

新型 DWDM 系统 OSNR 测试问题初探

李俊杰

中国电信股份有限公司北京研究院
北京 100035

摘要: 首先简单介绍了 OSNR 及其传统测试方法, 然后阐述了传统测试方法测试新型 DWDM 系统时出现的新问题, 最后给出了解决方案并分析了方案的特点。

关键词: DWDM OSNR 测试

1 OSNR 简介

在 DWDM 系统中, 光信号以完全透明的方式进行传输, 传输质量监测只能借助简单的模拟量, 如光功率、OSNR (光信噪比) 等, 其中 OSNR 能够比较准确地反映信号质量, 成为最常用的性能指标。

OSNR 的定义如下:

$$OSNR = 10 \lg \frac{P_i}{N_i} + 10 \lg \frac{B_m}{B_r}$$

其中: P_i 是第 i 个通路内的信号功率; B_r 是参考光带宽, 通常取 0.1 nm; B_m 是噪声等效带宽; N_i 是等效噪声带宽 B_m 范围内窜入的噪声功率。

2 传统测试方法

ITU-T G.697 给出了 OSNR 的测试方法, 如图 1 所示, 中心波长处的峰值功率是信号功率 P_i 与噪声功率 N_i 之和, 即 $P_i + N_i$, 由于 $P_i \gg N_i$, 通常认为 $P_i + N_i \approx P_i$; 中心波长左右 $\Delta \nu$ 处的平均功率等效为信

道内噪声功率, 即为 $[N(\nu_i + \Delta \nu) + N(\nu_i - \Delta \nu)] \div 2$; 两者的比值即 OSNR。这种以信道间噪声等效信道内噪声的测试方法 (即带外噪声测试法) 简单且不失准确性, 而且不影响业务, 因此得到了广泛应用, 多数仪表厂商的 OSA (光谱分析仪) 都以此法为标准测试方法。

3 传统测试方法面临的挑战

业务需求和技术进步都是无止境的, 推动 DWDM 技术继续向以下几个方向发展: 第一, RZ (归零码)、相位调制码等新型调制码型不断应用, 打破了 NRZ (非归零码) 一统天下的局面; 第二, 信道间隔不断变窄, 50 GHz 间隔 DWDM 系统已经大规模商用, 25 GHz 间隔的超密集波分 (UDWDM) 系统也已具备商用条件; 第三, 单信道传输速率不断提高, 40 Gbit/s 系统正在逐步走向商用, 100 Gbit/s 系统也步入了人们的视野; 第四, ROADM (可重构光上下路节点) 的引入实现了光域组网, 特别是在欧洲和北美, ROADM 已经得到了规模应用。这些发展给传统测试方法带来了挑战, 主要体现在信号光谱的展宽和重叠、滤波效应破坏噪声谱等方面。

运营支撑

3.1 信号光谱的展宽

相同信号速率下,不同调制码型的光谱宽度存在一定的差异,例如RZ和DSPK信号光谱宽度大于NRZ。速率越高,信号光谱越宽。

传统测试方法一般将 B_r 和 B_m 都简单取值为0.1 nm,这样在工程测试中OSA以0.1 nm的RBW(分辨率带宽)单次扫描即可得到所有波道的OSNR。在10 Gbit/s及以下速率NRZ DWDM系统中,这种方法可以获得足够高的测试精度,但是在RZ或者DSPK调制的10 Gbit/s系统以及40 Gbit/s系统中,由于0.1 nm的 B_r 无法覆盖绝大多数信号光功率,这种方法测得的结果明显偏小,误差可以达到2~3 dB。

信号光谱展宽往往同时带来相邻信道光谱重叠问题,单纯的信号光谱展宽问题比较容易解决,解决信号光谱重叠问题要困难得多。

3.2 信号光谱的重叠

随着信道间隔的减小和信号光谱的展宽,相邻信道信号光谱开始发生重叠。这对以信道间噪声等效信道内噪声测试为基本原理的传统测试方法带来了挑战,原因是信道间不仅有噪声功率,还有部分信号功率,这部分信号功率造成OSNR测试值偏小。

一般来说,采用较小的RBW扫描可以获得更精细的光谱细节,相邻信号光谱更容易分辨。例如50 GHz间隔的10 Gbit/s NRZ调制系统,如果用0.1 nm RBW扫描,存在一定的光谱重叠现象,但是将RBW降至0.01 nm,可以得到比较好的信道间隔光谱细节,此时结合积分法,可以获得比较满意的OSNR测试结果。

信号光谱重叠问题在信道间

隔与信号谱宽非常接近的系统中尤为突出,例如25 GHz间隔的10 Gbit/s DWDM系统、50 GHz间隔的40 Gbit/s DWDM系统。图2所示为一个50 GHz间隔的40 Gbit/s和10 Gbit/s信号混传的DWDM系统光谱图,40 Gbit/s信号的高谱宽将信道间功率提高了10 dB以上,也就是说传统OSNR测试方法的误差将超过10 dB。

3.3 滤波效应破坏噪声谱

随着技术的发展,DWDM不再满足于简单的点到点传输,光域组网已经提上了议事日程。ROADM节点技术已经成熟并得到规模应用。此外,在超长距DWDM系统中,通常需要采用一些OEQ(光域均衡)节点来保证各信道功率的稳定性和一致性。

ROADM和OEQ的基本原理都是通过滤波器将全部或者部分波道分离后采取上下话路或者功率调整等操作,最后重新合为一路。滤波效应的存在给传统测试方法带来了极大挑战。如图3所示,经过滤波器件后,信道间的噪声功率明显降低,造成测得的噪声功率低于实际值(虚线表示实际噪声功率水平,实线表示测试结果),OSNR测试结果偏高。有文献将这种滤波带来的效应称为Shoulder

Effect。在10 Gbit/s DWDM超长距离传输测试中发现,经过两级OEQ节点,OSNR测试误差可以达到6 dB以上,而根据文献报道测试误差甚至可能超过10 dB。

在滤波效应破坏噪声谱的条件下,通过测试信道间噪声来等效信道内噪声的方式已经行不通了,惟一的方法是直接或者通过其他方式间接测试信道内噪声,这也是目前传统测试方法最难解决的问题之一。

4 现有解决方案介绍及评估

4.1 传统测试方法的修正

通过对传统测试方法进行修正,可以在一定程度上解决信号光谱展宽引发的测试误差问题。

修正方法一:信号和噪声测试使用不同的RBW。测试信号光功率时选择较大的RBW,保证能够覆盖绝大多数信号光,10 Gbit/s RZ信号建议采用0.2 nm,40 Gbit/s信号可以适当采用更大一点的RBW;测试信道间噪声光功率时选择较小的RBW,注意如果 $RBW < 0.1$ nm,计算OSNR时需要将噪声功率换算成0.1 nm等效噪声带宽的功率值。

修正方法二:积分法。采用OSA所能提供的最小RBW扫描待测光谱,用积分的方法计算中心频

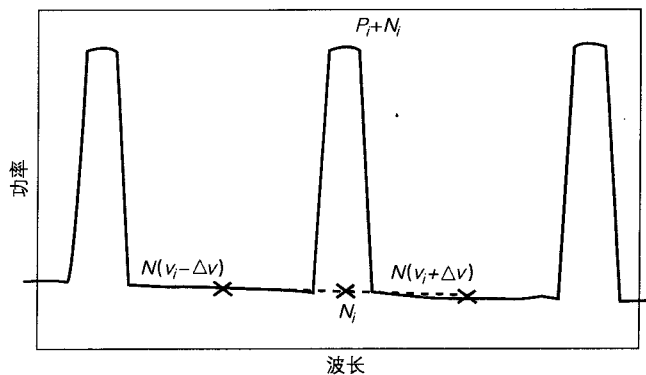


图1 传统 OSNR 测试方法示意图

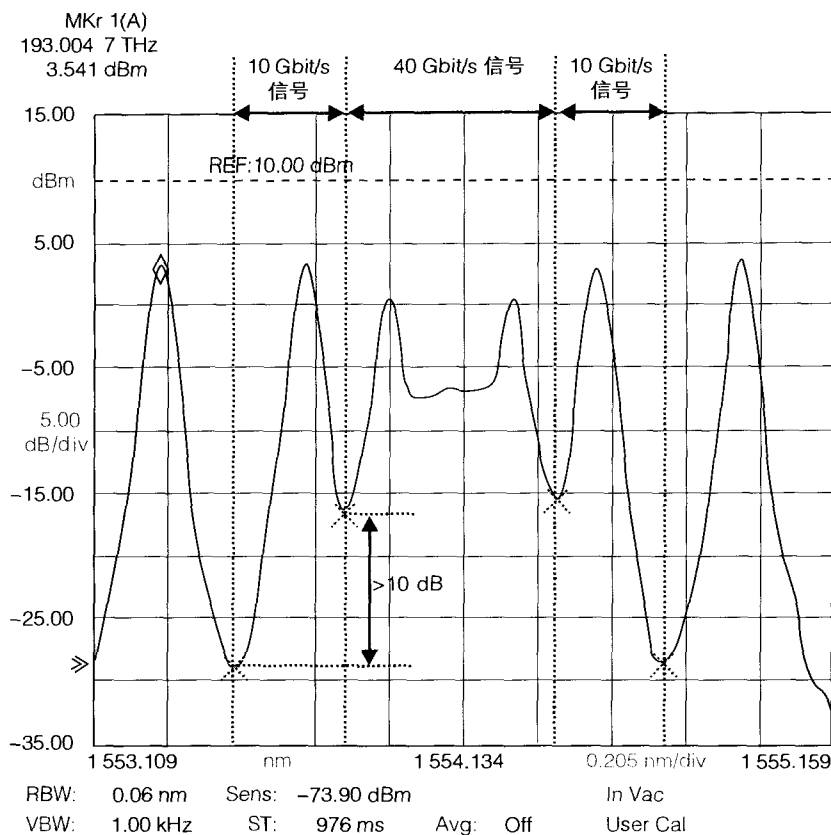


图2 50 GHz 间隔 40 Gbit/s DWDM 系统信号光谱重叠现象

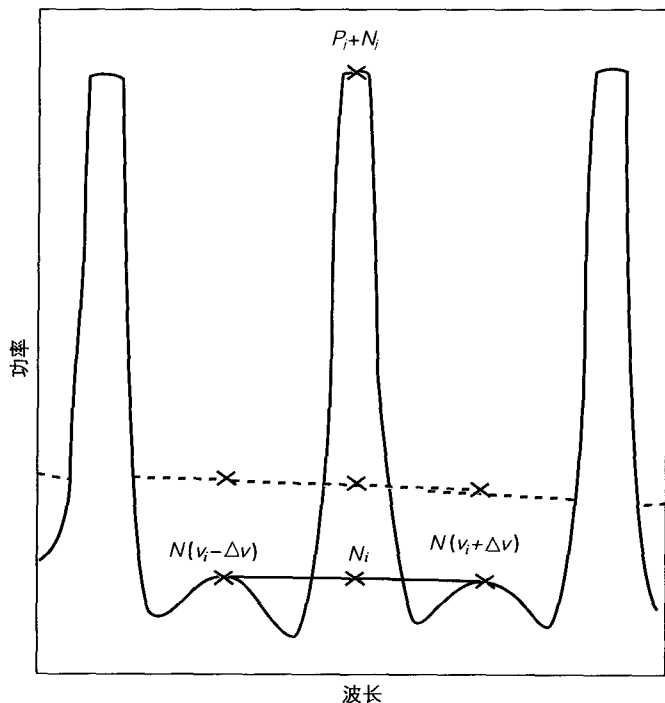


图3 滤波效应破坏噪声谱示意

率左右 B_s 范围内的功率为信号功率，信道中间 B_m 范围内的功率为噪声功率，两者相比得到 OSNR。信号光功率的积分范围可以取大一点（100 GHz 间隔最大可取 0.8 nm，50 GHz 间隔系统最大可取 0.4 nm）；噪声功率的积分范围可以取小一点，但是注意最后要换算到 0.1 nm 内的功率。目前有些 OSA 具备自动积分计算功能，如不具备该功能，只能手工计算。

以上修正方法，尤其是积分法，可以有效应对单纯的信号光谱展宽问题，也可以在一定程度上改善信号光谱重叠条件下的测试精度，但是对滤波效应引发的噪声谱改变无能为力。

4.2 信道内噪声测试法

信道内噪声测试法的原理非常简单，就是关闭信号光直接测试对应波道的信道内噪声。为了提高测试准确性，建议采用积分法测试信号和噪声功率。具体步骤如下。

- 打开测试波道 OTU，用积分法测试整个信号光谱范围内的功率，记作 P_1 。
- 关闭测试波道 OTU，用积分法测试整个信号光谱范围内的功率，记作 P_2 。
- 保持 OTU 的关闭状态，用积分法测试等效噪声带宽 B_s 范围内的功率，记作 P_3 。为了方便，工程测试也可以将 P_2 值换算到 B_m 范围的 P_3 。

• 计算 OSNR， $OSNR = (P_1 - P_2) \div P_3$ 。

这种方法可以有效解决上述新问题，但是测试时需要中断被测波道的业务，无法实现无损测试，而且测试短波长波道时存在一定的误差（受增益竞争效应的影响，关闭信号光测得的噪声功

运营支撑

率高于实际值，这种误差大多数情况下可以忽略，但是对最边缘的短波长波道，噪声功率相对较高，无法忽略测试误差。从测试结果来看，这种误差在 0.5~1 dB)。

4.3 噪声功率谱拟合法

噪声功率谱拟合法的基本思路是采用信道内噪声测试法测试一些不承载业务波道的信道内噪声，拟合出整个光谱范围内的噪声功率谱，从而得到其他被测波道的噪声功率。

这种方法目前只是在实验测试中采用的一种替代方法。一般来说，采样点数量越多，拟合结果越优。但是，在现网系统中每一个采样点就意味着一个波道的业务中断，因此很难保证有很多采样点。由于噪声功率谱在长波长区域比较平坦，因此线性拟合方法具有比较高的准确性，同样在短波长区域存在一定的误差。

实际系统可能会出现波道满配置的情况，此时虽然可以通过关闭冗余波道 OTU 等方式获得采样点，但是终究会给系统带来一定的风险，因此噪声功率谱拟合法严格意义上说不是完全的无损测试方法。

4.4 偏振分离法

偏振分离法可以实现严格意义上的无损在线测试。偏振分离法的基本思路是将噪声看成是无偏振的光源，而信号是具有任意偏振态的偏振光，因此可以把具有偏振态的信号光从无偏振的噪声光中分离出来，单独测试信号和噪声功率，从而得到真正的信道内 OSNR，如图 4 所示。

至于具体的偏振分离技术，

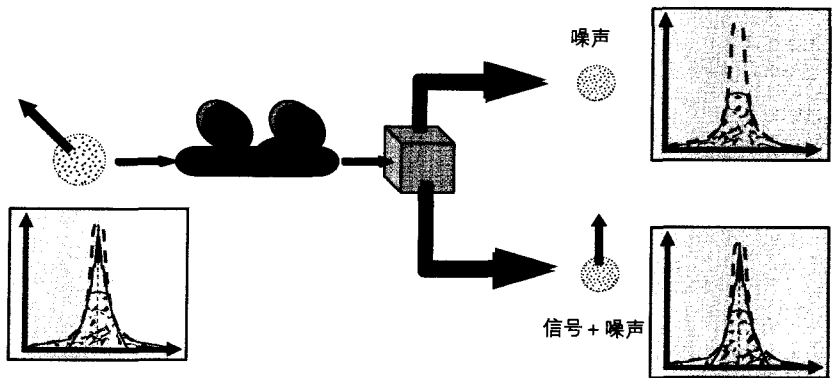


图 4 偏振分离法实现原理

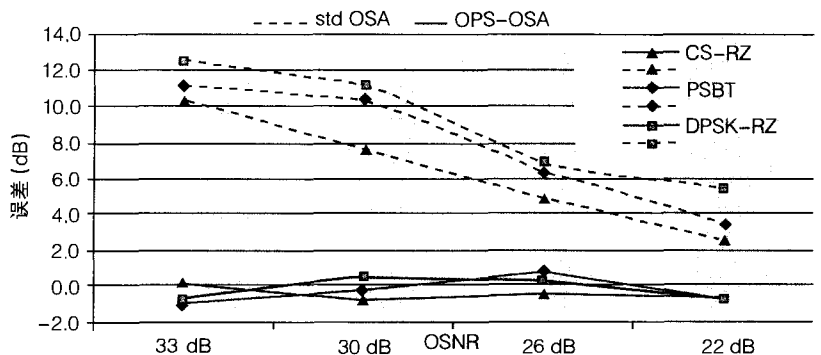


图 5 偏振分离法与传统 OSNR 测试方法的测试结果比较

各仪表厂商都有自己的专利。目前，JDSU 推出了采用偏振分离法进行 OSNR 测试的 OSA，并与 Tellabs 合作进行了深入的论证性测试，研究了 PMD、滤波器级联数量、调制格式、信号速率等不同因素对测试结果的影响，相关结果在 OFC/NFOEC 2007 会议上公布。

图 5 所示为采用偏振分离测试法和传统测试方法测试不同调制格式的 40 Gbit/s DWDM 系统的测试结果，可以看出，偏振分离法的测试结果与理论值非常接近，误差在 1 dB 以内，而传统 OSNR 测试方法的结果总是大大超出理论值，误差可以达到 9~10 dB。

5 结论

综上所述，对于新型 DWDM 系统，传统 OSNR 测试方法面临

了巨大的挑战，虽然一些修正方案可以在一定程度上提高测试准确性，但是其固有缺陷决定了无法解决信道光谱重叠和滤波器破坏噪声谱等问题。信道内噪声测试法、噪声功率谱拟合法等在研发和工程实践中总结出来的替代方法可以在现有仪表条件下获得更加准确的 OSNR 测试结果，但是存在方法复杂、无法实现无损测试等缺点，难以在实际系统运维中大规模推广。偏振分离法是目前唯一能够真正实现信道内 OSNR 无损在线测试的有效方法，不影响系统工作，操作简单，但是现有的 OSA 都无法支持，需要进行仪表更新，成本昂贵。

如对本文内容有任何观点或评论，请发 E-mail 至 editor@ttm.com.cn。