多个波长/信道。多路复用器用于将波长合并到单一光纤上，解复用器用于分离另一端上的波长。采用了四种主要技术：

1. **粗波分复用 (CWDM)** 可在单一光纤上提供多达 18 个信道（或波长），从而实现更高的容量。CWDM 网络通常是没有有源放大器的无源的网络，以便节省成本和降低复杂性。由于信道间隔较宽的原因，它可以利用比较便宜的组件（SPF 发射/接收收发器、多路复用器/解复用器以及滤波器），从而再次降低其部署成本。请记住，接入网络的关键驱动因素是价格/成本之比。此外，由于只有 18 个信道，因此它管理和维护起来更容易（部署和维护期间只有 18 种 SFP 器件要管理）。无源 CWDM 通常仅用于最多 80 千米的距离。不过，对于 40 到 80 千米之间的距离，可用的信道数会减少到最多 8 个，这是因为光纤在承载 1470 纳米以下波长信号时由于水峰的原因会出现较快衰减。所有传输波段中每个波长的损耗称为光纤的衰减特征 (AP)。不同光纤和光纤类型的 AP 不同，并且将部分指示可用信道数，后者会对容量可扩展性产生影响。低水峰光纤已经存在一段时间，但除非您对管道内的光纤有把握，否则最好进行检查。最终，对于无源链路，收发器的光预算、无源元件损耗、熔接/连接器损耗和光纤的 AP（即每千米每波长的光损耗）将定义可达到的最大链路长度。

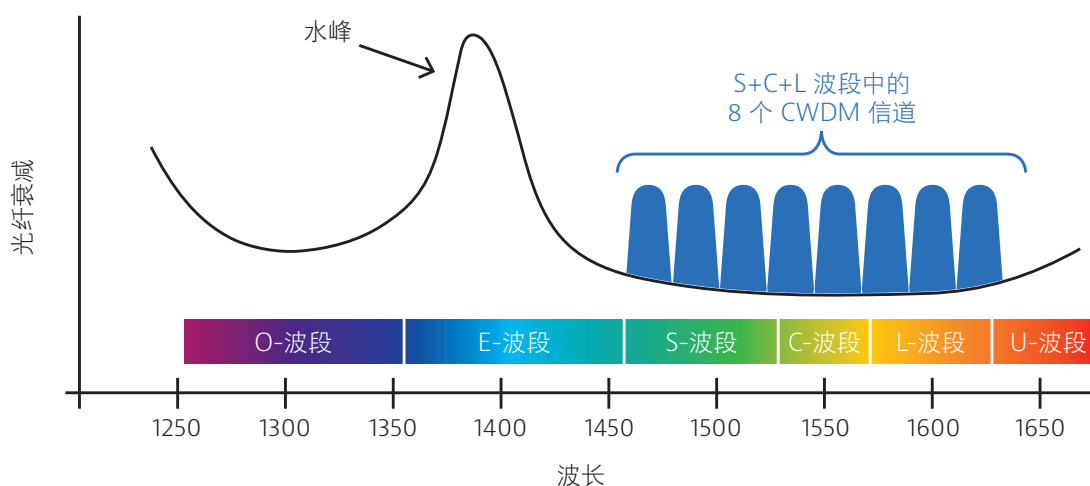


图 16: S+C+L 波段中的 CDWM 信道

2. **密集波分复用 (DWDM)** 可使每条光纤提供最多 96 条信道，具体视所使用的间隔而定。100 GHz 的间隔仍然最常用，但当今的 DWDM 系统可支持 50 GHz (0.4 纳米) 甚至 25 GHz 的间隔，并最多可提供 160 个信道。具体而言，CWDM 每个信道的间隔为 20 纳米。DWDM 网络可以为无源或有源，具体使用哪种方法主要取决于所涉及的距离、当前数据要求以及将来的容量需求。对于无源 WDM，无源 DWDM 系统的最大距离将取决于收发器的光预算以及每个波长每千米的光纤损耗（其 AP）。

3. **混合 CWDM 和 DWDM (xWDM)** 提供了一种可能性，能够通过使用适当的 CWDM 信道来适应多种 DWDM 波长，从而扩展 CWDM 基础设施的容量。在这种混合环境中，DWDM 波长通常使用 100 GHz 间隔，原因有两个：第一是为了使传输的波长中的漂移较小，以便滤波不会影响其他服务，第二是最大程度地降低收发器、滤波器以及多路复用器/解复用器的成本，从而能够利用更便宜的、具有更宽容差的组件。

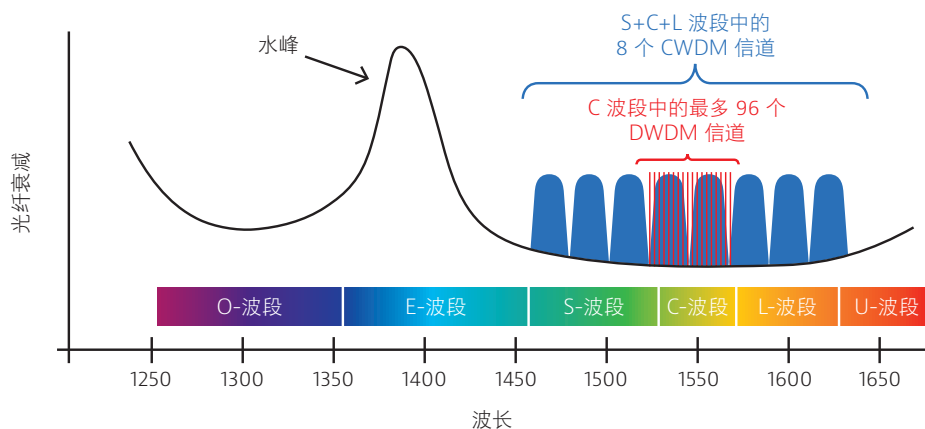


图 17: 混合 CWDM 和 DWDM

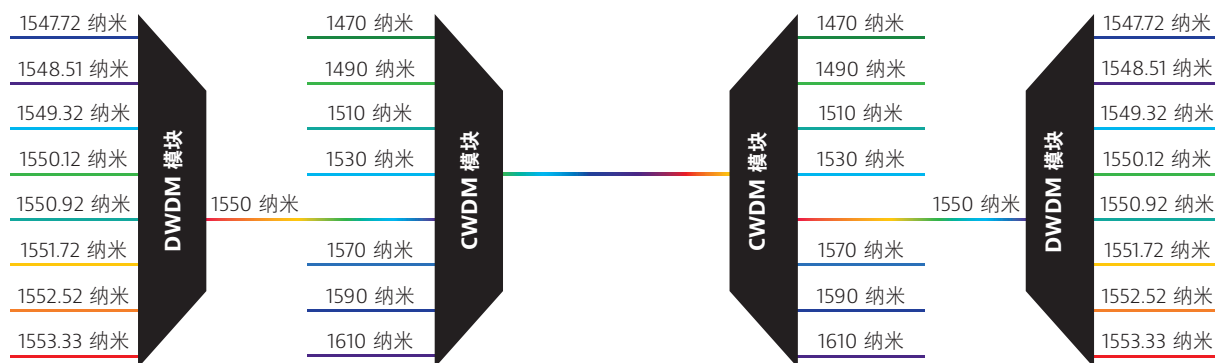


图 18: 现有 8 信道 CWDM 网络中增加的 8 个 DWDM 信道（100 GHz 间隔）的示例 8 5G 网络部署测试指南

4. **无源光网络 (PON)** 是一种使用无源分光器为中传（中央单元 (CU) 至分布单元 (DU)）中的更多终端设备提供服务的点到多点体系结构。但包含单节级联分光器的网络体系结构是可行的，实际分路比将因所涉及的距离以及发射器/接收器 (OLT/ONT) 的光损耗预算而异。

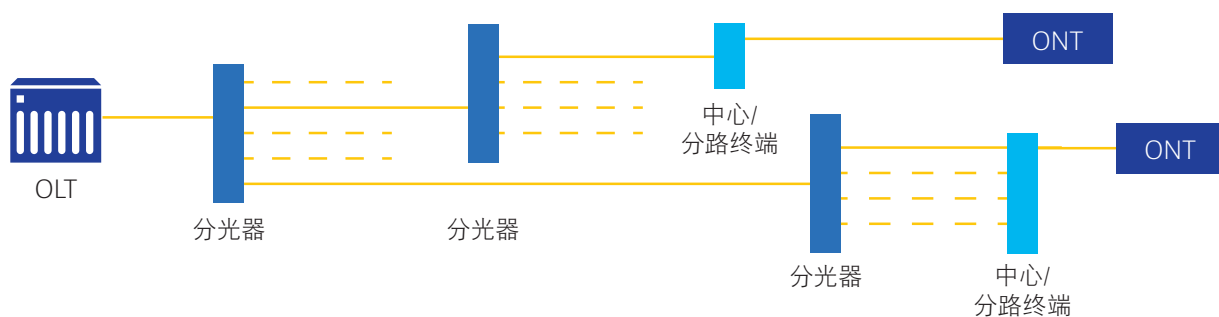


图 19: 级联拆分 PON 架构 9 5G 网络部署测试指南

或许对分路比的最大影响将归结到每个 DU 所需的数据容量以及使用的 PON 标准 – 请记住，PON 服务是共享服务。举一个粗略的例子，XGS-PON 可提供对称 10 Gbps 服务，如果每个 DU 需要固定的 1 Gbps，则一个 XGS-PON 服务可支持 10 个 DU，因此是 10 路分路。实际情况要比这复杂一点。在考虑了每个 DU 平均与峰值数据要求（加上余量）后，以及通过使用像动态带宽分配这样将来的 PON 功能，您也许能够使用一个 XGS-PON 服务来支持更多 DU。可以达到 40-60 千米的距离，并且像 NG-PON2 这样更新的 PON 标准可通过使用多个上行和下行 10G 波长来提供对称 40 Gbps 容量。这对于中短期而言应已足够。从长远来看，eCPRI 在单一波长上将需要 25G PON，而不是今天提供的 10G PON。

xWDM 测试

大多数光纤网络基础设施预期将会得到升级，以便利用更高的多路复用技术来提供更高的吞吐量。但是，测试 xWDM 网络却并不那么简单，特别是，因为 DWDM 信道靠得如此之近，所以 DWDM 发射器需要精确的温度控制来维持波长稳定性和正确操作，并且波长滤波器必须要完成传递正确的波长，同时阻止其他波长的任务。这意味着，一个信道的问题可能很容易造成另一端上的信道出现问题，从而使测试和维护 DWDM 网络更加复杂。必须测试 DWDM 网络的损耗、连接器洁净度和频谱质量。必须对 xWDM 网络执行以下测试。

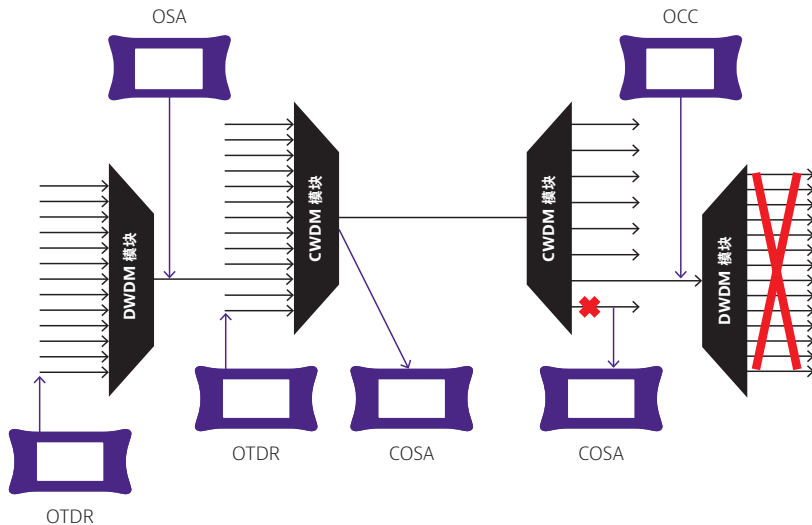


图 20: xDWDM 测试

信道检查

可以使用诸如 VIAVI OCC-55 (CWDM) 和 OCC-56C (DWDM) 等 CWDM 或 DWDM 功率计（也称为光信道检查仪 (OCC)）来执行波长存在性和功率电平基本检查，从而验证正确的波长路由。

也可以使用小型CWDM或DWDM光谱分析仪/光信道检查仪；MTS-2000、4000、4000V2和5800V2主机的[COSA\(CWDM\)](#)及 [OCC-4056C \(DWDM\)](#) 4100 系列模块来执行相同的波长存在性和功率电平检查。不过，利用新增的 ITU-T 信道数量报告功能，技术人员可以快速测量实际波长来检查是否有漂移或偏移，并报告实际信道间隔（对于 DWDM 特别重要）。同时，双集成 SFP 隔区允许技术人员验证彩色可调 SFP 的波长/信道，这些 SFP 还提供了成为可调光源（可用于链路路由/插入损耗测试）的选项。



图 21: OCC-55

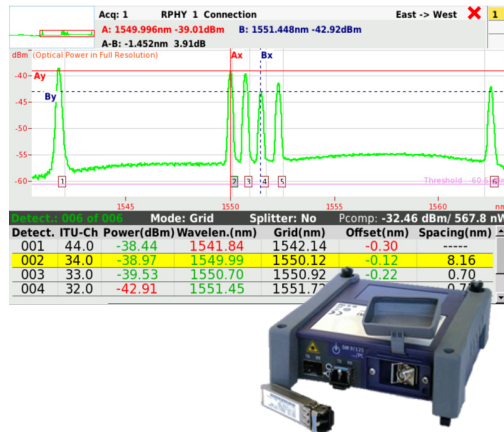


图 22: OCC-4056C DWDM 光信道检查器模块 10 5G 网络部署测试指南

WDM OTDR 测试

可以使用 MTS-2000、4000、4000 V2 和 5800 V2 的 CWDM 或 DWDM OTDR（例如 VIAVI 4100 系列 CWDM 和 DWDM OTDR 模块）来验证核心光纤在版本认证过程中以及 WDM 多路复用器/解复用器连接之前传输所有 xWDM 波长的能力。也可以在多路复用器/解复用器连接之后使用它们来验证特定波长的波长路由和损耗，或者进行维护和故障排查，以便发现并定位任何弯曲、中断、坏连接器或熔接。由于多路复用器/解复用器设备中实施的波长滤波的原因，使用传统 1310/1550 纳米波长进行测试的标准 OTDR 无法用于这种二级测试。

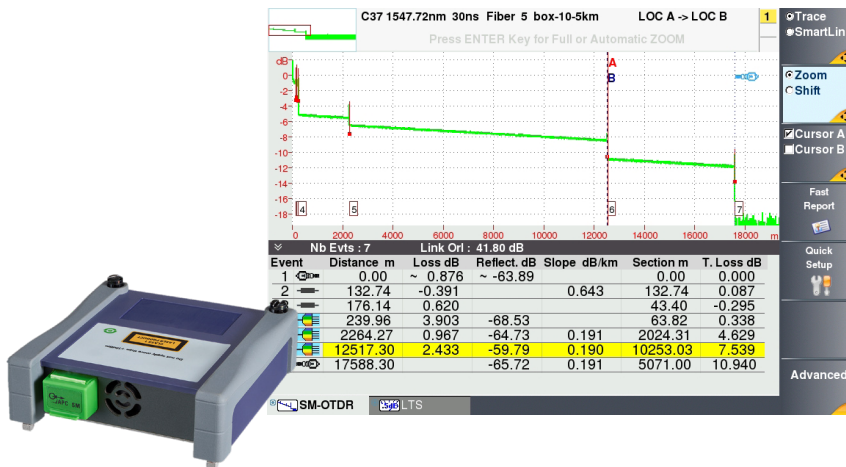


图 23: DWDM OTDR 模块

PON OTDR 测试：光纤构建/铺设/构建期间

可以使用 MTS-2000、4000、4000 V2 和 5800 V2 的 CWDM 或 DWDM OTDR（例如 VIAVI 4100 系列 CWDM 和 DWDM OTDR 模块）来验证核心光纤在版本认证过程中以及 WDM 多路复用器/解复用器连接之前传输所有 xWDM 波长的能力。也可以在多路复用器/解复用器连接之后使用它们来验证特定波长的波长路由和损耗，或者进行维护和故障排查，以便发现并定位任何弯曲、中断、坏连接器或熔接。由于多路复用器/解复用器设备中实施的波长滤波的原因，使用传统 1310/1550 纳米波长进行测试的标准 OTDR 无法用于这种二级测试。

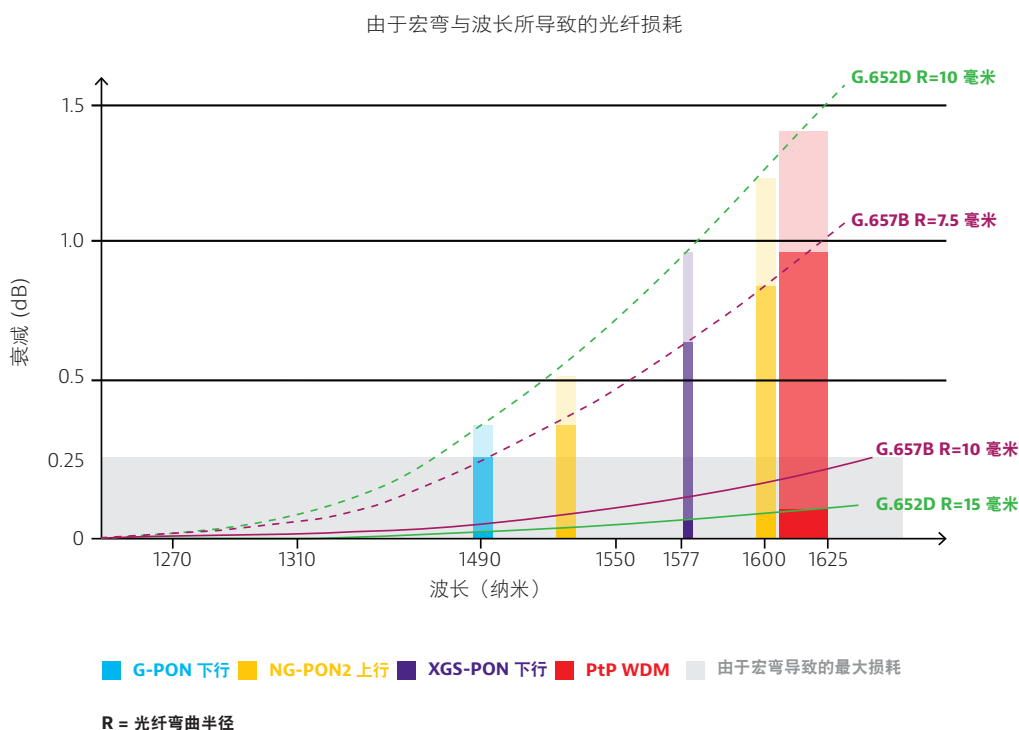


图 24：弯曲损耗 – 针对最小弯曲半径的波长与光纤类型对比

为了提高 OTDR 结果的准确性，强烈建议执行双向测试。这样，技术人员将能确定可能被 OTDR 盲区隐藏的潜在故障。双向测试将对两个方向上的光纤性能进行认证（请记住，PON 光纤会在上行和下行两个方向上传送光）。自动完成双向测试和报告过程、以易读的格式提供结果（智能链路分析），并通过单一测试端口执行测试将能显著缩短测试时间，改善测试 workflow 并减少复杂性（即错误和重新测试的风险）。VIAVI FiberComplete 解决方案可自动完成双向 IL、ORL 和 OTDR 光纤认证。

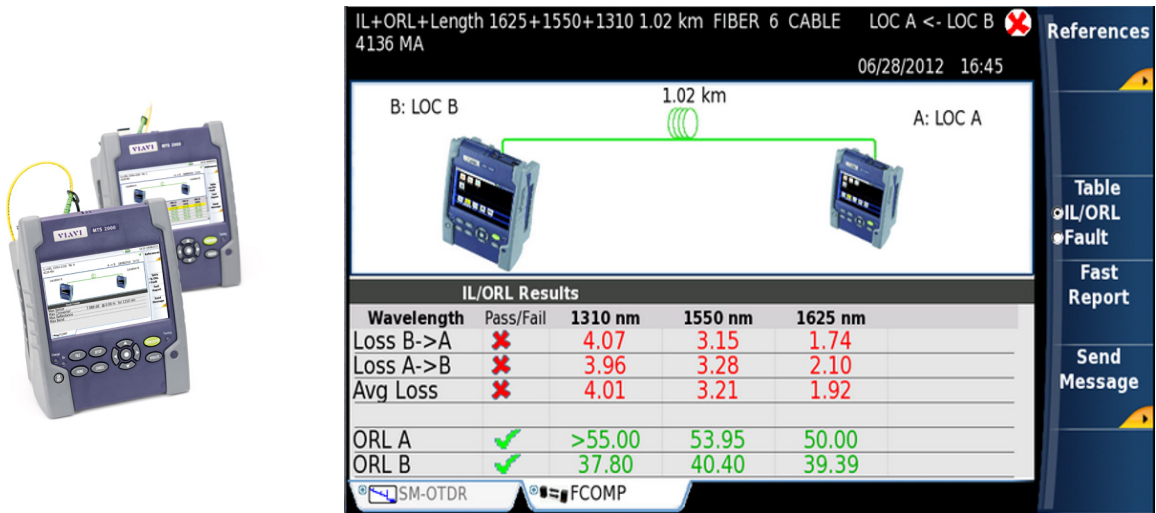


图 25: 适用于 MTS-2000、-4000 V2、-5800 V2 的 FiberComplete

连接分路器之后，需要进行 OTDR 认证来确认最终 PON 版本。技术人员需要检查端到端总损耗，包括分路器损耗。这种检查通常以单向方式从网络的 ONT（光网络终端）/ONU（光网络单元）端进行，回溯到本地局或中心局。使用的 OTDR 利用与专用 PON/FTTx 测试应用程序相结合的多脉冲采集技术，以便通过分路器（单一或级联）进行测试，并对 PON 的所有部分进行特征分析。包含 FTTH-SLM 应用程序的单一 FiberComplete 单元或包含 FTTH-SLM 应用程序的 SmartOTDR 具有这些功能。



图 26: SmartOTDR

智能链路映射 (SLM) 应用程序以图标形式显示每个事件，从而可为技术人员提供整个链路的示意图，帮助他们更高效地使用 OTDR，而不需要能够解读和理解基于 OTDR 轨线的结果。FTTH/PON 的专用 SLM 版本使用 PON 环境独有的特定命名、标签和图标。

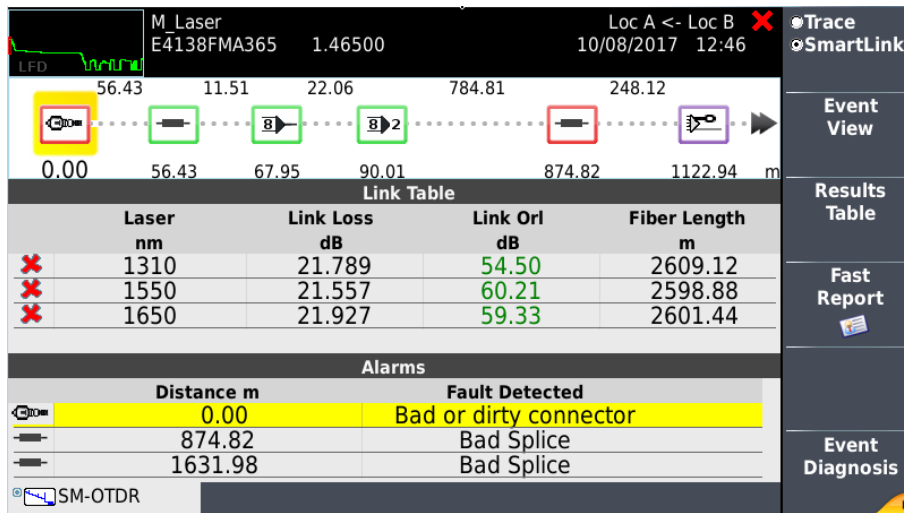


图 27: 光纤到户-SLM

光功率测量：网络激活期间

在 PON 网络激活过程中，技术人员必须在最终连接 ONT/小区/无线电之前验证下行和上行光功率电平是否在预期范围内。对于 5G，在 ITU-T 和 IEEE 标准小组考虑诸如 25G-PON 等未来标准的同时，预期将先后采用 XGS-PON 和 NG-PON2。对于 G-PON 以及 XGS-PON 或 NG-PON2，[OLP-87 PON 功率计](#)可执行波长选择性功率电平测量。它还支持直通模式操作和上行突发模式测量，从而同时实现上行和下行功率电平测量。它还可检查设备是否处于活动状态并响应 PON 网络设备（OLT [光线路终端]），从而帮助验证 ONT/ONU 设备。



图 28: OLP-87 G 和 XGS-PON 或 NG-PON2 选择性 PON 功率计

光纤监控

如前所述，PON 及其变体将在 5G 的光纤基础设施中使用，并且，随着 PON 网络的规模的增大，对故障排查和维护的需求也会增加。通过从诸如移动电话交换局 (MTSO) 等集中位置自动执行 PON 系统的物理层测试，将可缩短配置时间和降低维护成本，并可改善网络服务质量。如前所述，OTDR 可准确找出光纤链路中的故障位置，并对安装中涉及的工艺进行认证。VIAVI ONMSi ([光网络监控系统](#)) 可在构建和建造阶段对 PON 进行测试和认证，然后在多个 PON 网络的操作阶段转而对这些网络进行持续监控。使用 ONMSi，只需一名技术人员便可在安装期间对网络进行测试。服务激活后，系统可准确地检测和定位光纤基础设施老化，向运营商和管理员发出提示，并告知其详细的故障信息。

随着越来越多光纤被部署，服务提供商由于光分布网络安装不正确（高损耗熔接/连接器/分路器、宏弯、错误的分路器/端口连接等）所导致的服务激活故障率高达 25-30%。光纤监控功能可最大程度地提升对光纤诱发故障和所导致网络中断的响应能力。

VIAVI ONMSi 可基于 OTDR 轨线比较实现连续的全天候故障监控、检测和定位。通知通过 SNMP/SMS/电子邮件生成，附件中包含 OTDR 轨线及光纤地图 (OFM) 上的地理位置，或者所选 FTTx 拓扑的外部 GIS。ONMSi 可帮助大规模部署和维护光网络。此解决方案还可以采用单点解决方案 SmartOTU 的形式提供，其所有硬件和软件均安装在单一机箱中。

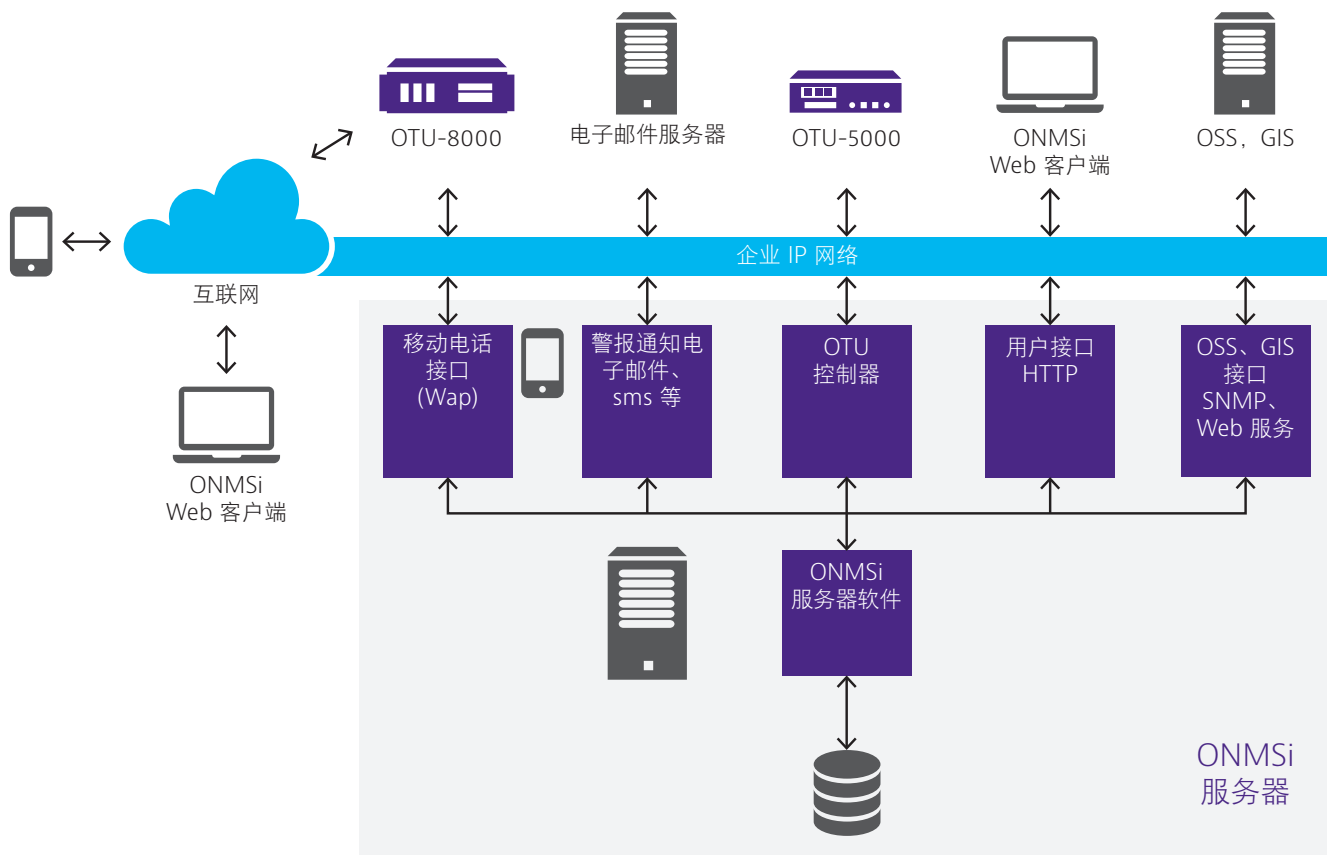


图 29: ONMSi 解决方案体系结构

结论

为前传、中传和回传提供服务的配套光学基础设施必须灵活敏捷并且面向未来，才能满足 5G 高带宽需求和明显更高的基站密度。必须考虑所选光纤基础设施的拓扑，以便使从短期部署到长期网络增长模型的投资回报最大化。正如本文所讨论的，拓扑将随着部署和接入低成本光纤的服务提供商业用例的不同而不同。光纤部署的基础是光纤基础设施的维护和管理成本。管理和维护光纤基础设施将是在部署时必须考虑的一项经常性的运营支出。拥有维护光纤网络的正确测试解决方案将是在低运营成本下提供高质量服务的关键。VIAVI 在光纤测试领域占据行业领先地位，并能够提供最全面的端到端网络测试解决方案。利用完全整合的支持云的仪器和系统、软件自动化以及网络测试服务、性能优化和服务保障产品组合，VIAVI 可确保运营商及其合作伙伴能够顺利地完成网络部署并实现可持续发展的网络生命周期。



北京
上海
上海
深圳
网站:

电话: +8610 6539 1166
电话: +8621 6859 5260
电话: +8621 2028 3588
(仅限 TeraVM 及 TM-500产品查询)
电话: +86 755 8869 6800
www.viavisolutions.cn

© 2020 VIAVI Solutions Inc.
本文档中的产品规格和描述如有更改，恕不另行通知。
fiber5g-wp-fop-nse-zh-cn
30191025 901 0320