

光纤中复杂光调制的测量方法

作者: Daniel van der Weide, Optametra

本文对光纤中信号转换的采样和实时技术进行了描述,比较了几种测量复杂光调制的主流仪器,并详细探讨了实时星座分析仪的优点。

在长距离 DWDM 网络的管理中,运营商为了控制成本,都希望能从已有的光纤网络中压榨出更高的频谱利用率。为此,提出了多种超越传统开关键控(OOK)的调制格式以供选用。这些调制方式包括双偏振正交相移键控(DP-QPSK)、正交振幅调制(QAM)、以及多种正交频分复用(OFDM)的变种。所有这些格式都希望能够在传输距离、灵活性、简单性和频谱利用率之间达到更优的组合。

利用光载波相位信息的相干通信系统,很早以前就从理论上证明比直接检测编码优越。然而,它真正投入实际应用还是要等到线宽足够窄(100kHz到1MHz)、频率足够稳定的光源,以及高性能硬件和具备软件锁相环的数字信号处理技术的问世。相干检测、复杂(正交)调制和偏振分集可以有效挖掘光载波的潜力。

除了能够显著提高频谱利用率外,在相干接收时利用这些场量,还可以通过数字滤波的方式进一步补偿频率色散和偏振模式色散引起的损伤。

测量方法概述

实际应用的OOK和差分调制都属于直接检测,虽然这些调制方式可以采用实时相干检测法,将光相位转化为电相位以实现测量,但直接检测仍然是相位无关的。那些宣称具备0.5-3THz带宽的频谱分析仪和等效时间采样仪仍然缺乏稳定传送任意信号所需的实时带宽。

等效时间采样在对付重复信号时,可以很好地捕获其眼图。同时,装备有窄带后置探测滤波器的频谱仪可以在高信噪比(SNR)条件下提供超宽(或可调谐)的带宽。但是,它们测量的都是稳定的正弦波,能够测量的模式长度是非常有限的。

相干检测天生就具备对同相位(I)和正交相位(Q)分量的偏振分集能力,也就是说每个波长具备4个分量。这些分量相互正交,每个都可以独立调制。在测试中,

可以对每个分量的负载进行检测,并得到各自的误码率(BER)。最后给出在不同系统参数影响下的,所有分量合在一起的总误码率。这些参数包括光SNR、调制格式、发射机参数等等。

相干测量需要用到相位参考源,它可以来自原始信号(零差),频移参考源足以完全分离下变频频谱(外差);也可以来自一个独立运转而频率相近的参考源,这种“内差”方法依赖于差频波形的实时捕获和数字化,其带宽等于调制带宽与差频之和。载波相位恢复可以采用软件锁相环实现——先将信号和相位参考源的频差去掉,由于载波的相位变化服从Wiener过程,因此采用Wiener滤波器就可以预测信号的相位轨迹。

即使那些属于直接调制的差分调制方式,譬如差分正交相移键控(DQPSK),采用相干接收也可以消除因延迟线干涉仪(DLI)引起的相位不确定(通过在接收器的软件内动态改变或消除DLI的影响),从而完整地评估信号的特征。

获取信号的方法

在长距离光纤中测试复杂调制的设备必须将中心频率在193THz(1550nm)的信号转换成屏幕能够显示的有意义的轨迹,这就需要下变频和对下变频信号电特性的提取。在射频和微波仪器中,采用时域和频域的方法都可以实现上述转换。对于显示刷新速率高于1Hz的复杂调制信号,频域获取方法存在限制,因此主要采用时域方法。频域方法只能测量正弦波的稳定状态,对信号质量的波动无能为力。

几十年来,等效时间采样一直是微波设备(譬如矢量网络分析仪)和采样示波器(用于电域或光域测量)等相干测量仪器的主要手段。广泛使用的Agilent 86100 DCA的电采样孔径为3.5-7ps,等效时间采样能够提供每通道

50-100GHz 的带宽，并通过光电二极管实现信号的电输出采样。

而直接光采样示波器（见本期《采用光学采样技术评估先进的调制格式的性能》）会利用脉冲激光生成采样孔径，并利用非线性完成下变频（如四波混频），从而实现光纤中重复波形的采样，并形成时间扩展的样本。**EXFO PSO** 系列仪器拥有 500GHz 的总带宽，其高斯采样孔径达到 0.7ps。不论光还是电的方法，都需要解调器（如硬件 DLI）实现不同编码信号的解调。

但是，总带宽与实时带宽是截然不同的。等效时间采样依赖于波形的重复获取，如图 1 所示，即通过较低扫频速度（连续或随机的）跟踪高速波形。但在绝大多数电等效时间示波器中实时带宽往往远小于 1GHz。即使采用交错或随机采样，这种方法也受到相应限制，只能用作较长波形、断续信号的评估，或者用于低概率事件的检测，譬如误码检测。

实时方法

最近，高速模拟/数字转换器的出现已经为示波器提供了更宽的稳定实时带宽。包括 **Agilent**、**LeCroy** 和 **Tektronix** 等制造商都已经在供应等效或实时示波器，其

最高（四信道）实时带宽从 13 到 20GHz，采样速率从 40Gs/s 到 50Gs/s。带宽和采样速率的提高允许通过信道数量减半，而采样率翻番，并提高带宽。不过光纤信号的 6 个场量指标的测定需要 4 信道测量，即分别对应 X 和 Y 偏振态的同相位和正交相位。

与等效时间示波器相反，实时方法的采样率超出了奈奎斯特 (Nyquist) 速率（例如：信号最高频率分量上大于每周两次采样）。尽管等效时间采样器是故意地高度混叠 (deliberately highly aliased)，但是实时采样示波器则需要抗混叠 (anti-aliasing) 滤波器来低通输入信号。这些滤波器的形状将影响进入前端的总噪声功率。在复杂性和失真的风险下，采用更陡的滚降系数 (roll-off) 有助于在降低噪声的同时保证带宽。

此外，实时示波器以突发模式工作，而不是跟踪重复的波形，它们直接截取任意一段波形（如图 1 所示）。对突发波形采样的点数由用户设置，点数的多少取决于设备快速波形存储器的限制。一些设备的点数甚至可以达到数十亿。然后这些突发数据会通过离线方式处理，而设备不会连续不断地获取数据。

如果采样速率不足以包括信号的频率分量，也会产生失真。如图 1 所示，较低的采样速率（红色）不能像较高的采样速率（绿色）那样，精确地获取高速信号的特征。因此，在特定采样速率下，即使采用数学均衡方法，设备能力也将受制于其实时带宽。

测量光纤中多层相位调制的信号，需要进行相应的光电转换，这 and 将 1550nm 光信号的 193THz 载波下变频到每个分量的调制带宽中一样。带有 -3dB/倍频的低通抗混叠滤波器的数字化仪（如示波器）测量 NRZ 信号时，其比特率 b 为：

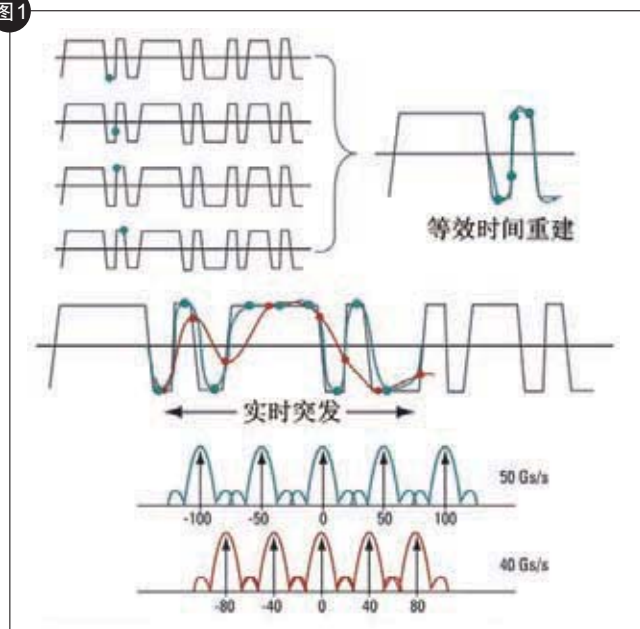
$$b_{-3dB} \approx \frac{BW}{0.7}$$

如果采用更陡的滚降系数，则更少的宽带噪声会被放大，带来更高的信噪比 (Q 系数)，而且在数字化仪的带宽 (BW) 一定时，所需的比特率更高。更典型的 -9dB/倍频滚降将产生的比特率为：

$$b_{-9dB} \approx \frac{BW}{0.56}$$

目前最先进的示波器甚至有更陡的滚降系数，再配合合适的光前端，四通道、BW=20GHz 的仪器（如 **Tektronix DSO72004B**）能够测量 DP-QPSK 信号的最高

图 1



采用等效时间采样获取波形，是通过逐步跟踪波形（左上）获得较低速率信号的重建（右上）。而实时获取（下）是以突发方式以等于或大于奈奎斯特速率（绿色）的速率进行采样。较低的采样速率（红色）在信号重建时会产生失真，底部的频谱图显示了这一失真。

速率可超过 150Gbps。

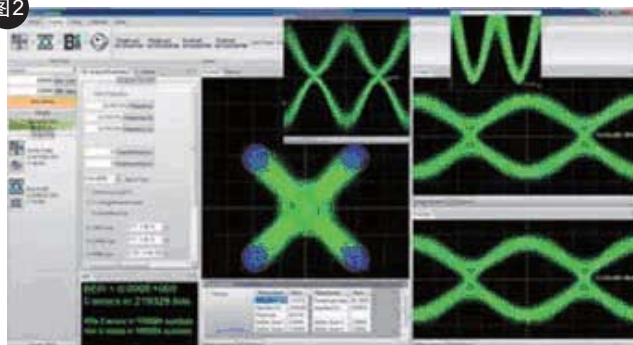
不过实时方法也有短板，波段内的整个频谱无法一次获取（与光频谱分析仪不同），而是需要调谐参考激光器。另外，8bit 分辨率的 A/D 转换器（相当于 6 位有效比特）具有 30 到 40dB 的动态范围，这对跟踪激光器相位等窄带应用自然是足够的，但还是不如目前最先进的光频谱分析仪（如 Aragon Photonics 声称其 BOSA 具备 80dB 动态范围）。

星座图分析

相干接收机对复杂调制（强度和相位）的分析要求更加普遍和精确。即使采用合适的硬件解调器（如 DLI），仅具备强度分析能力的设备也只能用于分析差分编码信号，而不能显示光电域，而且与相关设备相比要承受 3dB 的 SNR 损耗。目前已经可以从 Agilent (N4291A) 和 Optametra (OM4106) 获得配合分析软件使用的、具备光前端和数字化仪的完整相干接收机。

作为连接数字化仪的光前端，相干参考接收器需要两根输入单模光纤，一根用于承载信号（可以是偏振复用的，每个偏振态包含一个独立的源），另一根作为相位参考，或本地振荡器（LO）。在接收器中，相位参考信号平均分为 X 和 Y 偏振，然后分别与 I 和 Q 信号混合为两路。

图2



将 Tektronix DSO72004B 20GHz 示波器作为数字化仪，采用 Optametra OM4106 相干光信号分析仪，对一个 44Gbps QPSK RZ 偏振信号进行解调分析。除了星座图（中）和 I-Q 相干解调眼图（右）外，插图还有“软件 DLI”差分同相眼图（上中）和功率眼图（上右），而在采样示波器中眼图会劣化。

这四路信号由平衡的光探测器转换，并生成电输出。这些电信号依次输入具备足够带宽的实时示波器，以获取不同频率的波形。

在星座分析仪中，突发模式信号数据与调制方式相关的分量将被提取出来，并在测量结果中报告，或以多种格式显示，结果包括每个分量的眼图，每个偏振态的星座（相位）图，以及显示各分量偏振态（SOP）的庞加莱球等。

如图 2 所示，相干星座分析仪具备非相干设备无法比拟的重要优点，对 RZ 信号尤其如此。如果采用数字通信分析仪分析 RZ 信号，其相位眼图会有所劣化。LWC

国内广电系统首次部署 3 波长 GPON

近期，黑龙江绥芬河市的有线电视观众在国内率先享受到了基于爱立信 3 波长 GPON 解决方案的高速、优质的三重业务。绥芬河有线电视公司利用爱立信业内领先的 GPON 光纤到户技术，实现了传输技术的数字化升级，使当地观众端坐客厅，就可以通过电视机方便地下载视频，进行语音通话，选择丰富多彩的电视内容，体验不一样的娱乐感受。

爱立信为绥芬河有线电视提供的先进的 3 波长 GPON 系统和支持三重业务的最新终端产品 --T067G 光网络单元（ONU），可以支持不同的网络应用，包括光纤到户、光纤到大楼、光纤到小区、光纤到节点等。同时，爱立信还为客户提供了 Entrisview 电信级网元管理系统，可以支持完整的故障管理、配置管理、性能管理以及安全管理等。

爱立信 GPON 方案为中小學生保平安

中国移动安徽公司（安徽移动）将于近日为合肥全市五百多所中小学及幼儿园部署“校园视频监控系统”，保护十多万孩子们的安全。这将是目前市场上最先进的数字高清系统，而爱立信被选定为其宽带解决方案及设备的独家供应商。这个项目同时还具有示范意义：爱立信和安徽移动将通过这个合作项目，展示如何保障孩子们在学校的人身安全。

爱立信的 GPON 解决方案具有容量大、覆盖范围广、灵活性高且稳定性强的特点，支持运营商快速部署宽带网络，并最大程度地为其节约成本。根据此次与安徽移动签署的合作协议，爱立信将为合肥市所有的公安派出所部署最先进的 EDA 1500 GPON 系统，并在各校园监控点部署具有 4 个千兆接口的光网络单元（ONU）。预计今年 10 月该系统即可投入使用。