

文章编号 : 0253-2239(2001)12-1448-03

光网络节点设备信噪比恶化的测量*

郑小平 张汉一 李艳和 郭弈理

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要: 从理论与实验两方面分析了光网络节点设备光信噪比(OSNR)恶化量的测量。导出了单节点设备输出、输入侧光信噪比之差的公式。理论分析表明:节点设备输出、输入侧光信噪比之差值在一般测试条件下不能反映节点设备对光信号的影响,不能作为节点设备光信噪比的恶化量来衡量设备对光信号的影响;为使测量结果能反映光节点参数对光信号的综合影响,测试系统应当满足文中给出的增益条件 $C = 1$ 。实验结果支持了理论分析。实验结果表明,对于 $C = 1$ 时光信噪比恶化量为 4.5 dB 的光节点设备,当 C 从 3 变化到 0.16 时,其输入、输出侧光信噪比之差从 1.8 dB 变化到 11.3 dB。

关键词: 光网络;光信噪比;网络节点

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A

1 引 言

过去几年中,基于波分复用技术(WDM)的全光通信网络已成为国际信息基础设施发展的一大热点^[1]。不少国家投入了大量人力、财力,一大批光网络(如美国的 MWTN、ONTC、MONET 全光网,欧洲多国的 ACTS 全光试验网等)都已建立或进行了现场试验。“中国高速信息示范网”、“全光网基础研究”等也正在建立之中。

光网络的关键是光节点设备,主要有光交叉连接设备(OXC)与光分插复用设备(OADM)。如何在光域上衡量一个光网络节点设备的性能是光网络节点设备实用过程中必须解决的一个关键问题。“中国高速信息示范网”在 2000 年 8 月 10 日的中期检查中把节点设备输入、输出侧的光信噪比作为必考

指标,来衡量单个光节点设备对光信号的影响。

本文对单个光网络节点设备光信噪比恶化的测量系统及原理,从理论与实验两个方面进行了分析。

2 原理

单个节点设备光信噪比的测量原理如图 1 所示。图中虚框部分为待测的节点设备。图 1 给出的是一个 2 路光纤进、2 路光纤出的光交叉连接结构。测试用的 8 路 ITU-T 波长信号由复用器、功放掺铒光纤放大器、衰减器后进入待测设备。用光谱仪分别测出设备输入侧(MPI-R₁ 或 MPI-R₂)、输出侧(MPI-S₁ 或 MPI-S₂)光信号的信噪比,并用它们的差值为衡量节点设备对光信号的影响。

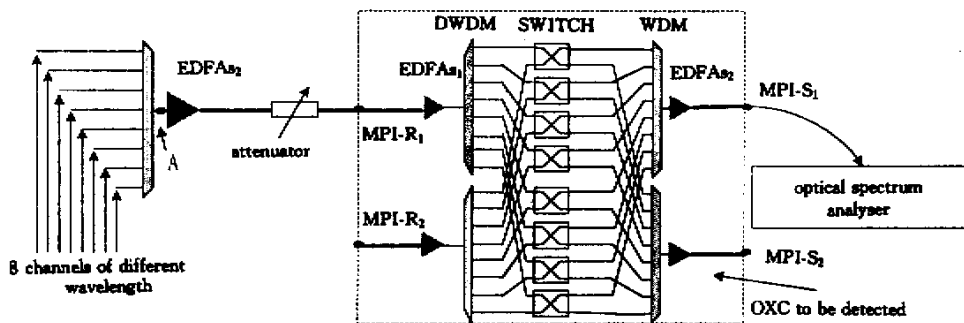


Fig. 1 Schematic diagram of measurement of OSNR degradation of an optical networking element

* 国家重大自然科学基金(69990540) 国家科委 863 高科技项目、国家教委资助课题。

收稿日期 2000-09-06; 收到修改稿日期 2000-12-25

图 1 中,单个节点设备输出点分别标记为 MPI-R₁、MPI-R₂ 与 MPI-S₁、MPI-S₂。考虑从 MPI-R₁ 进入节点的某一波长的信号。设其在 MPI-R₁

处测得的信噪比为 $(\text{SNR})_m$,

$$(\text{SNR})_m = P_S^{\text{in}} / P_{\text{ASE}}^{\text{in}} , \quad (1)$$

式中 P_S^{in} 、 $P_{\text{ASE}}^{\text{in}}$ 分别为 MPI-R₁ 处的信号光及噪声功率。经过节点后, 总的光功率为^[2] :

$$P = [(P_S^{\text{in}} + P_{\text{ASE}}^{\text{in}})G_1 + 2n_{\text{sp}1} G_1 h\nu B]L_{\text{node}} G_2 + 2n_{\text{sp}2} G_2 h\nu B ,$$

其中, 信号光、放大自发辐射噪声的功率分别为 :

$$P_{\text{out}} = P_S^{\text{in}} G_1 L_{\text{node}} G_2 ,$$

$$P_{\text{ASE}}^{\text{out}} = [P_{\text{ASE}}^{\text{in}} G_1 + 2n_{\text{sp}1} G_1 h\nu B]L_{\text{node}} G_2 + 2n_{\text{sp}2} G_2 h\nu B = P_{\text{ASE}}^{\text{in}} G_1 L_{\text{node}} G_2 + 2n_{\text{sp}1} G_2 h\nu B(L_{\text{node}} G_1 + \alpha) ,$$

式中, G_1 、 G_2 分别表示节点输入端掺铒光纤放大器 1 与输出端掺铒光纤放大器 2 的放大倍数; L_{node} 表示节点的透过率, $2n_{\text{sp}1}$ 、 $2n_{\text{sp}2}$ 近似为掺铒光纤放大器 1 与掺铒光纤放大器 2 的噪声系数, $h\nu$ 是频率为 ν 的光子能量, B 为放大的自发辐射谱带宽。由于掺铒光

纤放大器增益一般在 100 ~ 1000 之间, 因此 $G_i - 1 \approx G_i$, $i = 1, 2$, 所以上式中 $G_i - 1$ 与 G_i 没有区别。令 $n_{\text{sp}2}/n_{\text{sp}1} = \alpha$, 则所测节点输出侧(MPI-S₁ 测试点或 MPI-S₂ 测试点)的光信噪比为 :

$$\frac{1}{(\text{SNR})_{\text{out}}} = \frac{P_{\text{ASE}}^{\text{out}}}{P_{\text{out}}} = \frac{P_{\text{ASE}}^{\text{in}}}{P_S^{\text{in}}} + \frac{2n_{\text{sp}1} h\nu B(L_{\text{node}} G_1 + \alpha)}{P_S^{\text{in}} L_{\text{node}} G_1} = \frac{1}{(\text{SNR})_m} + \frac{1}{(\text{SNR})_{\text{EDFA1}} [1 + \alpha(L_{\text{node}} G_1)]} , \quad (2)$$

式中

$$(\text{SNR})_{\text{EDFA1}} = \frac{P_S^{\text{in}}}{2n_{\text{sp}1} h\nu B} ,$$

令

$$(\text{SNR})_{\text{EDFA1}}^{\text{eff}} = \frac{(\text{SNR})_{\text{PA}}}{1 + \alpha(L_{\text{node}} G_1)} ,$$

则

$$\frac{1}{(\text{SNR})_{\text{out}}} = \frac{1}{(\text{SNR})_m} + \frac{1}{(\text{SNR})_{\text{EDFA1}}^{\text{eff}}} . \quad (3)$$

输入、输出端信噪比的变化为 :

$$\frac{(\text{SNR})_m}{(\text{SNR})_{\text{out}}} = 1 + \frac{(\text{SNR})_m}{(\text{SNR})_{\text{EDFA1}}^{\text{eff}}} . \quad (4)$$

写成分贝形式, 光信号经过光节点后信噪比的差值为 :

$$\Delta = (\text{SNR})_m - (\text{SNR})_{\text{out}} = 10 \lg \left(1 + \frac{(\text{SNR})_m}{(\text{SNR})_{\text{EDFA1}}^{\text{eff}}} \right) . \quad (5)$$

对于图 1 所示的测试系统, MPI-R₁ 处测到的光信噪比可以表示为 :

$$(\text{SNR})_m = \frac{P_S}{2n_{\text{sp}2} h\nu B} . \quad (6)$$

P_S 为光源在图 1 中 A 点处的平均功率, 考虑到 $P_S^{\text{in}} = P_S G_2 L_a$, 则 :

$$\Delta = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{C} \left(1 + \frac{L_{\text{node}} G_1}{\alpha} \right) \right] , \quad (7)$$

式中, $C = G_2 L_a G_1 L_{\text{node}}$, L_a 为衰减器的透过率。从 (7) 式可以看到 : 一般条件下, 节点设备输入、输

出侧信号光信噪比的差值, 不仅仅与节点内部参数有关, 还与外部参数密切相关。测试系统增益 C 越高, 测得的节点设备输入、输出侧信噪比差值就越小。这时信噪比的差值由于不能反映光节点本身对光信噪比的恶化, 失去了评价节点设备性能的意义。

从 (7) 式可以发现, 如果 $C = 1$, 有 :

$$\Delta = 10 \lg \left(2 + \frac{L_{\text{node}} G_1}{\alpha} \right) . \quad (8)$$

(8) 式只与节点内部的参数有关。这时节点设备输出、输入端光信噪比的差只与节点设备内部的参数 : 例如节点内部增益、损耗、掺铒光纤放大器噪声系数等有关, 反映了节点设备对光信号信噪比的影响。因此在 $C = 1$ 条件下测得的节点设备输出、输入端光信噪比的差为光节点设备对光信号的光信噪比的恶化量。

3 实验结果

采用与图 1 类似的测量装置, 通过调节衰减器衰减量的大小, 改变 C 值。测量了光节点设备输入、输出侧光信噪比的差值与测试系统增益的关系, 结果如图 2 中的离散点。实验条件如下 : $L_{\text{node}} G_1 = 1$, $\alpha \approx 1$, 所用光谱仪的型号为 ADVANTEST Q8384 型。实验结果与理论预测一致。

从实验结果可以看到, 当 $C = 1$ 时, 光节点光信噪比的恶化量为 4.5 dB, 而 C 从 3 变化到 0.16 时, 测量得到的节点设备输入、输出侧光信噪比之

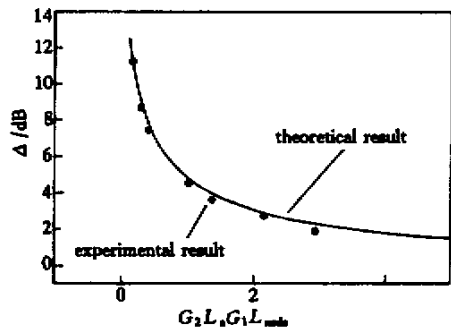


Fig.2 Relation between OSNR degradation of network element and system gain

差从 1.8 dB 增加到 11.3 dB。实验结果表明不能简单地吧节点设备输入输出侧光信噪比差作为衡量单一光节点设备对光信号恶化的指标。

结论 光信噪比的恶化量是光网络节点设备在光域上的重要指标之一。虽然孤立网络的输入、输出端信噪比差完全反映了网络内部的情况,但是在测试过程中,所建立的测试系统往往会打破孤立网络这个前提。这样所测节点输入、输出端的信噪比差就不能完全反映节点内部的情况。用图 1 所示的测试系统对单个节点设备进行信噪比差测量时,为了使差值能够完全反映光节点设备对光信号的影响,测试系统应当满足文中给出的增益条件。

参 考 文 献

- [1] Meada M W. Management and control of transparent optical network. *IEEE J. Selected Areas in Communications*, 1998, **16**(7):1008 ~ 1023
- [2] 原 荣, 光通信网络. 北京: 电子工业出版社, 1999

Measurement of OSNR Degradation of Optical Network Elements

Zheng Xiaoping Zhang Hanyi Li Yanhe Guo Yili

(Department of Electronics Engineering , Tsinghua University , Beijing 100084)

(Received 6 September 2000 ; revised 25 December 2000)

Abstract : The measurement of optical signal-noise ratio (OSNR) degradation of optical network elements is analyzed theoretically and experimentally. The formula denoting the difference of OSNR detected at input port and output port of the element is derived. Theoretical results show that the difference can not reflect the effect of the element on signal in optical domain under general condition , and can not be taken generally as OSNR degradation for evaluation in the element until the element system meets the demands of condition $C = 1$ given in the paper. Experimental results support the theory and show that for an optical network element with OSNR degradation of 4.5 dB at $C = 1$, when C decreases from 3 to 0.16 , the difference of OSNR detected at its input port and output port varies from 1.8 dB to 11.3 dB.

Key words : optical network ; optical signal-noise ratio ; network element