

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：

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

传统 OSNR 方法 (IEC 61280-2-9)

用于分析 OSNR 的最常用方法是 IEC 61280-2-9 中加以标准化的插值法或带外方法。此方法中，噪声功率是在光信道以外测量的。此方法基于一个假设，即信号的光带宽有限，而噪声则分布在宽频带中。

因此，可以使用光信道 (P_{NL} 和 P_{NR}) 之间测量的带外噪声内插值来计算光信道内的噪声功率 (P_N)。

$$P_N = \frac{P_{NL} + P_{NR}}{2}$$

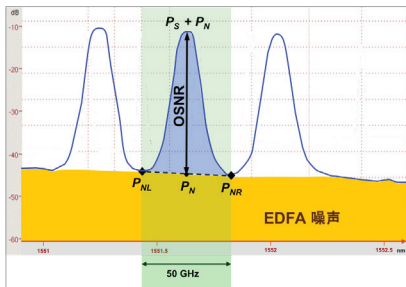


图 1: IEC 61280-2-9 OSNR 方法

在数据速率最高为 10 Gb/s 的标准点到点系统中，此方法可提供准确的 OSNR 结果。

适用于网状光网络的 OSNR 方法

随着网络拓扑从点到点发展为网状的动态可重构体系结构，使用 ROADM 已成为一种标准做法。ROADM 使用解复用器分离各个信道来实现分插功能。解复用器由光滤波器组成，这些滤波器传递光信号，但抑制信道频带外的光功率。因此，在 ROADM 环境中，不再存在来自掺铒光纤放大器 (EDFA) 的宽频带噪声。噪声特征变为滤波后的噪声，这意味着光信道外部的噪声不再与光信道内的噪声相关。

$$P_N \neq \frac{P_{NL} + P_{NR}}{2}$$

下图显示了 ROADM 导致的对滤波后噪声特征所产生的影响

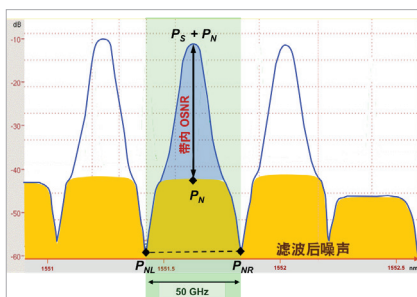


图 2: ROADM 系统中滤波噪声的影响

在 ROADM 系统中，IEC 方法使用的光信道间带外噪声功率测量不再提供正确的 OSNR 结果。在这些系统中，需要对信号光谱带宽内的光噪声基底进行测量才能确定信号的 OSNR。此类测量称为带内 OSNR 测量。对于 2.5 Gb/s、10 Gb/s 以及部分 40 Gb/s 系统中使用单偏振传输（例如幅度或开关控制调制 (OOK)）的传统光信息信号，可以采用已经公开的零偏振技术。假设传输的信号是偏振的，而噪声是非偏振的，则可以使用偏振滤波器来抑制偏振信号，并测量光信道内的非偏振噪声，从而获得带内 OSNR。

使用偏振复用的高速传输的难题

运行速度为 100 Gb/s 及更高的相干系统使用的是偏振复用传输。使用此技术，两个数据流将以相同波长的正交偏振态同时传输。在诸如光谱分析仪等测量仪器中，这些信号显示为非偏振的。因此，无法通过使用偏振滤波器从噪声中分离信号的偏振消光技术来测量带内 OSNR。

尽管已有许多公开方法可用于测量偏振复用信号中的带内 OSNR，但这些方法通常只适用于具有预先确定的比特率、调制方式和/或信号波形的光信号。因此，这些方法可能适合于监测通信系统中特定位置处的带内 OSNR，但很难用作通用测试和测量程序。而且，其中的一些方法不适合用于确定由于存在 CD 或 PMD 而大幅失真的信号中的带内 OSNR。

曾经有人通过使用谱形比较公开了一种使用传统光信号功率光谱分析测量带内 OSNR 的方法。但 ROADM 的光谱滤波影响、传输脉动以及 OSA 的可重复性一直是这些测量中的主要误差来源。时域中的方法需要覆盖 100 Gb/s 或更高完整传输带宽的高速光接收器。由于系统监测点提供的功率不足以支持此类高速接收器，因此无法使用该技术。业内唯一公认的带内 OSNR 测量方法是信道关闭法（或关断法）。这是一种离线方法，因为信道内的噪声是在信号关闭时测量的。此方法无法在实时系统中使用。

直到现在，还没有可用于在使用偏振复用的相干系统中测量在线带内 OSNR 的商用方法。

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。

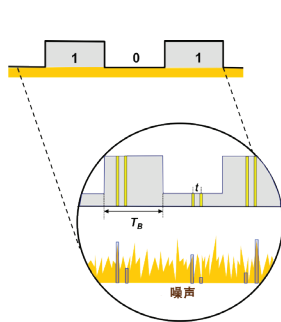


图 3：相关性测量

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。

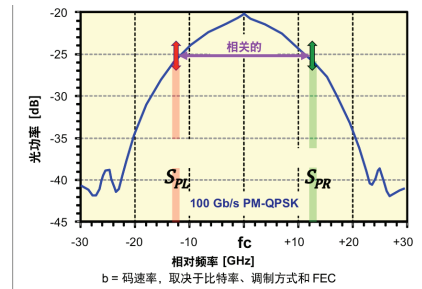


图 4：谱相关性测量

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。

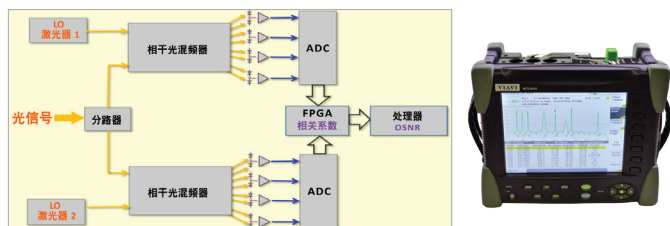


图 5: OSCA-710 方框图

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

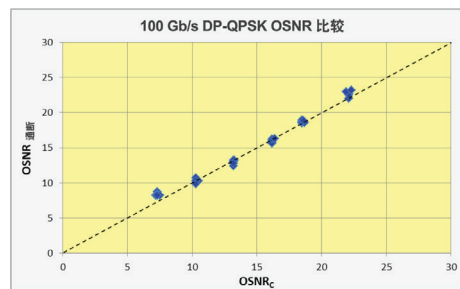


图 6: 100 Gb/s OSNR 比较

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

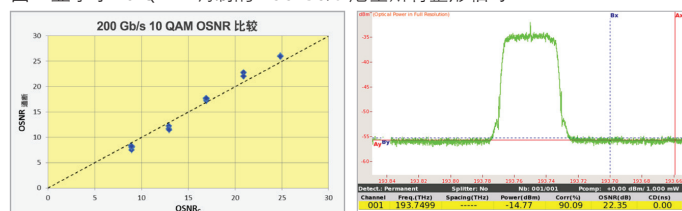


图 7: 尼奈斯特信号和 OSNR 结果

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。