

40 Gbit/s 传输系统的 OLP 解决方案研究

郭鑫¹, 李盛彤²

(1. 武汉光迅科技股份有限公司, 湖北 武汉 430205; 2. 广东电信股份有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 为了寻找一种可行的针对 40 Gbit/s 传输系统的 OLP(光线路保护)解决方案, 分析了 40 Gbit/s 传输系统保护所面临的色散补偿、光功率补偿和系统 OSNR(光信噪比)等方面的挑战, 介绍了针对 40 Gbit/s 传输系统的色散补偿方案, 并对一个应用案例进行了分析说明, 验证了该解决方案的可行性。

关键词: 40 Gbit/s 系统; 光线路保护; 色散补偿; 多波长可调式色散补偿模块; 精确补偿光纤型色散补偿模块

中图分类号: TN913.33 文献标志码: B 文章编号: 1005-8788(2013)02-0009-03

Research on optical line protection solutions to 40 Gbit/s transmission systems

Guo Xin¹, Li Shengtong²

(1. Accelink Technologies Co., Ltd., Wuhan 430205, China; 2. Guangdong Telecommunication Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: In order to find a feasible Optical Line Protection (OLP) solution to 40 Gbit/s transmission systems, this paper analyzes such challenges to its protection as dispersion compensation, optical power compensation and system OSNR with the focus on its dispersion compensation solutions, describes a specific case and verifies the feasibility of this solution.

Key words: 40 Gbit/s system; OLP; dispersion compensation; multi-wavelength TDCM; DCF

0 引言

经过几年的发展, 40 Gbit/s 传输系统已经成为高速传输舞台上的主角。在核心路由器高效互联要求的强力驱动下, 运营商正在大范围部署 40 Gbit/s 系统。2008 年, 中国电信开始部署国内第一条商用 40 Gbit/s 线路; 2010 年, 随着 40 Gbit/s 技术的全面成熟, 各运营商陆续开始了对 40 Gbit/s 系统的规模部署。40 Gbit/s 系统的维护也必然给现有维护手段带来了新的挑战。光缆线路意外中断时, 恢复时间长, 手动调纤不成功的可能性极大, 因此需要一个快速、自动和低成本解决方案。对于 40 Gbit/s 系统的保护, 现有两种保护方案, 第 1 种为 1+1 设备保护, 即在备用光缆上另行建造一套 40 Gbit/s 系统, 若主用系统发生阻断, 则自动切换至备用系统; 第 2 种为常规的 OLP(光线路保护), 即采用光开关自动实现主备光缆之间的切换。第 1 种方案通过设备切换, 预计可以满足 50 ms 的业务恢复时间要求, 但成本过高。第 2 种方案在保证指标的同时, 还可以保证快速的恢复, 成本较低。

1 40 Gbit/s 系统 OLP 所面临的挑战

1.1 PMD(偏振模色散)的挑战

PMD 的累加对系统的影响表现为使系统产生码间干扰和无中继距离缩短。在 1 dB 代价下, 40 Gbit/s

系统的 PMD 容限为 2.5 ps; 在 3 dB 代价下, 40 Gbit/s 系统的 PMD 容限也只有 3.75 ps。对于这么小的 PMD 容忍值, 为了保证中继距离与 10 Gbit/s 系统的相当, 必须采取相应的措施, 然而 PMD 补偿技术价格昂贵, 目前还没有商用案例。

1.2 CD(色度色散)的挑战

系统的色散容限与速率的增长的平方成反比关系, 40 Gbit/s 系统的色散容限是 10 Gbit/s 系统的 1/16, 常规 NRZ(非归零)码型的 40 Gbit/s 系统的色散容限仅有 50 ps/nm。传输功率的变化会引起非线性效应的变化, 也会改变系统的色散容忍度。由于色散斜率的存在, 各个通道的理论补偿量并不一致, 且存在温度、外力等不确定因素。

不同类型光缆的色散系数如表 1 所示。

表 1 不同类型光缆的色散系数对应表

光缆类型	色散系数/(ps/nm·km)		
	1 525 nm	1 550 nm	1 565 nm
G. 652D	16.0	17.0	18.0
G. 655 TW	2.0	2.5	3.0
G. 655 LEAF	2.0	4.5	6.0

G. 652D 的色散标准规定明确, 所以各厂家的产品指标一致。G. 655 色散标准中规定色散范围为 2~6 ps/(nm·km), 所以各厂家的产品差异很大。G. 655 TW 虽然色散小, 但由于抗非线性性能差, 所以在 40 Gbit/s 系统中使用较少^[1]。

收稿日期: 2012-07-26

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2011BAH07B01)

作者简介: 郭鑫(1986-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 助理工程师, 学士, 主要研究方向为光通信系统的监测及保护。

40 Gbit/s 系统自身的色散补偿方案是采用固定的光纤型 DCM(色散补偿模块)进行大范围的色散补偿,即在系统接收端对各波长分别配置 TDCM(可调式色散补偿模块)进行精确色散补偿,只有保证系统终端 TDCM 不动作,才能确保系统的恢复时间。

对 40 Gbit/s 系统的 OLP 来说,由于条件限制,备用光缆的长度、类型和厂家等都可能与主用光缆不一致,这将导致系统各波长需要的色散补偿量不同,因此采用常规的 DCM 无法实现完美补偿。

1.3 OSNR(光信噪比)的挑战

40 Gbit/s 系统的数据速率是 10 Gbit/s 系统的 4 倍,相应地其接收灵敏度为后者的 4 倍,即其 OSNR 容限比 10 Gbit/s 系统高 6 dB,在不使用拉曼放大器的前提下,很难满足如此高的系统容限,这直接限制了系统的最大传输距离^[2]。

2 40 Gbit/s 系统 OLP 解决方案

2.1 选用合适的备用光缆

在 40 Gbit/s 系统的线路保护方案中,要求选用合适的备用光缆,以避免 PMD 系数过大造成性能下降。国内运营商的光缆敷设时间较晚,大多数地区都可以找到合适的光缆,建议选择 2005 年后敷设的光缆作为备用光缆。

2.2 传输系统采用不同的编码提升系统性能

码型技术是解决 40 Gbit/s 系统长距离传输的关键。40 Gbit/s 系统采用新型的编码调制技术,可以提升系统性能,解决 OSNR、PMD、非线性和色散等受限的问题^[3]。

目前主流的编码类型有很多种,但是没有任何一种编码技术可以完美地平衡成本与性能,每种技术都有各自的应用场景。比如,ODB(光二进制)和 DPSK(差分相移键控)成本较低,适合中短距离传输;DQPSK(差分四相相移键控)和 eDQPSK(预啁啾差分四相相移键控)各方面性能比较均衡,多应用于长距离传输。目前主流的设备厂商在干线传输中多采用 DQPSK 码型。

2.3 用 FEC(前向纠错)误码率指标判断系统性能

YD/T 1991-2009 中指出,目前基于 50 GHz 的 40 Gbit/s DWDM(密集波分复用)系统无法通过常规的 OSNR 测试方法实现在线测试,而新的测试方法尚不成熟,这大大增加了 40 Gbit/s 系统在线维护的难度,因此需要通过其他指标来在线判断系统性能。 R_n 参考点 Pre-FEC BER(前向纠错误码率)

则是满足上述要求的有效的辅助手段之一。

经过实际测试,当 FEC BER 劣化至 $10E-5$ 时,系统就会出现无法纠错的误码,造成系统不可用,所以一般维护要求系统 FEC BER 在 $10E-7$ 以下。

2.4 综合采用多种光功率补偿技术

由于主备光缆长度、类型不一致,可能导致备用线路的衰耗会大于主用线路,此外,因需要色散补偿而引入 DCM 时,也会造成备用线路的等效衰耗大于主用线路,这时就需要进行光功率补偿。对 40 Gbit/s DWDM 系统进行光功率补偿的方案主要有两种,一种是采用常规的多波长增益平坦型 EDFA(掺铒光纤放大器),另一种是采用 RFA(拉曼光纤放大器)。前者成本较低,使用简便,但是会造成系统 OSNR 劣化;后者成本较高,使用起来维护难度较大,但是其噪声指数一般在 0 dB 左右,即在放大过程中不会造成系统 OSNR 的劣化。所以应该根据实际的系统情况及需求选择合适的光功率补偿技术,在保证系统 OSNR 的前提下,使得系统在主备路由切换过程中光功率基本没有变化。

2.5 综合采用多种色散补偿技术进行精确补偿

针对不同的色散补偿需求,需要采用不同的色散补偿技术。主要有如下 3 种色散补偿技术:

(1) 大公里数光纤型 DCM,其补偿范围为 20~120 km,补偿精度为 10 km。分别有针对 G. 652 及 G. 655 光缆的 DCM,每种类型的 DCM 又分为正色散补偿和负色散补偿,可对系统进行大范围的补偿。

(2) 小公里数光纤型 DCM,其补偿精度为 0.5 km。分别有针对 G. 652 及 G. 655 光缆的 DCM,每种类型的 DCM 也分为正色散补偿和负色散补偿,可对系统进行精确补偿。

(3) MTC(多波长 TDCM),针对 80×40 Gbit/s 系统,对每一通道补偿同样的色散量,可远程进行监控并对色散量进行调节,调节范围为 ± 1200 ps/nm,调节精度为 5 ps/nm。

在实际应用过程中,应该根据主备光缆的色散差异,针对单波长进行精确计算,并选择最恰当的 DCM,保证系统色散的变化均在容限范围内,以确保系统切换后的业务恢复时间。

2.6 OLP 总体解决方案

根据主备光缆的色散差异选择模块大小或 TDCM 的补偿量,根据客户需要采用 MTC 进行微调及后续光缆情况变更的调整。

OLP 总体解决方案详见表 2。表中,DCF 为色散补偿光纤。

表 2 OLP 总体解决方案

主用光 缆类型	备用光 缆类型	光功率 补偿技术	色散补偿技术
G. 652	G. 652	EDFA/RFA	G. 652 DCF+MTC(可选)
G. 652	G. 655	EDFA/RFA	DCF+MTC
G. 655	G. 655	EDFA/RFA	G. 655 DCF+ MTC(可选)
G. 655	G. 652	EDFA/RFA	DCF+ MTC

3 MTC 性能测试

3.1 测试目的

DCF 作为一种成熟的色散补偿方案,无需进行实验验证。MTC 应用于 DWDM 系统进行全波段的色散补偿,尤其是应用于 50 GHz 间隔的系统尚属首次,因此本文设计了实验方案,搭建如图 1 所示

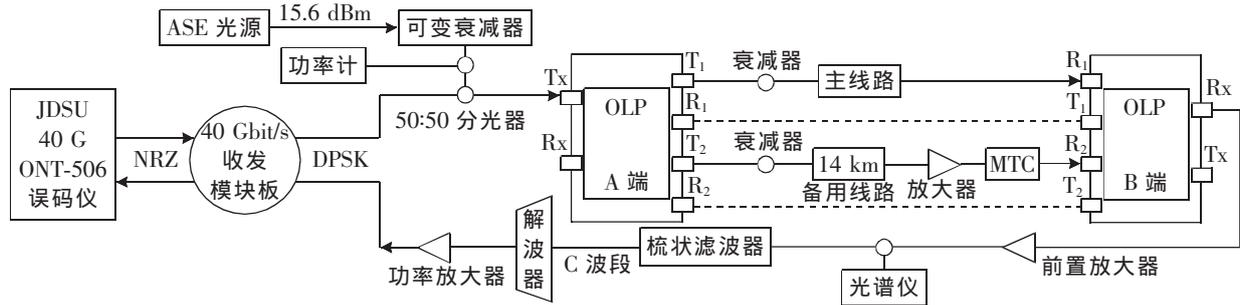


图 1 OLP 介入后系统框图

表 3 OLP 介入前后系统 BER 对比

波长	ASE 光功率/dBm	BER		OSNR/dB	
		介入前	介入后	介入前	介入后
C21	17.11	2.0E-12	1.1E-12	23.67	23.65
	13.21	1.4E-7	1.4E-7	19.73	19.87
	10.67	1.6E-5	1.5E-5	17.24	17.34
C41	15.83	3.0E-12	1.4E-12	23.66	23.99
	11.34	1.6E-7	1.6E-7	19.71	19.66
	9.26	1.7E-5	1.5E-5	17.24	17.39
C60	17.12	1.3E-12	3.0E-12	23.80	23.80
	13.00	1.6E-7	1.8E-7	19.85	19.87
	10.53	1.7E-5	1.9E-5	17.40	17.40

实验结果表明:在保证系统光功率的前提下,单纯的 OLP 介入对于系统近乎无影响。

3.3 切换时间测试

将系统进行两次主备间的切换,切换时间测试结果见表 4。由表 4 可以看出,40 Gbit/s 系统 OLP 切换时间较之 10 Gbit/s 系统的切换时间 50 ms 有

所增加,但是最长不超过 150 ms。

3.2 OLP 介入对系统影响的测试

在长、中、短波长段各选取一波进行测试,通过调节 ASE(放大自激辐射)功率,将各波长 FEC 误码率水平分别控制在 $10E-12$ 、 $10E-7$ 和 $10E-5$,分别对应实际系统中刚刚开通、系统性能良好和系统使用一段时间后 3 种情况建议的运行维护界限,此时系统有一定余量,建议将系统维持在这种即将出现误码的临界水平。在上述 3 种情况下测试 OLP 介入前后系统误码率的变化情况,测试结果见表 3。

所增加,但是最长不超过 150 ms。

表 4 切换时间测试结果

波长	切换时间/ms			
	主到备 1	备到主 1	主到备 2	备到主 2
C60	149.0	121.9	91.0	74.7
C41	123.7	99.0	86.9	129.0
C21	101.0	109.0	121.0	111.0

3.4 MTC 调节测试

MTC 可应用于 40 Gbit/s 传输系统,并对系统的全部波长进行补偿。当系统从主用线路切换至备用线路时,调节测试系统前置放大器收光功率不变,首先寻找各波长所对应的最佳色散补偿值,然后以此最佳色散补偿值为中心,使色散补偿值在某一范围内变化,记录此时各波长的误码性能,以判断不同色散补偿值对系统性能的影响。测试结果见表 5。由表 5 可以看出,选择不同的补偿量时,对系统性能

表 5 不同波长下 MTC 调节值对应的系统 FEC 误码率

波长	MTC 调节值/ps/nm					
	250	240	230	220	210	200
C21	1.29E-04	1.10E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.07E-04	1.10E-04
C41	6.70E-06	6.30E-06	5.80E-06	5.40E-06	5.00E-06	5.00E-06
C60	5.70E-05	3.50E-05	3.30E-05	3.10E-05	2.50E-05	2.70E-05

(下转第 38 页)

种类型 PCF 时应充分考虑纤芯半径 R 的作用。

参考文献:

- [1] Kunimasa Saitoh, Masanori Koshiba. Numerical modeling of photonic crystal fibers [J]. Journal of Light-wave Technology, 2005, 23(11): 3580-3590.
- [2] 汤炳书, 沈廷根, 王刚. PBG-PCF 基模全矢量平面波多极方法联合数值研究 [J]. 计算物理, 2010, 27(2): 287-292.
- [3] White T P, Kuhlmeier B T, Mchphedran R C, et al. Multipole method for micro-structured optical fibers. I. Formulation [J]. J Opt Soc Am B, 2002, 19(10):

2322-2330.

- [4] Kuhlmeier B T, White T P, Renversez G, et al. Multipole method for microstructured optical fibers. II. Implementation and results [J]. J Opt Soc Am B, 2002, 19(10): 2331-2340.
- [5] 姜跃进, 施伟华, 李培丽, 等. 新型 THz 波超平坦色散光子晶体光纤 [J]. 物理学报, 2010, 59(8): 5559-5563.
- [6] 付晓霞, 陈明阳. 用于太赫兹波传输的低损耗、高双折射光纤研究 [J]. 物理学报, 2011, 60(7): 07422-1-07422-7.

(上接第 11 页)

的影响有差异, 这是由色散斜率引起的。在实际应用中, 选择合适的补偿量可以保证系统从主用线路切换至备用线路后, 性能变化很小。

4 案例分析

结合实际情况, 在某运营商的系统上进行实验局开通, 下面基于该段落对 OLP 方案进行整体分析。该系统采用 eDQPSK+FEC 编码方式, 系统的 OSNR 容限为 13 dB, DGD(差分群时延)容限为 6 ps/nm(1 dB 功率代价), 系统自身色散补偿调节范围为 ± 700 ps/nm。

(1) PMD 问题。在工程实施前对系统的 PMD 指标进行了测试, 1 550 nm 波长下测试结果如下: PMD 延时为 0.05 ps, PMD 系数为 2.5 ps/km。

(2) 光功率问题。系统接收端配置有电可调光衰减器, OLP 器介入后可通过调节系统可变光衰消除 OLP 介入后引入的插入损耗。备用线路光缆衰减大于主用线路, 并且因为引入了 DCM, 故增加一台增益为 14 dB 的 EDFA 进行光功率补偿。

(3) 色散补偿问题。主用线路为 47.5 km 的 G.655 光缆, 备用线路为 51.6 km 的 G.652 光缆, 实验分别采用了理论计算的 42 km DCF 和设置为 -700 ps 的 MTC 进行色散补偿。当备用线路的 MTC 调节值为 700 ps 时, 备用线路的残余色散与主用线路最大差值仅为 -11.6 ps。

采用 DCF 进行色散补偿后, 系统在长、短波长上均有一定的色散偏移, 但是偏移量 < 60 ps/nm, 预计对系统影响较小。

采用 MTDCM 进行色散补偿时, 理论计算结果表明系统各波长均得到了较好的补偿, 预计对系统性能没有影响。

(4) 实验结果。我们对以上两种补偿方式均进行了实验, 实验结果与理论计算结果基本相符, 根据系统的实际情况, 系统业务恢复时间可在 50 ms 之内。

5 结束语

OLP 是 40 Gbit/s 系统保护的最佳选择。针对 40 Gbit/s 系统保护所面临的问题, 采用不同的色散补偿方案及光功率补偿方案组成完整的 OLP 解决方案, 可以对不同线路情况的系统进行保护。实验室及现场验证均证实了上述结论。

参考文献:

- [1] 涂昌伟. 单模光纤色散及测试 [J]. 光通信, 2004, (1): 42-45.
- [2] 陈浩祺. 40 G DWDM 系统的关键技术 [J]. 光通信技术, 2011, 35(3): 22-24.
- [3] 赵康. 40 Gb/s 传输的几种主流调制码型应用浅析 [J]. 科技资讯, 2012, (1): 25-25.