

基于 OSC 复合帧结构的 OTN 系统光纤在线监测方案

杜金浩¹, 张彦¹, 胡劲松¹, 任之良², 陈雪¹

(1. 北京邮电大学 信息光子学与光通信国家重点实验室,
北京 100876; 2. 中兴通讯股份有限公司, 北京 100191)

摘要:设计了一种基于复合帧和相关运算处理的光传送网(OTN)系统光纤线路在线监测方案。该方案利用 M 序列与光监控信道(OSC)业务数据构成复合帧, 可以通过调整该复合帧结构来实现大动态范围和高空间分辨率, 并通过相关运算处理提高动态范围。与其它在线监测方案相比, 该方案具有动态范围大、业务信号波形无失真的特点, 可根据 OSC 业务量灵活调整系统参数以充分利用 OSC 信道容量。仿真和实验证明了该方案的可行性。

关键词:光传送网; 复合帧; 相关运算处理; 在线监测

中图分类号: TN915.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)04-0001-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.04.001

In-service monitoring scheme for OTN system fiber based on OSC composite frame structure

DU Jinhao¹, ZHANG Yan¹, HU Jinsong¹, REN Zhiliang², CHEN Xue¹

(1. State Key Laboratory of Information Photonics and
Optical Communications, Beijing University of Posts and Telecommunications,
Beijing 100876, China; 2. ZTE Corporation, Beijing 100191, China)

Abstract: A novel in-service monitoring scheme based on composite frame and correlation operation processing for OTN system fiber link is proposed. The scheme utilizes the M sequence and the OSC service data to form a composite frame. The structure of composite frame can be adjusted flexibly to realize both large dynamic range and high spatial resolution. The dynamic range can be improved by correlation operation processing. Compared with other schemes, it has larger dynamic range and could not incur service signal waveform distortion. The system parameters can be adjusted flexibly according to the OSC service data to take full advantage of OSC channel capacity. The effectiveness of the scheme is verified by simulation and experiment.

Key words: OTN; composite frame; correlation operation processing; in-service monitoring

0 引言

随着 IP 业务的不断发展, 传统的点对点波分复用(WDM)传输已经不能满足需求, 光传送网(OTN)因其调度灵活等特点在世界范围内得到了大规模部署^[1], 正如 Zhao Yongli 等学者指出, OTN 在引入软件定义网络(SDN)后资源利用率得到很大提高^[2,3], 与此同时单根光纤容量也在不断大幅增加^[4]。实际工作经验表明, OTN 光纤线路中断将会造成巨大的社会影响

和经济损失。因此, 光传送网光纤线路在线监测具有重大的研究意义。相比于传统脉冲型 OTDR 等非在线的监测方式, 光纤在线监测一方面可以及时发现甚至预警光纤线路中存在的故障, 降低因光纤故障带来的损失; 另一方面, 在线监测既节约了波长资源又降低了经济成本。光纤线路在线监测时, 探测信号和业务信号使用同一个光源, 探测光功率受到业务信号功率的限制, 监测系统的动态范围也会随之受到制约。因此, 如何降低光纤监测过程对业务信息传输的影响并提升监测系统的性能是需要克服的难题。已有报道通过“调顶”将探测信号调制到业务信号上实现光纤在

收稿日期: 2017-12-21。

基金项目: 中兴通讯产学研合作论坛项目资助。

作者简介: 杜金浩(1993-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为光链路在线监测。

线监测^[5,6],但这样会造成业务信号的失真而且动态范围受限。为了解决上述问题,本文提出一种基于光监控信道(OSC)复合帧结构和相关运算处理的 OTN 光纤链路在线监测方案,利用 OTN 中的 OSC 信号和探测信号构成复合帧,从而解决业务信号失真的问题,并利用相关技术在探测光功率受限的情况下获得较高的动态范围。

1 方案设计

由于探测光和业务信号使用同一个光源,且要求在进行光纤监测时不影响正常业务信息传输,所以应该选择合适的信道进行在线监测。目前主流 OTN 设备的 OSC 信道线路比特速率为 125Mb/s,远大于 G.692 所建议的 2Mb/s。所以,OSC 信道的线路速率有很大的富裕量可以被用来进行光纤线路在线监测。

由于在线监测的探测光借助于业务信号的光源发出,导致探测光的功率受限。因此,在线监测就需要在较低的探测光功率下达到较好的监测性能。依靠相关计算带来的增益一定程度上减小了探测光功率对动态范围的影响^[7],使得其在较低的探测光功率下可以实现较好的性能,适合应用于在线监测场景。

根据以上分析,本文提出了一种基于 OSC 复合帧结构和相关运算处理的 OTN 系统光纤链路在线监测方案,方案框图如图 1 所示。到达的 OSC 业务信息数据被缓存在信息队列中,伪随机序列生成器根据所要检测光纤的长度和当前 OSC 业务流量生成的 M 序列作为探测序列,探测序列的长度应大于所要检测光纤的长度,探测序列在复合帧生成器中与 OSC 业务信息数据组成复合帧。

复合帧的结构和长度由当前 OSC 业务信息的流量决定。到达的 OSC 业务信息数据被缓存在业务信息队列中,当上一复合帧发送完毕后,缓存区的业务信

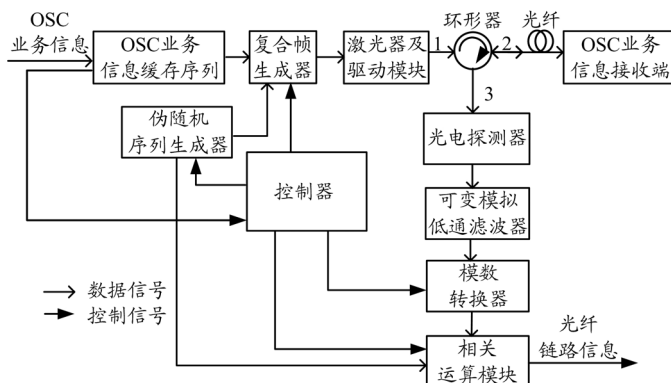


图 1 基于复合帧和相关运算处理的 OTN 光纤在线监测方案

息队列会有新的 OSC 业务信息数据到达。首先计算缓存区的业务信息队列的比特长度 L_s ,根据 L_s 的不同和业务信息长度阈值 L_{th} ,复合帧根据 OSC 业务流量变化会有如图 2 所示的 3 种结构。

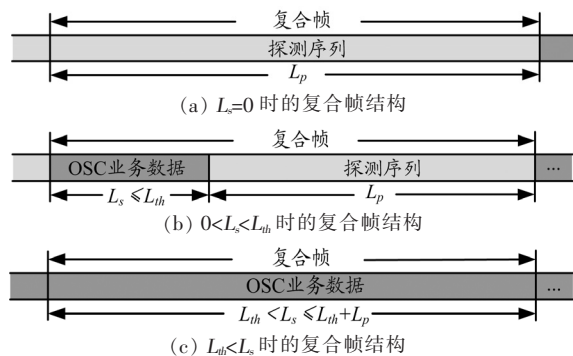


图 2 可变复合帧结构示意图

业务信息长度阈值 L_{th} 为固定值,需预先根据待测光纤线路的 OSC 平均业务流量情况进行设置。图 2(a)中,若 $L_s=0$,表明缓存区的业务信息队列内无业务数据,此时复合帧内没有 OSC 业务信息数据,全部为探测序列。图 2(b)中,若 $0 < L_s < L_{th}$,则长度为 L_s 的 OSC 业务信息数据与探测序列合成复合帧。图 2(c)中,若 $L_{th} < L_s$,表明 OSC 业务流量较大,此时复合帧中不再包含探测序列,只有长度为 L_s 的 OSC 业务信息数据。

复合帧经光电转换后由环形器端口 1 进入光纤,位于环形器端口 3 的光电探测器将光纤中的后向瑞利散射信号进行光电转换,然后经过一个模拟低通滤波器减小热噪声和后向瑞利散射噪声,再通过模/数转换器(ADC)进行模/数转换。相关运算模块将转换后的信号经过平均后与本地参考序列进行相关计算,最终得到光纤链路信息。调整 M 序列的码片宽度可改变监测的动态范围和空间分辨率^[8]。在首次测量时,我们采用较大的码片宽度获得较高的动态范围,从而获得整个光纤中事件的粗略信息(大动态范围模式)。在随后的测量中,我们根据所要求的空间分辨率调整码片宽度,从而获得较为准确的事件定位(高分辨率模式)。

在 OSC 业务接收端,OSC 接收机正常接收 OSC 业务信息,忽略探测序列。

本方案的核心是将探测序列和 OSC 业务数据复用形成复合帧,并利用相关运算处理提高监测的动态范围。采用 OSC 信道构成复合帧的方式一方面不会引起业务信号的波形失真,另一方面可以充分利用 OSC 的信道容量。而采用相关运算处理使得本方案在较低的探测光功率下可以实现较大的动态范围,适合于功率受限的在线监测场景。

2 仿真分析

为了尽量不影响业务信号的传输,我们将业务信号的时延恶化量控制在 10ms 以内^[9]。本方案采用 M 序列作为探测序列,根据 M 序列的特性,在一次测量中至少包含 3 个检测周期,因此码片宽度和码片个数的乘积必须小于 3.33ms。

因为激光器线宽和后向瑞利散射噪声呈负相关^[10],所以可以采用 F-P 腔激光器减小后向瑞利散射噪声以提高动态范围。提升入射光功率相当于提高信号功率,可以增加动态范围,但是提升入射光功率会增加后向瑞利散射噪声^[11]。因此,当后向瑞利散射噪声远大于其它噪声时,入射光功率对动态范围不再产生影响。增大码片宽度可以较大幅度地提高动态范围。增大码片个数、采样率和平均次数,也可以提升动态范围,但提升幅度较小^[8]。空间分辨率只与码片宽度呈反比。

根据现有相关的商用光模块和主流 OTN OSC 通道的性能指标,我们设激光器的平均发射功率为 10dBm,消光比为 20dB。光电探测模块最小接收光功率为 -55dBm^[12],在光电探测器之后设置一个和伪随机序列码片速率相对应的低通滤波器。首先仿真大动态范围模式下的监测方案性能:设探测序列为 9 级 M 序列(码片个数为 511),码片宽度为 6400ns;滤波器带宽为 156kHz,采样率为 100MSa/s,后向瑞利散射信号与后向瑞利散射噪声的功率比值为 200^[11];ADC 的分辨率为 10 位,所检测信号的峰峰值占 ADC 总量的 2/3,平均次数为 10000 次;测量光纤长度为 150km,在光纤的 25km、75km 处各有一个 APC 的活接头反射。仿真结果如图 3 所示。

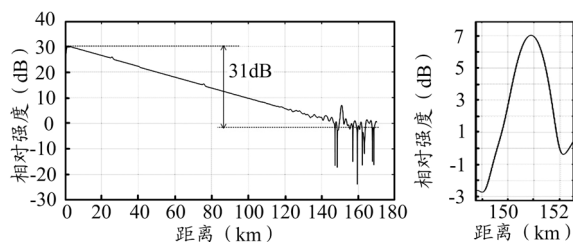


图 3 大动态范围模式下监测方案仿真结果

图 3 中,动态范围为信号最大值到噪声峰值以下约 2dB,空间分辨率为事件反射峰减小 1.5dB 时的峰的宽度^[13]。由图 3 可以看出,本方案的动态范围约为 31dB。通过计算得到业务时延约为 9.8ms,总的测量时间约 2min。因此本方案能够满足测量 150km 光纤链路的监测需求。

我们在高空间分辨率模式下再次仿真,采用较小

的码片宽度,设探测序列为 14 级 M 序列(码片个数为 16383),码片宽度为 200ns,滤波器带宽为 5MHz。采样率为 100MSa/s,平均次数为 10000 次。仿真结果如图 4 所示。

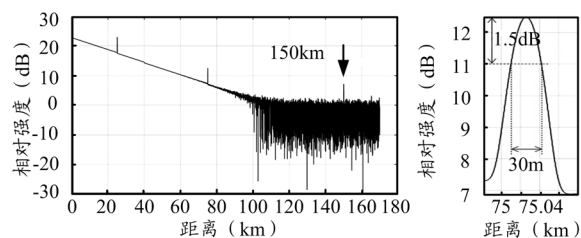


图 4 高空间分辨率模式下监测方案仿真结果

由图 4 可见 150km 处末端反射事件,整个探测过程的空间分辨率约为 30m。由于可以检测出 150km 处的末端反射事件,此处光链路衰减包括光纤衰减(30dB)和两个活接头衰减(1dB),一共约为 31dB,所以反射事件检测范围至少为 31dB,业务时延和总测量时间与大动态范围模式下相同。

从以上仿真结果可以看出,在典型光模块参数下,当业务信号时延恶化在 10ms 以内时,本方案的动态范围可达约 31dB,空间分辨率约为 30m;通过改变探测序列的码片宽度形成两种监测模式,实现了大动态范围和高空间分辨率,能满足 150km OTN 跨段长度的光纤在线监测需要。

3 实验验证

本文对所提方案做了实验测试,实验框图如图 5 所示。

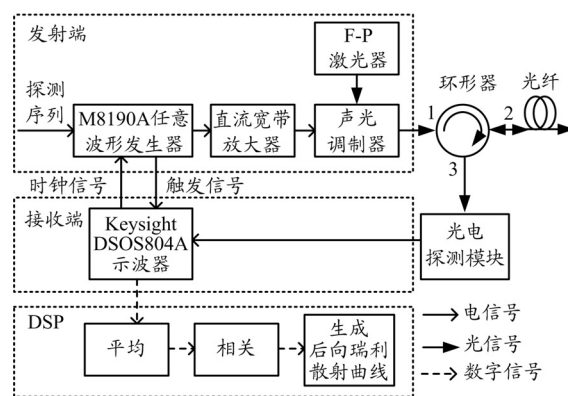


图 5 检测方案实验框图

受限于实验室现有光模块性能,实验系统采用 F-P 腔激光器,入射光平均功率为 0dBm,光电探测模块最小接收光功率为 -55dBm,带宽为 20MHz。我们首先对大动态范围模式下本方案的性能进行实验验证,探测序列采用 9 级 M 序列(码片个数为 511),码片宽度

为 6400ns。采样率为 100MSa/s,ADC 的分辨率为 10 位,平均次数为 10000 次,测量光纤长度为 125km,在光纤的 25km、75km 处各有一个 APC 的活接头反射。得到的实验结果如图 6 所示。

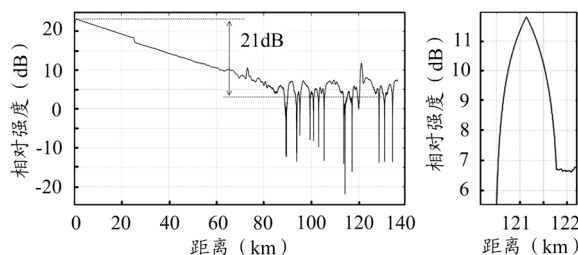


图 6 大动态范围模式下监测方案实验结果

由图 6 可以看出,本方案的动态范围约为 21dB,可以满足测量 100km 光纤链路的监测需求。

在高空间分辨率模式下,探测序列为 14 级 M 序列(码片个数为 16383),码片宽度为 200ns。采样率为 100MSa/s,平均次数为 10,000 次。实验结果如图 7 所示。

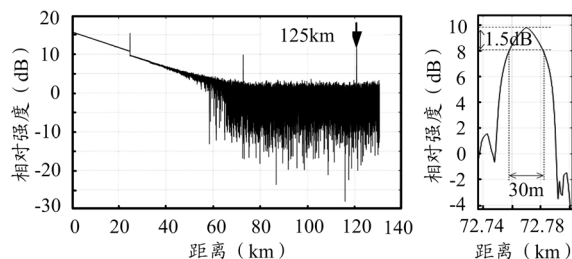


图 7 高分辨率模式下监测方案实验结果

高分辨率模式下的业务时延和测量时间与大动态范围模式下相同。实验结果表明该模式下空间分辨率可以达到 30m,且至少可以探测出 125km 处的末端反射事件。此处光链路衰减包括光纤衰减(25dB)和两个活接头衰减(1dB),一共约为 26dB,说明高空间分辨率模式下反射事件的检测范围至少为 26dB。

从以上实验结果可以看出,在业务信号时延恶化在 10ms 以内以及受限的实验条件下,本方案的动态范围可达约 21dB,空间分辨率约为 30m,通过改变探测序列的码片宽度形成两种监测模式,实现了大动态范围和高空间分辨率。实验结果和仿真结果有差距主要是因为以下两个原因:①实验中的入射光功率小于仿真中的入射光功率,导致实验中后向瑞利散射信号较小,造成大约 2dB 的动态范围损失。②实验中未使用模拟低通滤波器限制光电探测模块的带宽,从而导致实验中的热噪声和后向瑞利散射噪声较大,造成大约 8dB 的动态范围损失。考虑到以上两个因素后,实验结果和仿真结果基本吻合。

4 结束语

本文提出了一种基于复合帧和相关运算处理的 OTN 光纤在线监测方案,利用 OTN OSC 信道由 OSC 信号和探测信号构成复合帧,解决了利用“调顶”的在线监测方案中业务信号的失真问题,并通过相关运算处理解决探测光功率较小时动态范围受限的问题。仿真结果表明本方案可以达到 31dB 的动态范围和 30m 的空间分辨率;即使在实验中入射光功率等条件受限的情况下,实验结果依然可以达到 21dB 的动态范围和 30m 的空间分辨率。仿真结果和实验结果表明本方案可以在有限的入射光功率下通过调整探测序列参数实现大动态范围和高空间分辨率,证明了本方案适用于典型的 150km OTN 跨段的光纤在线监测。

参考文献:

- [1] 李芳. IP 和光网络联合组网技术策略研究 [J]. 中兴通讯技术, 2013, 19(3): 31-35.
- [2] LI Yajie, ZHAO Yongli, ZHANG Jie, et al. Software Defined Optical Networks and Its Innovation Environment[J]. ZTE Communications, 2016, 14(4): 50-57.
- [3] 汤进凯, 张奇, 徐昕. SDN 在传送网络的引入与应用分析[J]. 中兴通讯技术, 2015, 21(4): 25-29.
- [4] JIA Zhensheng. Capacity Scaling Limits and New Advancements in Optical Transmission Systems[J]. ZTE Communications, 2013, 11(4): 53-58.
- [5] SHIM H K, CHO K Y, TAKUSHIMA Y, et al. Correlation-based OTDR for in-service monitoring of 64-split TDM PON [J]. Optics Express, 2012, 20(5): 4921-4926.
- [6] DEVICHARAN D, ZAHNLEY T, DAHL S, et al. Low optical power embedded OTDR[C]//Optical Fiber Communication Conference. Mar. 22-26, 2015, Los Angeles, USA. Washington: Optical Society of America (OSA), 2015.
- [7] TAKUSHIMA Y, CHUNG Y C. Optical reflectometry based on correlation detection and its application to the in-service monitoring of WDM passive optical network[J]. Optics Express, 2007, 15(9): 5318-5326.
- [8] HU Jinsong, CHEN Xue, REN Zhiliang, et al. A novel in-service OTN fiber link monitoring scheme using correlation-based OTDR[C]//Asia Communications and Photonics Conference, Nov. 2-5, 2016, Wuhan, China. Washington: Optical Society of America (OSA), 2016.
- [9] 华为技术有限公司. 华为 MS-OTN 低时延解决方案白皮书 [R]. 深圳: 华为技术有限公司, 2016.
- [10] STAUBLI R K, GYSEL P. Statistical properties of single-mode fiber Rayleigh backscattered intensity and resulting detector current [J]. IEEE Transactions on Communications, 1992, 40(6): 1091-1097.
- [11] GYSEL P, STAUBLI R K. Statistical properties of Rayleigh backscattering in single-mode fibers [J]. Journal of Lightwave Technology, 2002, 8(4): 561-567.
- [12] 周斌, 张阳安, 黄永清, 等. 动态 DWDM 系统中的 OSC 子系统研究与实现[J]. 光通信技术, 2007, 31(12): 4-6.
- [13] 刘娟, 陆蓉, 姚英, 等. 光纤通信测量 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2013.