

# 新技术助力 40G/100Gbps 调制信号的测量

作者: Laura Martínez、Enrique Pellejer, Aragon Photonics Labs S.L

布里渊光频谱分析技术的理论基础是受激布里渊散射, 它可以直接从光信号复频谱中测试相位和幅度。

**数**据传输需求的强劲增长给骨干网带来了巨大的压力: 必须尽量利用已有的光纤支持持续增长的业务长距离传输。这一趋势带来了许多挑战, 其中频谱的利用效率是比较重要的一点。对这一领域感兴趣的公司和科研机构迅速增加并不出人意外, 大家都在想办法寻找新的更有效的带宽利用方案。

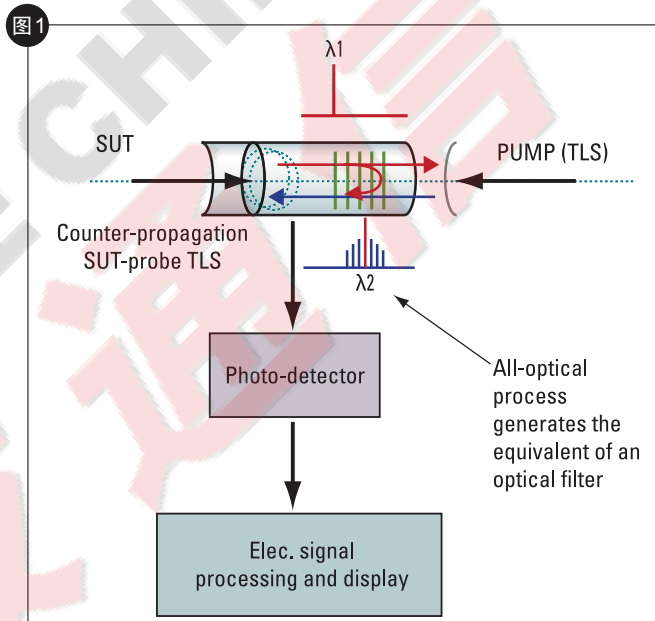
满足上述需求的第一步是 WDM 系统的升级, DWDM 技术的发展使得在同样的带宽里可以传送更多的数据通道。这样的网络采用并行的光组件升级网络, 滤波器功能更强, 激光器指标更加精确, 光放大器增益更高, 性能更好。

第二步是研究新的调制技术, 采用相位和幅度同时携带信息。近些年逐渐出现了相位调制技术的应用, 最简单的相位调制格式(二相相移键控, BPSK)为正交幅度调制(QAM)等多电平调制打开了应用之门。这类调制方式中信号的幅度和相位都用来携带信息, 发送的光脉冲不止含有一个比特信息, 而是携带多个比特信息的符号。多电平调制在无线通信等领域已得到了广泛应用, 但想要在光通信中广泛使用还有很长的路要走。

由于上述演进趋势, 40G/100G 子系统新技术研发者们需要新的高科技装置来测量光电系统设备。

## 布里渊技术和复合频谱分析

布里渊光谱分析仪就是这样一类装置, 它的理论基础是著名的非线性效应: 受激布里渊散射(SBS)。当一束高功率、窄线宽的光线(泵浦)射入光纤, 会有部分光线被反射(图1)。这时如有另一束光(待测光信号, 简称SUT)从相反的方向进入同一光纤, 反射光会增强, 而且其幅度与SUT的幅度成一定比例。该现象仅在10MHz很窄的频段内发生, 因此形成了一个滤波的过程。



利用SBS实现信号强度分析

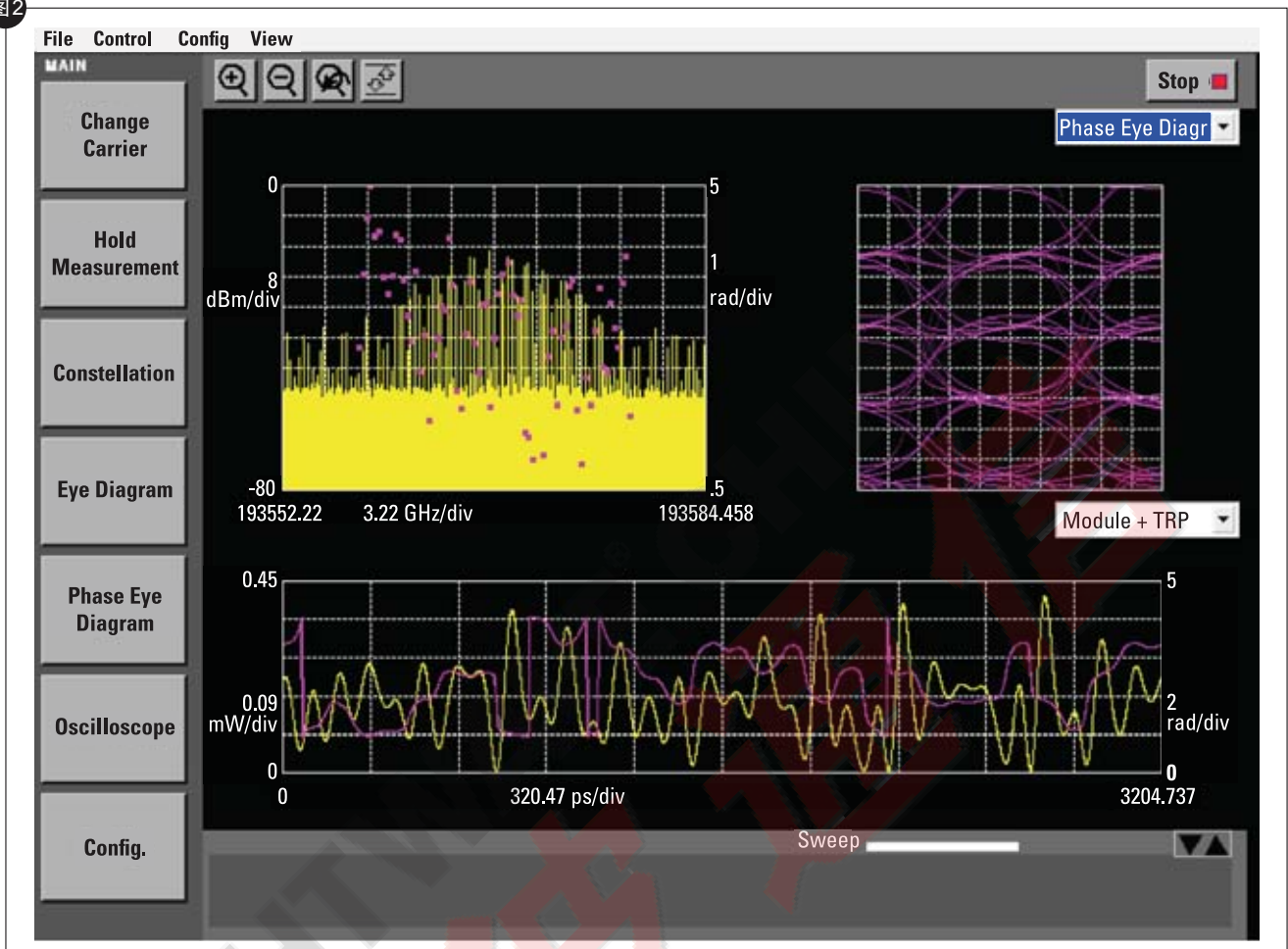
除了多普勒效应引起的波长变化, SUT和泵浦光之间也会有能量的转换, 从而导致SUT信号被放大。如果泵浦光在一定波长范围内变化, SUT的各频谱分量会以10MHz分辨率在布里渊效应增益范围内被滤波并放大。要以这样高的分辨率来测量光频谱需要借助同步低频检测技术。

该技术的所有滤波都在光域实现, 无需光电转换过程, 信号的频谱信息可以通过一个简单的检测步骤直接获得。而且与外差检测技术不同的是, 频谱中不会包含泵浦光源的残余光信号, 因为只有SUT信号被滤波和检测。

该技术的进一步发展可以催生出测量SUT的相位而非仅仅幅度的新方法。这是布里渊频谱分析技术的又一应用, 与采用超短脉冲在光域分析、测试光信号的SPIDER技术有些类似。

这种方法同样基于布里渊滤波过程, 不同的是采用双

图2



20Gbps (10G 波特) QPSK 测试的一个实例。图中左侧可以看到直接从频谱上测量幅度和相位的过程。右侧是一个多电平调制信号的眼图。下部的图中同时绘出了随着时间变化, 信号功率以及每个符号相位相关的 TRP 值的变化情况。

泵浦对 SUT 进行扫频。两个泵浦由特定频率分割的两组光谱分量组成, 可以同时为 SUT 中的两个分量进行滤波和放大。经过自外差检测过程之后计算二者的相位, 一旦确定了所有频率分量的相对相位, 就可以设定一个绝对参考值, 从而得到整个 SUT 的相位信息。

得到频域的幅度和相位复合信息, 借助简单的反向傅里叶变换就能得出调制信号的时域信息, 包括功率和相位。这样, 相应的眼图、星座图和时域啁啾等特定参数就能比较容易计算和描述了。

该方法要求光信号在时域上是周期性重复的, 从而在频域上形成梳状的频率线, 线间的距离等于模式信号重复的频率。所有谱线都由双扫描滤波器扫频, 从而在光电转换检测之后得到相对的相位。

然而, 回到技术要求的角度, 需要着重强调模式信号重复频率存在一些限制。该技术的基本思路导致了若

要维持测试的高品质, 测试相位的个数不能超过一个合理的范围。

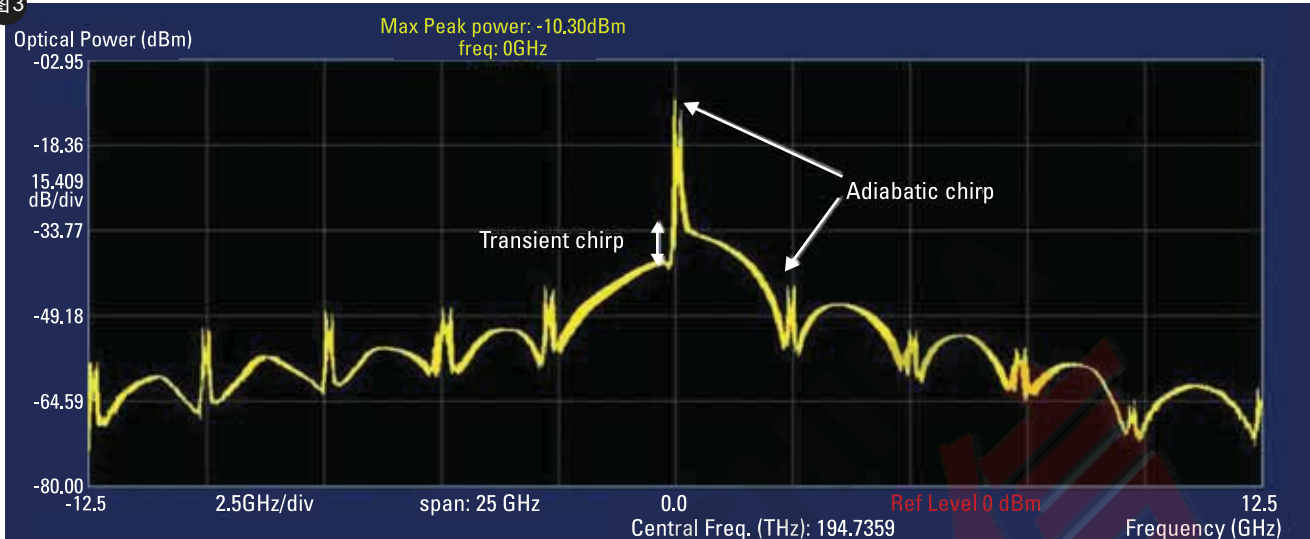
### 主要应用和一般性能

在介绍主要应用的细节之前, 有必要指出这种直接信号频谱分析技术的优势和特性。诚然, 对于大多数光通信系统和子系统来说, 研发人员都习惯于直接在时域对调制格式乃至所有时域参数进行分析, 所用方法就是前面提到的光电转换和解调过程。

然而, 如果能在信号的复合频谱中直接处理幅度和相位, 就有可能实时地分析通信信号多种不同的特性, 例如光电设备隐含的质量参数, 影响信号传送的光线物理效应, 等等。

由于该技术使得用户能够直接分析复合频谱, 基于该技术的仪表主要面向研究开发光电设备和分析复杂调制信号的学校和科研机构。而通常它可以用于所有光通信单个

图3



采用  $2^{31}-1$  PRBS 周期图样信号调制高速信号的 2.5 PRBS 信号的布里渊光谱分析实例。由于分辨率很高，可以直接从图上观察到 3 个瞬态和 3 个绝热啁啾效应。

器件和子系统特性的分析。

复合频谱分析法定位于高级信号调制格式的分析，能够实现更佳的性能：高达 0.08nm 的高分辨率和大于 80dB 的大动态范围。幅度调制和相位调制信号能够由从频谱直接测得的幅度和相位数值来表示，倘若满足模型信号的要求，所有调制信号都可以被测量。图 2 显示了实践中测试速率最高达 40Gbps 的非归零 (NRZ) 和 RZ 开关键控 (OOK)、差分相移键控 (DPSK)、差分四相相移键控 (DQPSK) 信号的结果。不过这只是万里长征的第一步。许多实验室正计划测试速率更高的其它调制格式信号。

要记住布里渊技术是一种较为通用的分析工具，能够用于多种与光通信和有源光电设备相关的应用，基本上涵盖了所有激光器的特性测量：脉冲激光器光谱、分布反馈激光器光谱、可调激光光源、法布里-珀罗周期型结构，以及长伪随机码 (PRBS) 数据调制信号 (不管是光电调制还是电吸收调制) 和 DWDM 系统 (滤波，带内光信噪比测试等等)。图 3 是一个实例。

### 频域和时域技术比较

为了理解前面提到的该技术的目标应用，有必要搞清楚它和其它调制信号分析技术的异同。

当一个触发事件发生时，实时示波器通过一定的取样间隔实现高速的数据取样，从而捕捉到整个信号波形。取样速率必须比待测信号的最高频率分量还要高许多，这样就限制了测量带宽。这类示波器最高的测量带宽通常略高于 10GHz。

要测量更高的速率，可以使用“等效事件取样示波器”。这种情况下待测信号需要是周期性的重复信号，并且有与信号同步的周期性触发信号。示波器在每个触发周期进行一次取样，取样时间略微落后于下一个触发的到来。这样，每个信号周期得到一个取样结果并存入相应的存储器。经过一段时间以后，整个的信号图样就都存在内存中了。在电域上，采用这种技术可以增加数十 GHz 的速率。

如果要求更高的速率，就需要在等效时间取样技术的基础上采用光域采样技术。新出现的光域采样示波器能够实现数百 GHz 的速率。

另一方面，既然所有信号都可以在频域内表示成复函数的形式，如果能找到测量复合频谱的方法，就能得到时域内的信号。这样得到的信号是一个时间的复函数，不仅包括示波器能够测出的幅度，还包括信号的瞬时相位。除了光复合频谱分析仪的测量范围，测量带宽没有其它限制。

### 结论

具有高分辨率的布里渊光谱分析技术提供了一种独特的通过复合频谱分析光通信信号的方法。该技术的高分辨率和全部在光域处理的特性可以从调制信号获得相位和振幅谱，并结合简单的数学工具得到时域的信息以及相关的参数。

主要的应用包括光电设备发出的信号的测试，特别是光电调制器或电吸收调制器产生的调制信号。因此，该技术通过提供大量的直接和间接测量手段能实现准确的和完全的光通信子系统特性测试。[LWC]