

2.5Gbit/s 偏振模色散自动补偿试验系统^①

李朝阳^② 郑 远 李春云 杨伯君 张晓光

(北京邮电大学理学院 北京 100876)

摘 要 从理论上分析了光补偿法实现偏振模色散(PMD)自动补偿的原理,建立了 2.5Gbit/s 自适应偏振模色散补偿试验系统。实验结果表明,该系统能自动完成偏振模色散的补偿。

关键词 光纤通信,偏振模色散(PMD),PMD 补偿

0 引言

随着高速、大容量光纤通信系统的迅速发展,偏振模色散已成为实现未来超高速光纤通信系统的主要障碍之一。原因是偏振模色散在高速光纤通信系统中,一方面由于产生模式耦合引起附加损耗,降低信噪比,另一方面引起脉冲展宽,增加误码率,从而限制了通信容量的进一步提高。一般认为最大 PMD 许可值(定义为长期 DGD 平均值)应当小于 bit 周期的 $1/10^{[1]}$ 。否则,PMD 引起的脉冲展宽将使误码率严重增高,必须对 PMD 进行补偿,而且,由于 PMD 的统计性,这种补偿应该是自适应的。对 2.5Gbit/s 系统(STM-16/OC-48),由于较早铺设的光纤,偏振模色散系数可达 $2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}^{[2]}$,在我国这样幅员辽阔的国家,若传输 2500km,平均群时延差(DGD)即可达 100ps 以上,超过了 1bit 周期的 $1/4$,而且,在这种高 PMD 光纤中,瞬时 DGD 随时间而波动,有时可达平均值的 3 倍以上,几乎足以使眼图闭合。在我国已建立的 2.5Gbit/s 光通信系统中,已发现 PMD 造成的系统损伤超过了规定值。所以即使 2.5Gbit/s 系统也需要进行 PMD 补偿。一阶 PMD 是由两偏振主态(PSPs)之间的群时延差引起的,



相对高阶 PMD 而言,是引起脉冲失真的最严重的因素。对一阶偏振模色散的补偿,现在已有大量相关的报道,可分为电均衡器法和全光补偿器法。虽然电均衡器法可以同时补偿色度色散和 PMD,但不

能完全消除一阶 PMD 引起的系统损伤^[3],而全光补偿法则可完全消除一阶 PMD 的影响,至少在光的窄带范围内。另外,全光补偿技术独立于光接收机工作,因此适用于各种工作速率和传输格式。所以在此实验中,我们采用全光补偿法进行偏振模色散补偿。

1 实验原理

图 1 是 2.5Gbit/s 偏振模色散自动补偿原理图。模拟器包括偏振控制器 1[#]和可变延时组成,后者通过用不同 DGD 值的保偏光纤(PMF)来实现。在模拟器中,偏振分束器将信号光分解成正交偏振的两路,然后对其中一路时延 $\Delta\tau$,再经偏振分束器合成进光纤中,从而产生 DGD 可变的一阶 PMD。补偿器由偏振控制器 2[#]和保偏光纤组成。调节偏振控制器 2[#],可将模拟器的偏振主态 PSPs 中的快轴耦合进补偿器的偏振主态 PSPs 中的慢轴,反之亦然。这样,如果模拟器中的 $\text{DGD}\Delta\tau_c$ 和补偿器中的 $\Delta\tau_c$ 恰好相等,那么接收端的信号将能消除一阶 PMD 引起的脉冲失真。如果不相等,假设模拟器和补偿器的 PSPs 的快轴的 Stokes 矢量夹角为 θ ,那么接收信号将受残余一阶 PMD 的影响,其 DGD 大小为^[4]:

$$\Delta\tau_{\text{total}} = \sqrt{(\Delta\tau_c)^2 + (\Delta\tau_e)^2 + 2\Delta\tau_c\Delta\tau_e\cos 2\theta}$$

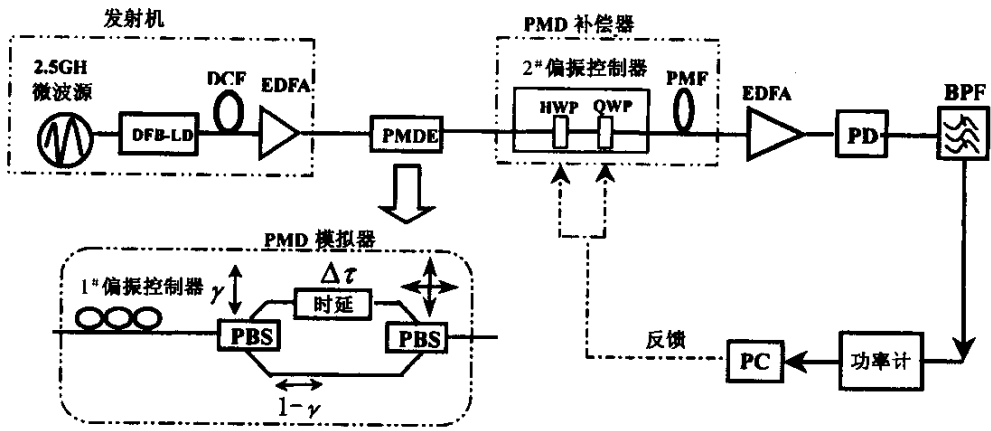
通过调节偏振控制器 2[#],使 $\Delta\tau_{\text{total}}$ 最小,也就等价于将 PMD 致脉冲失真减小到最小^[5]。

① 863 计划(2001AA120204),国家自然科学基金(60072042)和教育部博士点基金资助项目。

② 男,1967 生,博士生,工程师;研究方向:光纤通信。联系人。

(收稿日期:2002-06-24)

万方数据



PC :计算机 ;DCF :色散补偿光纤 ;EDFA :掺铒光纤放大器 ;DFB-LD :分布反馈式激光器 ;PMDE :PMD 模拟器 ;PD :光探测器 ;BPF :窄带滤波器 ;PBS :偏振分束器 ;PMF :双折射光纤。

图 1 2.5Gb/s 自适应偏振模色散补偿试验系统

在图 1 中 ,2.5GHz 微波源内调制于 DFB-LD ,产生的光脉冲在经 DCF 消啁啾并压缩后得到的初始脉冲为 sech 型 ,半宽度为 $\tau_0 = 42\text{ps}$ 。PMD 模拟器(PMDE)所产生一阶 PMD 引起的波形失真可用两个参数定量表示 :群时延差 $\Delta\tau$ 和两偏振主态之间的功分比 γ 。其中 ,群时延差 $\Delta\tau$ 由一整段 PMF (1.3ps/m)构成 ,其 PMD 值由 Sagnac 干涉法^[6]测得。两偏振主态之间的功分比 γ 可由偏振控制器 1#来改变。实验中采用了多段 PMF ,DGD 值为 20 ~ 50ps。

我们在接收信号中提取 5GHz 基带频率成分作为频域控制信号。图 1 中的高速光探测器 PD(带宽 15GHz)用来监视 PMD 致脉冲失真情况 ,并作为光补偿器的反馈信号来控制 2#偏振控制器。假设整个传输线上(包括 PMDE 和 PMDC)的总的 DGD 为 $\Delta\tau_{total}$,两个正交偏振主态的功分比为 γ ,光探测器的响应度为 R ,初始光脉冲表示为 $f(t)$,则输出脉冲可表示为 :

$$f_{out} = R[\gamma f(t) + (1 - \gamma)f(t + \Delta\tau_{total})]$$

作 Fourier 变换可得 :

$$\tilde{f}_{out} = R[\gamma \tilde{f}(\omega) + (1 - \gamma)\tilde{f}(\omega) * \exp(j\omega\Delta\tau_{total})]$$

从而可得功率谱密度 :

$$|\tilde{f}_{out}|^2 = R^2 |\tilde{f}(\omega)|^2 [1 - 4\gamma(1 - \gamma) \sin^2 \frac{\omega\Delta\tau_{total}}{2}]$$

于是可得 :

$$|\tilde{f}_{out}|^2 \propto [1 - 4\gamma(1 - \gamma) \sin^2 \frac{\omega\Delta\tau_{total}}{2}]$$

由上式可知 ,一定频率点上输出信号的电功率确实是分光比及 DGD 的函数 ,也就是 PMD 的函数。监测输出电功率的变化 ,等价于监测 PMD 的变化。

我们采用了中心频率为 5GHz ,带宽为 50MHz 的 5 阶切比雪夫窄带滤波器来从接收端提取 5GHz 的频率信号。用数字电功率计(GX2C 型)进行功率测量 ,再进入单片机进行 A/D 转换及采样。采用最大值搜索法^[7]作为反馈算法 ,输出反馈信号控制步进电机 ,以改变 2#偏振控制器的 $\lambda/4$, $\lambda/2$ 波片的旋转角度 ,达到使 PMD 补偿器的 PSP 快轴同 PMD 模拟器的 PSP 慢轴相耦合的最佳补偿效果 ,从而使 5GHz 附近功率谱密度最大化。这等价于使接收数据流眼张开度最大化 ,或者脉冲失真最小化。

2 实验结果及讨论

图 2 给出了电功率强度和分光比及 DGD 的关系 ,图中连线为理论值 ,带符号的为实验测得。由图 2(a)可知 ,随着 DGD 的增加 ,电功率是减少的。在最坏情况下 , $\gamma = 0.5$,此时电功率对 DGD 的变化是最灵敏的。在实验我们发现 ,由于从滤波器中出来的信号较微弱 ,加上电功率计在功率很小的情况下 ,存在功率漂移现象 ,经采样后 ,如果分光比较小 ,

那么反馈信号不能以高的分辨率来反映 DGD 的变化。理论上也证明了这一点。从图 2(b)可看出, DGD 值较小,调节偏振控制器来改变分光比时,电功率强度几乎不变。DGD 较大时,调节偏振控制

器,电功率强度变化较大,在 $DGD = 100\text{ps}$, $\gamma = 0.5$ 时达到最低点。总之,采用电功率做反馈信号, DGD 的大小和分光比对反馈灵敏度有重要影响。

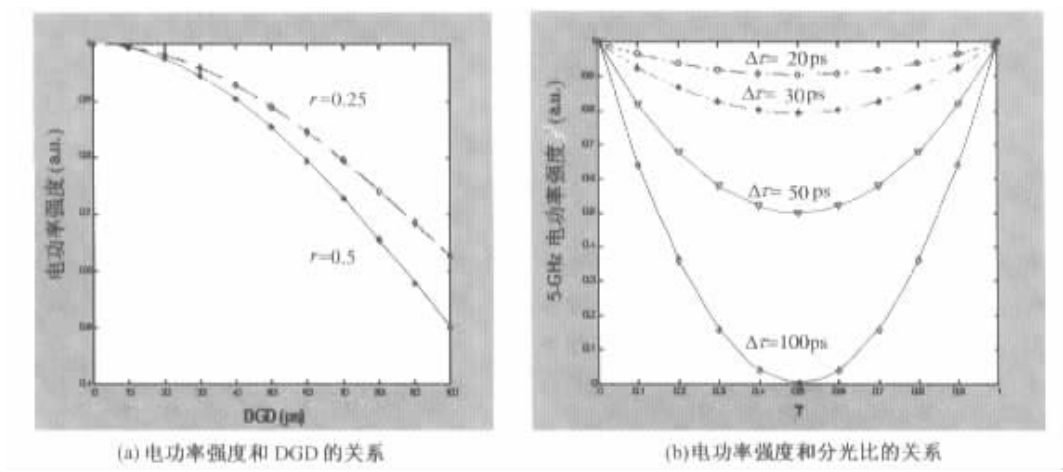


图 2 电功率强度和分光比及 DGD 的关系

为了检查信号功率如何随偏振控制器 2# 而改变,我们设定模拟器的 DGD 为 50ps ,补偿器也设为相应的值。为了使监测信号对 DGD 的变化灵敏度最大,我们小心调整偏振控制器 1# 使其输出偏振态沿两偏振主态均分,此时分光比为 0.5。对偏振控制器 2#(两个自由度)在 Poincaré 球上各种可能的位置进行扫描(步长 5°),分别记录对应电功率值,

得到图 3。我们发现,最大峰总是在脉冲形状失真最小时周期性地出现。扫描完后,利用 PC 的控制使半波片(HWP)和 $1/4$ 波片(QWP)两波片交替小幅移动(步长为 1°),以跟踪峰值点的移动,这样即使由于偏振态的改变(例如改变偏振控制器 1# 的偏振态),系统也总能保持最优补偿效果。

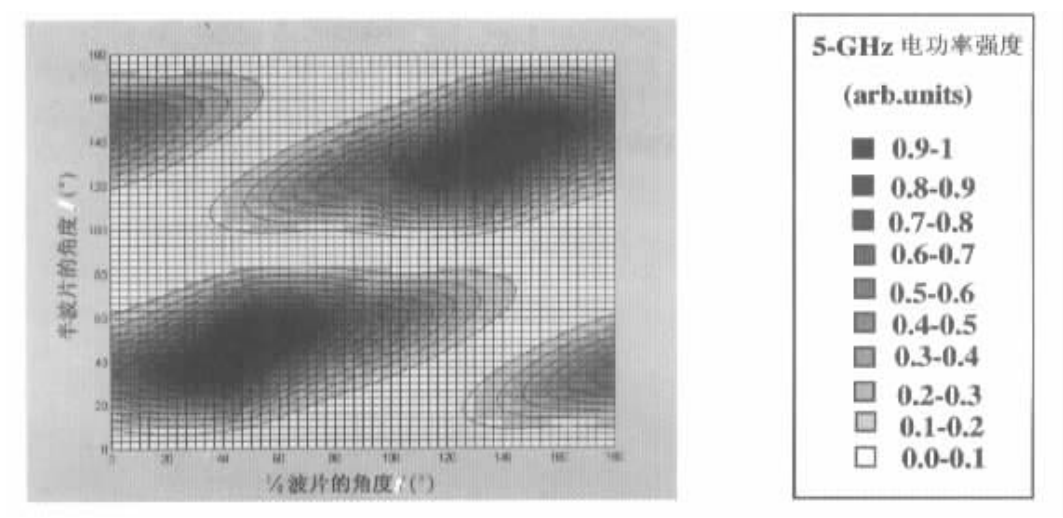


图 3 信号功率和偏振控制器波片角度的关系($\Delta\tau_c = 50\text{ps}$, $\Delta\tau_e = 50\text{ps}$)

图 4 显示了在不同 DGD 时,在补偿和不补偿两种情况下的脉冲波形。由图 4 可见,在补偿完后,所

有波形几乎都恢复为初始波形。

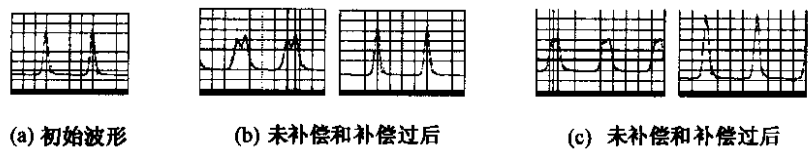


图 4 初始波形 a) 较大 DGD 情形 $\Delta\tau_e = 50\text{ps}$ $\Delta\tau_c = 50\text{ps}$ b) 和较小 DGD 情形 $\Delta\tau_e = 30\text{ps}$ $\Delta\tau_c = 20\text{ps}$ c)

3 结 论

从理论上分析了光补偿法实现 PMD 自动补偿的原理,建立了 2.5Gbit/s 自适应偏振模色散补偿试验系统,首次在国内成功进行了 2.5Gbit/s 偏振模色散自动补偿。实验结果表明,全光补偿方法是一种较有效的偏振模色散补偿方法。下一步工作我们将进行 10Gbit/s 和 40Gbit/s 偏振模色散自适应补偿实验。

参考文献

[1] Poole C D , Nagel J. Optical Fiber Telecommunications. 1997.114 ~ 161
[2] Deventer M O V , et al. Improvement of polarization mode dispersion tolerance in high bit-rate systems. In :Proc ECOC'93 ,1993.473
[3] Winters J H , Santoro M A. *Photon Technol Lett* ,1990 2 (8) 591
[4] Curti F , et al. *J Lightwave Technol* ,1990 8 (8) :1162
[5] Takahashi T , et al. *Electron Lett* ,1994 30 348
[6] Li C Zheng Y ,Yang B , et al. Polarization mode dispersion measurement and compensation. In : APOC2001 ,2001.216
[7] Heismann F. *J Lightwave Technol* ,1994 12 3690

Automatic Polarization-mode Dispersion Compensation
in 2.5Gbit/s Transmission

Li Chaoyang , Zheng Yuan , Li Chunyun , Yang Bojun , Zhang Xiaoguang
(School of Science , Beijing University of Posts and Telecommunications , Beijing 100876)

Abstract

The principle of the method of all-optical compensator is introduced. A 2.5Gbit/s adaptive transmission system with automatic PMD compensation is demonstrated. The results indicate that the experimental system can compensate PMD successfully.

Key words : Optical communication , PMD , PMD-compensation.