

偏振复用传输的相干系统中的光信噪比测量

对使用偏振复用传输 (Pol-Mux) 的密集波分复用 (DWDM) 系统进行在线光信噪比 (OSNR) 测量是一个悬而未决的难题。本文中推荐了一种新方法，可依据传输信号光谱中各个谱成份之间的相关性计算出 OSNR。

简介

在当今的高速 DWDM 系统中，借助数字信号处理进行相干检测以及使用偏振复用传输已经成为标准做法。我们通常会通过 OSNR 对长距离光纤通信系统中传输的调制光信号的质量进行特征分析。各个标准机构定义了 DWDM 系统中测量 OSNR 的若干方法，但对于在可重构型光分插复用设备 (ROADM) 网络拓扑中使用偏振复用传输的系统而言，目前为止还没有普遍适用的带内 OSNR 在线测量方法。传输速度为 100 Gb/s (或更高) 的传输系统使用所有物理参数 (例如波长、振幅、相位以及偏振态) 进行信号编码。因此，没有单独的物理参数可用于噪声分离和 OSNR 计算。而大量色度色散 (CD) 和偏振模色散 (PMD) 可能导致传输的信号失真，这使得测量变得愈加复杂。在本文中，VIAVI 推荐了一种基于谱相关测量的新方法，能够在相干系统中实现在线带内 OSNR 分析。

OSNR 的测量

OSNR 通过光谱分析仪 (OSA) 测量而出，其定义为：数字信息信号 ($P_{\text{信号}}$) 的光功率与光放大器为信号叠加的光噪声 ($P_{\text{噪声}}$) 之比。对于 $P_{\text{信号}}$ ，必须要包括信道带宽 ($B_{\text{信道}}$) 内载送的总信号功率，通常带宽为 50 GHz。噪声功率已归一化为 $B_{\text{噪声}} = 0.1$ 纳米测量带宽。以下公式描述了 OSNR 计算：

$$OSNR = \frac{P_{\text{信号}} (B_{\text{信道}})}{P_{\text{噪声}} (B_{\text{噪声}})}$$

相关系数测量一种新的测量参数

在运行于 ROADM 环境内的高速相干系统中，没有像频率、功率或偏振态这样的物理参数可用来将调制信号从放大器噪声中分离，从而测量带内 OSNR。因此，就需要一种可区分信号和噪声的替代参数。

使用光信道内测量样本的相关特性被证明是适用于此目的一种可行解决方案。相关性是一种对两个量化的变量（例如，光信号的幅度采样）之间的统计关系进行研究的方法。基于数字调制信号中的测量样本具有相关性，而白噪声中的测量样本不相关这一事实，使用分析相关函数来计算 OSNR。

数字调制信号的相关特性

相关系数 $Corr$ 是一种统计测量，可指明两个变量的共变密切性。它可从 0（不相关）变为 1（完全相关 = 两个完全相同的样本）。

下图显示了被白噪声覆盖的双态调制信号的示例。

为了进行说明，将对纯信号（灰色）和纯噪声（橙色）中的测量样本之间的相关性进行比较。提取的测量样本的距离应明显小于位长度 T_b 。

信号相关性：

不管是在“1”状态还是“0”状态下测量，信号中的测量样本（黄色样本）应显示为高度一致。因此，相关系数将为 $Corr = 1$ 。

噪声相关性：

从白噪声中提取类似样本（蓝色样本）时，结果显示捕获两个完全相同振幅值的可能性非常低，因而得到的相关系数为 $Corr = 0$ 。

因此，信号和噪声混合在一起将得到介于 0 和 1 之间的相关系数，指明信号和噪声之间的关系，这种关系也可表示为信噪比。

这是时域中的一个示例。如上所述，时域中的方法需要高速光接收器，这种接收器在系统监测点上无法工作。通过使用傅立叶变换，将能够在频域中执行相关性分析。

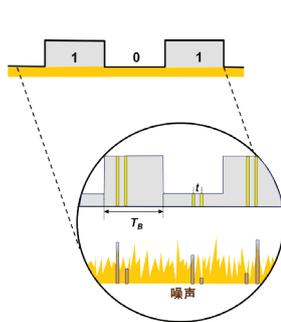


图 3：相关性测量

VIAVI 的谱相关方法 (SCorM)

VIAVI 公开了一种新的谱相关方法 (SCorM, 美国专利号 US20160164599 A1, 该方法可在频域中工作，不再需要高速光接收器以及时钟及数据恢复 (CDR)。

这种方法以传输信道的光谱内的相关测量为基础，所依据的事实是：调制信号中的光谱分量相关联，而噪声中的光谱分量不相关。那么，就可以通过测量信号光幅度频谱内预先确定间隔的两个时变波长分量之间的相关性来计算 OSNR。难题在于，要对同时包含相关信号分量和不相关噪声分量的光信道内的两个非常细的频率切片进行分析和比较。测量带宽需要远远小于传输信号的光带宽，在标准 DWDM 系统中，光带宽通常小于 50 GHz。为了测量光谱分量的相关特性，需要两个可独立调谐的光接收器，其具有范围 <50 MHz 的超高分辨率。这比基于自由空间光通信技术的高分辨率 OSA 所能提供的分辨率要高 100 倍。这么高的测量分辨率只能使用相干检波器设计（与高速相干光接收器类似）实现。

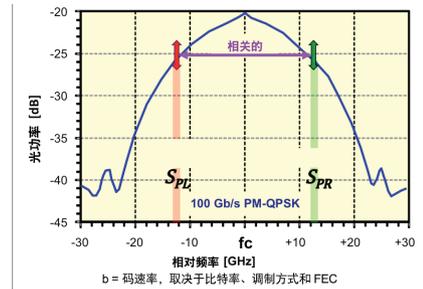


图 4：谱相关性测量

图 4 显示一个 100 Gb/s 偏振复用正交相移键控信号 (PM-QPSK) 的频谱。频谱密度 S_{PL} 和 S_{PR} 表示同时包括信号和噪声的光信道内部的已测量光谱分量。

那么，相关系数 $Corr$ 可表示为 S_{PL} 和 S_{PR} 的函数，其值介于 0 和 1 之间，并且

$$Corr = f(S_{PL}, S_{PR})$$

带内 OSNR ($OSNR_C$) 可依据 $Corr$ 进行计算：

$$OSNR_C = f(Corr)$$

较低的 $Corr$ 值意味着较低的 OSNR，较高的 $Corr$ 值意味着较高的 OSNR。

VIAVI 基于 SCorM 的 Pol-Mux OSCA-710

VIAVI 的 Pol-Mux OSCA-710 是首款可使用 SCorM 执行在线带内 OSNR 测量的仪器。VIAVI 的 SCorM 可测试标准单偏振的幅度或开关键控 (OOK) 信号, 以及相干相位调制 (xPSK) 信号和 ROADM 拓扑中采用偏振复用的正交幅度调制 (xQAM) 信号。它对于较大的 CD 或 PMD 诱发的信号失真不敏感, 并且不需要使用相似的无噪声光信号预先校准。

OSCA 的基础是两个独立的具备高级数字信号处理功能的可调谐相干接收器。这样, 无论调制方式如何, 都能对幅度、频率、相位和偏振进行全面的信号特征分析。此设置进一步允许分析信号的码速率或波特率, 以及测量实时系统中的每通道色度色散。仪器提供标准光谱测量, 在 C 波段中, 这些测量具有 20 MHz 的超高分辨率带宽。

方框图显示了 VIAVI 的 Pol-Mux OSCA-710 的主要组件。

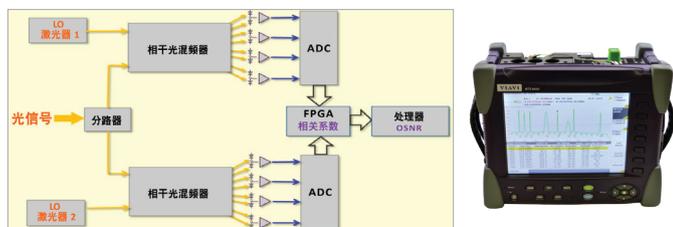


图 5: OSCA-710 方框图

配备 OSCA-710 的 MTS-8000

测量结果

使用 VIAVI 的 Pol Mux OSCA 710 测量了 100 Gb/s 和 200 Gb/s 相干信号的在线带内 OSNR。作为对 OSNR 的参考测量, 使用了离线的关断法的 OSNR。

针对 400 千米链路中码速率为 28 Gbaud 的 100 Gb/s PM QPSK 信号, 图 6 显示了基于 VIAVI 的 SCorM $OSNR_c$ 测量出的带内 OSNR 与使用关断法测

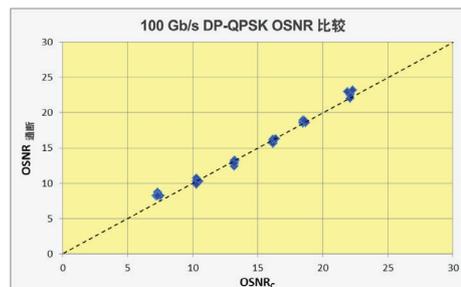


图 6: 100 Gb/s OSNR 比较

量出的参考 OSNR ($OSNR_{\text{通断}}$) 的关系。

小于 ± 1 dB 的一致性, OSNR 的范围介于 10 dB 和 22 dB 之间。

VIAVI 的 SCorM 也适用于尼奈斯特整形的信号。

图 7 显示了 16 QAM 调制的 200 Gb/s 尼奈斯特整形信号

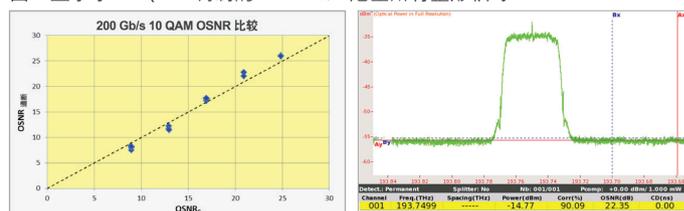


图 7: 尼奈斯特信号和 OSNR 结果

结论

OSNR 仍然是对调制光传输信号的质量进行特征分析的关键参数。在本文中, 我们说明了常用的 OSNR 测量方法不适用于 ROADM 网络拓扑中的高速相干系统。VIAVI 的 Pol-Mux OSCA-710 是首款使用创新的谱相关技术对使用偏振复用的 40 Gb/s、100 Gb/s、200 Gb/s 和 400 Gb/s 相干传输信号的带内 OSNR 和每通道色度色散进行在线测量的仪器。此方法与调制方式和数据速率无关, 并且能够容忍大量的 CD 和 PMD, 以及 ROADM 中的光谱滤波。

VIAVI 的 SCorM 方法前所未有地实现了对使用偏振复用的相干系统中的带内 OSNR 进行在线测量。OSCA-710 将大大简化安装、开通和维护过程中的光学测试, 并最大程度地缩短整体系统停机时间和工时。