

## 100G 驱动力及进展

数据业务和宽带业务的爆发式增长，消耗了大量带宽，承载网面临着严峻的挑战，现有的 10G/40G 波分系统将不能满足骨干网对大量数据传输的需求。由于调制模式不统一等问题的限制，40G 系统的成本下降缓慢，40G 产业链的发展状况也不尽人意。而随着 100G 标准的完备和 100G 技术的逐步成熟，业界普遍更看好 100G 系统的发展前景，认为其在未来将得到广泛的部署和应用，并且会像 10G 系统那样，具备较长的生命周期。

### 100G 规模部署的市场驱动

相对于 10G、40G 线路速率而言，100G 线路速率能更好地解决网络日益面临的业务流量及带宽持续增长的压力。如图 1 所示，100G WDM/OTN 系统通常部署在干线网络以及大型本地网或城域网的核心层，用于核心路由器之间的接口互联、大型数据中心间的数据交互、城域网业务流量汇聚和长距离传输，以及海缆通信系统的大容量长距离传输。100G WDM/OTN 系统所具备的大容量、长距离传送特性有利于传送网络的层次进一步扁平化。

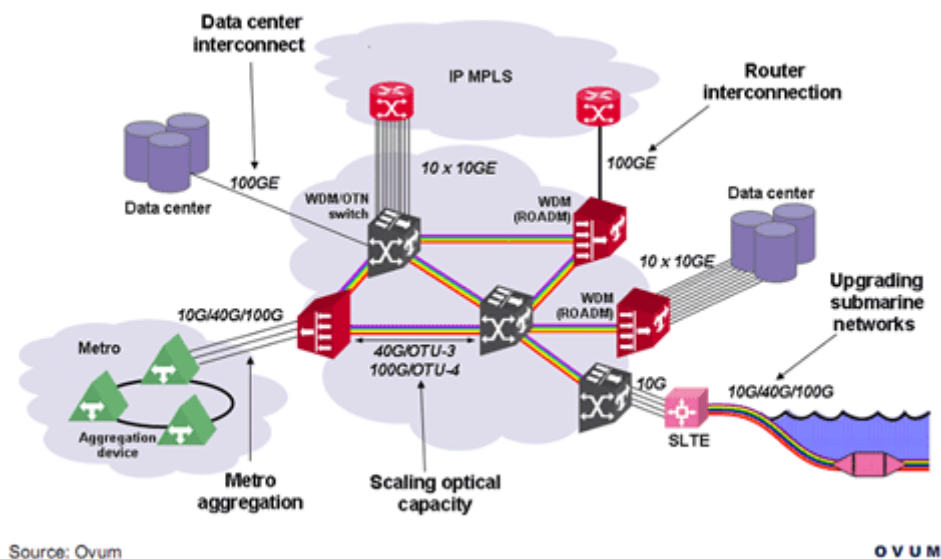


图 1 100G 传输应用场景（来源：OVUM）

### 核心路由器之间的接口互联

随着 All IP 化的进展，骨干网络数据流量主要为核心路由器产生，一般采用 IP over WDM 的方式来完成核心路由器之间的长距离互联。目前核心路由器已支持 IEEE 定义的 10GE、40GE、100GE 接口。现网中核心路由器主要采用 10GE 接口与 WDM 设备互联实现长距离传输。随着 100G WDM/OTN 技术的成熟，核心路由器可直接采用 100GE 接口与 WDM/OTN 设备连接，或将此前已大规模部署的 10GE

接口采用 10×10GE 汇聚到 100G 的方式进行承载。采用 100G WDM/OTN 设备进行核心路由器业务的传输不仅可提供数据业务普遍需要的大容量高带宽，而且可进一步降低客户侧接口数量，满足数据业务带宽高速持续增长的需求。

### 大型数据中心间的数据交互

近年来互联网、云计算等业务蓬勃兴起，此类业务不仅对带宽的实时要求较高而且对传输时延较为敏感，一般采用数据中心来支持内容的分发。数据中心将数量众多的服务器集中在一起来满足以上需求，采用 100G 传输可满足数据中心互联的海量带宽需求，而且可减少接口数量、降低机房占地面积、设备功耗。由于 100G WDM/OTN 设备采用相干接收技术，无需配置色散补偿模块，有效降低了信号的光线路传输距离从而降低了传输时延，可为金融、政府、医疗等对时延较为敏感的用户提供低时延解决方案。

### 城域网络业务流量汇聚及长距离传输

在城域网络中随着 LTE 网络的部署、移动宽带业务、IPTV、视频点播、大客户专线业务的开展，城域网络的带宽压力日趋增长。就移动回传网络而言，LTE 时代不仅基站数量众多而且单基站出口带宽高达 1G，固网宽带用户的带宽也将由 10M 逐步升级至 100M 甚至更高，城域网络的接入、汇聚层单环容量会迅速提升至 10G、40G。接入、汇聚层节点数量及带宽的攀升促使了在城域核心层需要部署 100G WDM/OTN 设备来进行大带宽业务的流量汇聚并与长途传输设备接口。

### 海缆通信系统的大容量长距离传输

由于海缆传输的投资成本较高，提高单波提速的方式来提升系统传送容量是普遍看好的解决方案。目前全球已建设的海缆系统包括 10G 和部分 40G WDM 系统。100G WDM 系统不仅可在 C 波段提供 80×100G 的传输容量而且由于采用 PM-QPSK 编码、相干接收、SD-FEC 软判决等先进的技术，在传输距离、B2B OSNR 容限、CD 和 PMD 容限等关键项目上均具有较好的指标。采用 100G WDM 系统既提高了海缆传输系统的容量又降低了系统运营维护成本，可以提供高性价比的海缆传输业务。

### 100G 关键技术

100G 关键技术包括 100G 调制、接收和 FEC（前向纠错）。

### 100G 调制技术

调制技术一直是 WDM 的研究热点。随着比特率的增加和传输距离的延长，WDM 的长距传输受 4 项物理条件限制：OSNR（光信噪比）、色散、非线性效应、PMD（偏振模色散）。这些物理因素受调制速率影响，调制速率越高，影响越明显。

目前，QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）是 100G 调制方式的最佳选择，比特率是 112Gbps 或者更高。如果直接采用 QPSK 调制，会对系统的光/电器

件质量提出非常高的要求，所以业界提出了偏振复用（Polarization Multiplexed）方案。偏振复用采用两路独立的光偏振态来承载 56GHz 业务。每路偏振态都采用 QPSK 调制方式，可以将 100G 信号速率降低到 28Gbps。降低光/电器件的带宽需求，在网络建设的初期阶段就可以降低功耗和成本。OIF（光互联论坛）也建议采用 PM-QPSK 作为 100G 的长距传输调制方式。

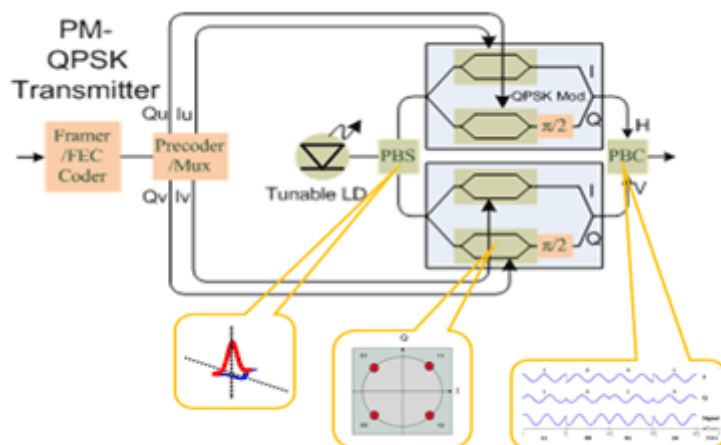


图 2 PM-QPSK 光发射机模块框图

在发射端，原始的 100G 信号被分为 4 路低速信号，由于 FEC 和 OTN 开销，每路信号为 28Gbps。激光器发出的信号分为垂直和水平两个偏振态。用两个频率相同的偏振态来承载信号，可以使速率降低一半，降低带宽，适应更紧凑的通道间隔。QPSK 采用 4 个传输相位调制每个偏振态的光信号（见图 2）。在发射端，两个偏振态的 QPSK 调制信号会被合在一起在线路侧传送。偏振复用和 QPSK 的使用，可以将调制速率降为 1/4，使 100G 系统能成本更低的技术。同时更低的调制速率可以降低光信号传输参数的灵敏度，相比 10G 系统，100G 在 CD（色度色散）和 PMD 上拥有更好的容限。

### 相干接收和 DSP 技术

PM-QPSK 调制方式可以满足 100G 传输 OSNR 的要求，但是，这种调制方式下的色散和 PMD 容限还是太低。相同光调制方式下 100G 跟 10G 相比，OSNR 容限要差 10dB，PMD 容限会降低 10 倍，CD 容限降低 100 倍，因此必须采用先进的技术手段保证 100G 的实用性。选择相干光、平衡光接收技术，相比 NRZ（不归零码）直接接收提升 OSNR 容限近 6dB。其接收原理框图如图 3 所示。

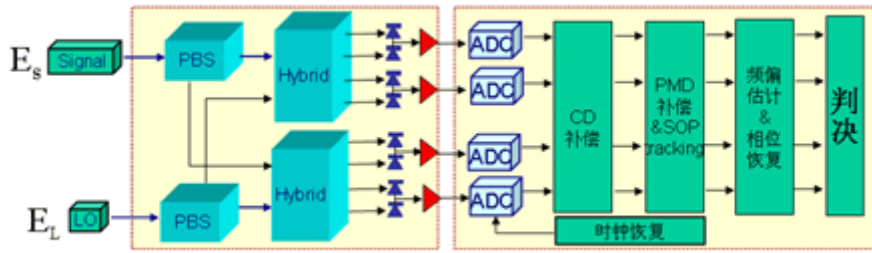


图3 相干接收 DSP 原理框图

相干接收不但可以提高接收信号的信噪比，而且可以补偿一些信号在传输中产生的损伤。相干接收可以保存光信号的相位信息，这样可以用电处理的方式来还原出两路偏振态并且补偿信号由于长距传输造成的一些损伤。业界现在普遍看好采用高速电信号处理（DSP）技术来去掉由于 CD 和 PMD 所带来眼图上的失真和码间干扰。基于电处理 DSP 技术的 100G 传输系统，色散容限可以达到  $40000 \sim 60000 \text{ps/nm}$ ，PMD 容限可以达到  $30 \sim 60 \text{ps}$ 。线路中将不再需要色散补偿模块，PMD 也不再是传输距离的限制因素，网络的部署和灵活性会大大提高。

### SD-FEC

除了调制和接收技术，前向纠错技术（forward error correction-FEC）在确保信号的长距可靠传输方面也起着非常重要的作用。相比于 10G 系统，100G 的 OSNR 需要提高 10 倍，这需要多种技术的组合应用才能实现，其中就包括 FEC。

在硬判决 FEC 中，解码器判断信号的标准是在二进制的 0 和 1 之间选择的，这种编码模式丢弃了信号的一些统计特性。软判决可以最大限度使用信号中包含的信息，软判决会精细化分信号的判断标准，如图 4 所示，应用这些丰富的信息来判断接收到的信号是“1”还是“0”。使用这种采样信息，解码器可以提供更高的解码准确率从而提高系统性能。在相同的速率下，软判决 FEC 比硬判决 FEC 的净编码增益高 2dB。

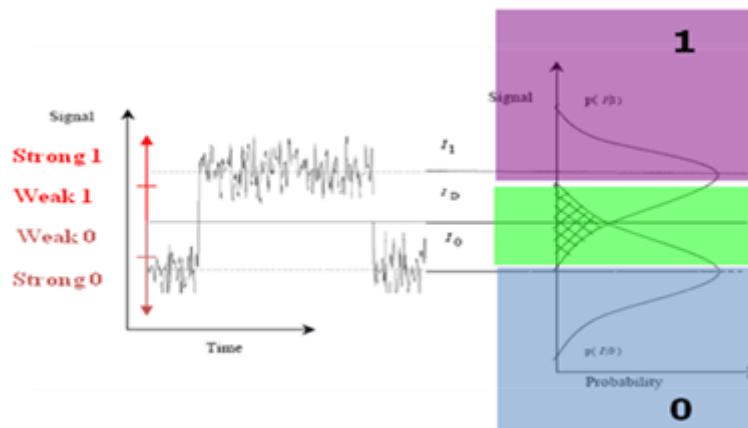


图 4 SD-FEC 原理示意图

软判决可以有效提高系统的传输性能,但是必须要有高速 ADC 做硬件支持来采样和对信号处理。而且 65nm 工艺的 ASIC 技术不能够支持 SD-FEC, 需要基于 40nm ASIC 来支持大量的运算的同时有较低的功耗。

### 100G 发展趋势

### 100G 市场展望

在未来几年, 100G 系统的市场容量将得到快速发展, 与此同时, 40G 系统的市场容量仍将得到一定的发展, 图 5 提供了 OVUM 对 40G 和 100G 线路板卡 2006 年到 2016 年的收入预测, 可以看到 100G 的增长率要高于 40G, 预计在 2016 年, 100G 的市场容量将和 40G 系统相当。

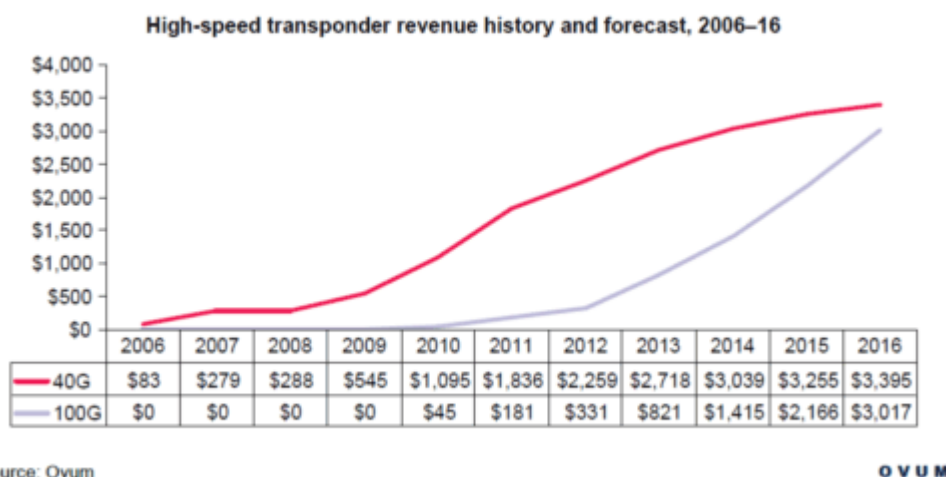


图 5 2006—2016 年 40G 和 100G 线路板卡收入预测 (数据来源: OVUM)

### 100G 技术发展趋势

国内厂家在 100G 技术的研发上, 已走在了世界前列。如中兴通讯已经成熟规模商用的 100G WDM/OTN 系列产品, 支持 80 波×100G 传输速率, 具有~10T 的 ODUk 交叉容量, 并支持 10G/40G/100G 波长的光层交叉, 能够灵活高效调度, 已成功应用于多个骨干网、城域网和本地网。其 100G 解决方案采用自主研发的 PM-QPSK 技术, 具有支线路合一、支线路分离, 以及软判决 SD-FEC、硬判决 HD-FEC 等丰富的板卡类型。未来几年, 100G 技术将逐步代替 40G 技术成为主流的高速新传输商用技术。同时, 超 100G 技术也已在研究之中, 中兴通讯已经首次实现 24Tb/s (24×1.3Tb/s) 波分波分复用信号传输, 是业界首次实现 Terabit/s 的波分复用技术。高速光通信的后续发展可能集中在以下几个方面:

编码调制技术更复杂: PM-QPSK+相干接收已经成为实现 100 Gbps 速率的主流方案。近年来, 已经开始研究将 OFDM 应用于光通信领域, 并取得一定的成果。

OFDM 可有效对抗光纤中的色散和偏振模色散等，并展现了灵活高效的频谱利用和调制，成为 100 Gbps 及以上速率的高速光传输极具潜力的调制编码和复用技术。

多种复用技术的结合：目前已经实现偏振态复用，为了追求更高的速率，将通过子载波复用、空间复用等多种技术以实现更高容量。

波分系统设计的变革：随着速率的提高，传统的固定频率间隔可能被打破，假设频谱效率为 5 bps/Hz，那么 1T 系统的波长谱宽将达到 200GHz。50GHz 间隔无法支持 1 Tbps 的传送，而更高的频谱效率意味着需要更高的 OSNR。

器件集成度的提高：电子集成电路目前应用普遍，但光子集成还比较少，现在的光通信系统的光器件均为分离的器件，导致设备体积大、耗电大。预计光子集成的密度每 3 年将会提高一倍，随着集成度的进一步提高，“WDM on chip”将成为可能。

作者：万里（中国移动通信集团江苏有限公司）