
解析 100G 传输技术与组网应用

OFweek 通信网，随着互联网骨干带宽以每年约 50% 的速度增长，以及宽带用户 (IPTV、视频点播及 3G 业务等) 和带宽饥渴型应用的增加，为业务汇聚与核心网络应用提供 100GE 已成为网络运营商、大型互连网业务提供商的迫切需要。40G 传输系统已不能满足当前几何式增长的带宽需求，目前部分数据流量繁忙的骨干网上业已呈现出传送带宽紧缺的趋势。100G 传输技术成为众望所归的解决方案，正逐步规模商用。

波分系统从 2.5G 到 10G，从 10G 到 40G，一直面临着一系列的物理限制。线路速率再次提升到 100G，这些物理限制因素仍然存在，产生的传输损伤也更为严重。而 100G 技术的发展，主要是不断地克服这些因素的影响。

一、100G 传输系统面临的挑战

按照传统波分系统的发展模式，100G 传输系统将面临更高的系统 OSNR、更高的色散容限和更强的非线性效应影响等诸多挑战。

1、要求更高的系统 OSNR

波分传输系统采用光放大器来克服光纤损耗，延长无电中继传输距离，光放大器在对光信号进行功率放大的同时也引入了噪声信号，另一方面，在波特率提升时，光接收机的带宽也需要随之而线性增加，而更宽的接收机带宽将使得更高功率的噪声进入接收机的判决电路，从而会造成误码率的增加，这样就必须要求 OSNR 容限提升。

2、要求更高的色散容限

光信号在光纤中的色散效应来自调制光信号的光谱中的不同频率成分在光纤中的传输速度不同，从而导致承载业务信号的一串光脉冲发生畸变，导致相邻光脉冲之间的码间干扰，从而产生误码。传输光信号的色散容限与光信号的光谱宽度成反比，同时和光信号的时域宽度（脉冲周期）成正比。对于 100G 信号，由于其光信号的波特率提升，其光谱宽度会相应提升，其时域波形周期也会随之降低，如果 100G 同样采用传统的 OOK/ASK 调制方法（二进制振幅键控），则其色散容限将非常小，现有的 DCM 补偿方式已经完全不能满足要求。对于 100G 传输，色散容限问题已经成为严重的问题，而传统的光学色散补偿的方法已经不能克服色散容限降低带来的危害，必须采用更新的补偿措施，才能使 100G 传输成为可能。

同色度色散 (CD) 一样，偏振模式色散 (PMD) 也同样限制着高速波分系统的传输能力。偏振模式色散 (PMD) 是指对相同频率的光，只要其偏振模式不同，光纤也会导致其传播速度不同，偏振模式色散会导致光纤传输系统的码间干扰 (ISI)，进而引起误码和系统代价。

如果 100G 同样采用传统的 OOK/ASK 调制方法（二进制振幅键控），其 PMD 容限不足 1ps，无法达到工程预算要求。在 100G 传输系统中，PMD 容限也被认为是一个非常严重的问题，常规的强度调制-直接检测（IM-DD）码型调制及接收方式无法满足系统设计的要求，在技术上必须寻找新的解决方案。

3、光纤非线性效应增强

光纤非线性效应的强弱与入纤光功率、光信号的光谱宽度、调制码型特性、光纤色散系数以及跨段数目均有关系，光信号的调制速率越高，对光纤非线性效应的忍耐程度越低。而一些特殊的码型调制技术，如相位调制、RZ 码型调制等，有利于增强传输码型对光纤非线性效应的抵抗能力。100G 传输系统，如果要克服由于调制速率提升而带来的更差的非线性忍耐度，就必须从调制技术上寻找新突破。

二、100G 传输新技术的发展，有效克服长距离传输限制

为了应对以上各类挑战，100G 传输技术需要进行革新式的发展，如采用全新的编码调制方式、相干接收技术、数字处理技术（DSP）和更强的 FEC 技术等，从而有效克服长距离传输的限制。

1、采用偏振复用正交四进制相位调制（PDM QPSK），降低光信号的波特率

光信号的光谱带宽是由波特率决定的，波特率越大，光信号的光谱就越宽，两者之间呈现出线性关系。光信号的光谱不能大于 WDM 信道之间的频率间隔，否则各个 WDM 信道的光谱会相互交叠，导致各个 WDM 信道所承载的业务码流之间发生干扰，从而产生误码和系统代价。当波特率提高到 100Gbaud/s 时，普通调制码型的光谱宽度已经超过 50GHz，更加无法实现 50GHz 间隔传输。

在 100G 系统中，为了能同样达到 50GHz 间隔传输，就必须采用偏振复用技术，使得一个光信道内部存在多个二进制信道，在保持线路比特率不变的基础上降低传输的波特率。

100G PDM QPSK 调制的本质是通过在光场相位上选取 4 个可能的取值，使得在不降低线路速率的基础上，将光信号的波特率降低一半。这种复用方式可以将光信号的光谱带宽降低一半，同时又提出了“偏振复用（PDM）”的方案，将 100G 数据首先通过复用到光波长的两个偏振态上，进一步将传输光信号的波特率再降低一半。

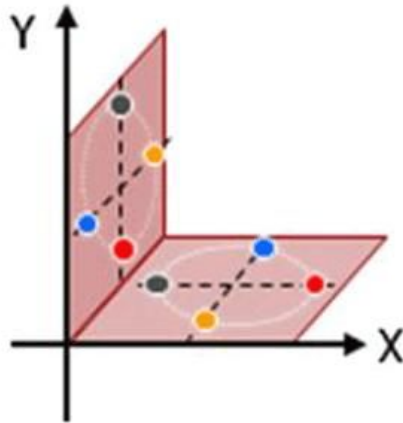


图 1. PDM QPSK 调制模型

与传统得二进制调制不同， PDM QPSK 采用恒定幅度四级相位调制和正交偏振复用相结合的方式将传输符号的波特率降低为二进制调制的四分之一，即 100G 传输中，采用 PDM QPSK 技术之后，实际线路上的波特率仍然是 25G 速率。

偏振复用也有可能带来一些问题，由于在两个偏振上分别独立加载了业务信息，在光纤传输过程中，不同偏振上的光信号会互相耦合，并在光纤 PMD 效应作用下产生误码。因此采用偏振复用，一个首先要克服的障碍是要在接收端进行偏振分离，并解决 PMD 代价的问题。这就需要通过相干接收和数字信号处理来实现的。

2、相干接收技术

相干接收技术主要解决了对光信号的电场的检测问题。光信号对业务信息是以电场的形式承载的，在光信号的传输过程中，其电场特性会受到光纤色散、光纤 PMD、光纤非线性效应以及滤波效应等因素的影响而趋于劣化。常规的直接检测方式只能探测光信号电场的模平方包络（即光强），因此无法分解出上述劣化效应的影响并给予消除。而相干接收技术可得到 PDM-QPSK 信号的所有信息，包括每个偏振方向上的电场的实部和虚部的强弱和相互的相位信息，为传输中各项劣化效应的分解和补偿提供了可能。而 ADC 则在不损失信息的前提下将检测出的模拟信号转化为数字信号，并由 DSP 芯片完成时钟恢复、载波恢复、色散补偿、PMD 补偿等关键处理。

3、数字处理技术（DSP）

PDM QPSK 的调制方式主要是降低 100G 传输中光信号的波特率，降低 100G 传输码型的谱宽，使之能实现 50GHZ 间隔传输，并部分解决了 100G 传输的 OSNR 要求过高问题，但 100G 系统的色散容限过小和 PMD 容限过小的问题依然存在，这对长距离 100G 传输尤其不利。

色散和 PMD 效应均是在光电场的相位或偏振上引入的线性调制或畸变，如果能探测出光信号的电场，则可以采用线性补偿的方法，在光场上抵消色度色散和 PMD 效应，这就是光学 DSP 处理的核心。

在 100G PDM QPSK 传输中，主要就是利用光数字信号处理技术（DSP）在电域实现偏振解复用和通道线性损伤（CD、PMD）补偿，即通过数字化算法，在电域进行色度色散补偿以及偏振态色散补偿，以此减少和消除对光色散补偿器和低 PMD 光纤的依赖。

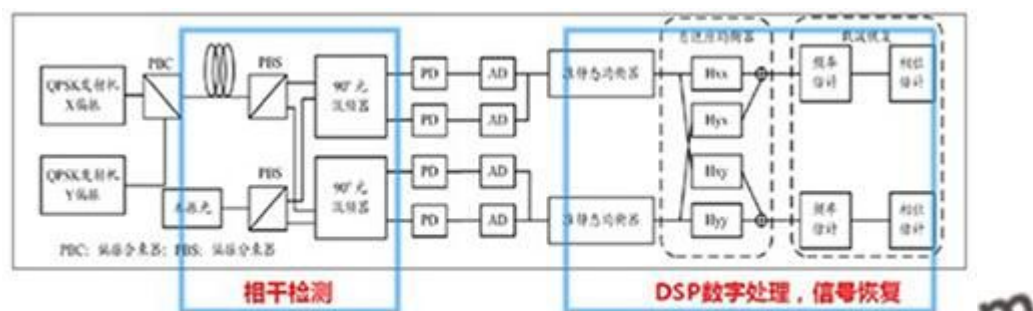


图 2 相干接收机与 DSP 结构图

采用这种基于电域的 DSP 技术，在 100G 系统上可实现高达 50000ps/nm 的色散容限和 90ps 的 DGD 容限（最大值）。在做 100G 波分设计时，传输线路上将不再放置 DCM 模块，PMD 效应也不再成为限制系统传输距离的因素，使得 100G 系统具备长距离传输的能力。

4、100G 软判决 SD/硬判决 HD 技术

在 100G 相干电处理技术的产业化力量的驱使下，并借助高速 IC 技术的发展，目前引进了基于软判决（SD）的第三代 FEC 编码技术。软硬判决的区别在于其对信号量化所采用的比特位数。硬判决对信号量化的比特数为 1 位，其判决非“0”即“1”，没有回旋余地。软判决则采用多个比特位对信号进行量化，采用“00”、“01”、“10”、“11”判决，通过 Viterbi 等估计算法提高判决的准确率，大大提升了 100G 系统的传输能力。100G 系统中，硬判决和软判决两种技术各有各的特点，适用于不同距离的不同应用场景。

三、100G 波分系统组网应用思路

随着 100G 时代即将到来，面对现网各类速率的业务情况，建设 100G 波分系统有两种方式：一是新建纯 100G 系统，采用支线路分离方式解决多业务传送；二是将现有 10G、40G 波分系统平滑升级至 100G 波分系统。

1、新建纯 100G 波分系统，与 OTN 电交叉相结合，采用支线路分离方式解决多业务传送

考虑到 100G 新技术带来的优异的传输性能，纯 100G 波分系统的设计变得相当“简单”，色度色散和 PMD 限制几乎可以不予考虑，系统的设计主要受 OSNR 的限制，这个有别于 10G、40G 波分系统设计时的线路色散补偿。当光缆条件具备，且属于长距离传输的场景，在有 100G 业务的情况下，优选新建纯 100G 波分系统。可以通过 OTN 电交叉采用支线路分离方式解决 10G、40G 业务，实现多业务同平台的高效传送。

2、将现有 10G、40G 波分系统平滑升级至 100G 波分系统

当光缆纤芯紧张且现有 10G、40G 波分系统利用率不高时，可考虑将现有 10G/40G 波分系统平滑升级至 100G 波分系统，以解决新增的 100G 业务。100G 和现网如何兼容混传成为业界关注的焦点问题，需要考虑评估几个主要影响因素，包括系统的 OSNR 容限、CD/PMD 容限和非线性影响。混传场景主要有以下两种：

第一，相干 100G (PDM-QPSK) 和非相干 10G/40G 既有系统混传。现有 10G、40G 波分系统均采用线路的 DCM 模块，实现系统的色度色散补偿。实验室测试表明，DCM 模块对相干的 100G 系统额外的 OSNR 上的代价很小（不高于 0.5dB），影响较小。只需系统 OSNR 参数能同时满足 100G 和 10G/40G 的设计要求，即可实现兼容混传。需要说明的是由于 10G 波分均采用 OOK 的调制方式，对采用 PDM-QPSK 编码调制的 100G 系统混传代价相对较大，10G 和 100G 混传时设置一定数量的隔离波道。

第二，相干 100G 和相干 40G 系统的混传。对于 40G 相干系统，目前业界有两种主流编码技术，一种采用 2 相位调制 PDM-BPSK，码速率为 21.5Gbps，入纤功率和 100G 相干接近，是最容易平滑混传的解决方案；另一种 40G 相干采用 4 相位调制 PDM-QPSK，码速率为 11.25Gbps，抗非线性较弱，入纤功率较低，和 100G 相干兼容混传代价较大，在此场景下混传时需要慎重设计，也需要设置一定数量的隔离波道。

作者：武清华，华信邮电咨询设计研究院有限公司，综合设计研究院副总工

OFweek | tele.ofweek.com
通信网