

偏振复用孤子测量差分群时延

刘秀敏^{1,2}, 李朝阳¹, 李荣华¹, 杨伯君¹, 张晓光¹

(1. 北京邮电大学 理学院, 北京 100876; 2. 北京邮电大学 电子工程学院, 北京 100876)

摘 要: 介绍了通过偏振复用孤子测量偏振模色散的基本原理, 并且在实验上实现了对保偏光纤的测量, 测量结果与通过数值计算得到的保偏光纤的差分群时延符合得很好。在此基础上, 对色散位移光纤进行了测量。在目前偏振模色散测量仪器价格昂贵的情况下, 此方法具有很高的实用价值。

关键词: 偏振复用孤子; 偏振模色散; 保偏光纤; 差分群时延; 色散位移光纤

中图分类号: O436.3 **文献标识码:** A

Measurement of Differential Group Delay with Polarization Multiplexed Solitons

LIU Xiu-min^{1,2}, LI Chao-yang¹, LI Rong-hua¹, YANG Bo-jun¹, ZHANG Xiao-guang¹

(1. School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: The measurement principle of polarization mode dispersion using polarization multiplexed solitons is introduced. And measurement of polarization-maintained fibers is carried out experimentally, which is in a good agreement with the result obtained by numerical calculation. Furthermore, differential group delay of the dispersion-shifted fibers is measured using this method. As commonly used measuring tools are very expensive, it is of great value to use this method.

Key words: polarization multiplexed solitons; polarization mode dispersion; polarization maintained fiber; differential group delay; dispersion-shifted fiber

1 引言

偏振模色散(PMD)是由光纤在制造及外部环境变化等各种微扰因素所造成的脉冲两个正交偏振方向传输群速度不同产生差分群时延(DGD)而使脉冲展宽。由于各类微扰对外界条件的变化非常敏感, 导致偏振模色散随外界的压力、温度等各种条件的变化而随机变化, 这是偏振模色散与波长色散的最大差别。正因为偏振模色散的统计特性, 使得偏振模色散测量成为研究偏振模色散的基础。

国外制造的单模光纤偏振模色散测试仪器非常昂贵, 如何在现有条件下找到简单、准确的测量方法成为国内研究的一个主要方向。偏振模色散的测量方法各异, 世界各地的实验室也有大量的相关报道^[13], 但所有的这些方法都可以归结为两种, 一是时域法, 二是频域法。而且这些方法都是寻找测量两个偏振主态之间的 DGD, 然后根据 DGD 和偏振模色散系数之间的关系计算出来。时域法中有脉冲延迟法、干涉法等。频域法中有邦加球法、琼斯矩阵法、固定分析仪法(也称光谱分析法)等。

在各种测量方法中, 国内只对固定分析仪法做了一些报道^[46], 主要原因是此种方法具有对器件要求不高、结构简单, 国内一些实验室的现有条件就能

收稿日期: 2001-02-12.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60072042); 教育部博士点基金资助项目。

万方数据

实现的优点。本文报道了一种新的测量方法:偏振复用孤子法。通过理论计算和实验测量,两者的结果相吻合,说明此方法的可行性,并且此方法简单、快速、准确,具有很高的实用价值。下面我们从理论及实验两方面对偏振复用孤子法进行研究。

2 理论分析

偏振复用孤子是由贝尔实验室的 S. G. Evangelides 等人^[7]于 1992 年提出的。偏振复用孤子与过去的孤子传输方式存在很大的区别,过去所说的孤子是认为所有的孤子脉冲都沿一个偏振方向,而偏振复用孤子是相邻脉冲沿正交偏振方向入射进入光纤,如图 1 所示。自从 1992 年至今世界各地的实验室对偏振复用孤子进行了大量的研究^[79],从理论和实验研究结果发现,与普通的孤子相比,偏振复用孤子能够有效地降低孤子间的相互作用,增大系统传输距离,并且通过偏振复用的方式使系统传输的比特率增加一倍。利用偏振复用孤子对偏振模进行测量,一方面是利用孤子所具有的其他普通的码型所没有的优点,另一方面是利用偏振复用孤子与偏振方向有关的特点。我们知道孤子在长距离传输系统中,与其他线性脉冲相比,具有能够保持更高偏振度的特性。另外,孤子是利用克尔效应与波长色散的相互作用,所以孤子能够有效抑制波长色散所造成的脉冲展宽,并且与线性脉冲相比,孤子能够更准确地测量脉冲之间间隔的变化量。

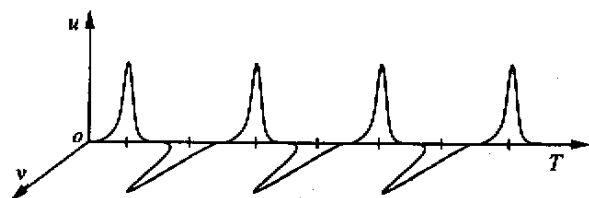


图 1 偏振复用孤子的基本原理图

Fig.1 Schematic illustration of polarization multiplexed solitons

过去的研究表明,偏振模色散所造成的时延差是指沿偏振主态方向入射的脉冲,在光纤的输出端沿两个偏振方向出现的时延^[10]。又因为偏振复用孤子的相邻脉冲之间的偏振方向是正交的,那么如果通过调节入射脉冲的偏振方向,使得前一个的脉冲与传输速度快的偏振主态 u 的方向重合,那么后一个脉冲的偏振方向必然与 u 相垂直的传输速度慢的偏振主态 v 的方向重合。又因为孤子不会造成脉冲的展宽,并且沿偏振主态方向入射的脉冲不会造成每个脉冲的展宽。所以,这完全克服了这些因素

孤子最大值肯定是由偏振模色散造成的,即

$$T_{\max} = T_{\text{in}} + T_D \quad (1)$$

式中, T_{\max} 为脉冲的最大间隔, T_{in} 为脉冲的最小间隔, T_D 为差分群时延。如果测量入射脉冲的宽度及输出脉冲的最大间隔,则通过计算可以得到偏振模色散所造成的 T_D 。

调节入射脉冲的偏振方向,使得与前面所说的入射进入光纤的方向成垂直角度,那么前一个脉冲的偏振方向与传输速度慢的 v 重合,后一个脉冲的偏振方向与传输速度快的偏振主态 u 的方向重合,这样必然造成相邻孤子之间的间隔达到最小,即

$$T_{\min} = T_{\text{in}} - T_D \quad (2)$$

如果测量入射脉冲的宽度及输出脉冲的最小间隔,则同样可以得到 T_D 。合并式(1)和(2),即

$$T_D = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \quad (3)$$

由式(3)可知,只要测量最大的脉冲间隔和最小间隔就可以得到 T_D ,而无须知道入射脉冲的间隔。另外,每次测量得到的 T_D 都是基于两次读数,能够提高测量结果的准确性。

对于测量 T_D 的偏振复用孤子技术类似于光脉冲技术。光脉冲技术是光脉冲以与偏振主态成 45° 角入射进入光纤,在光纤的输出端被分成两个脉冲,通过测量两个脉冲之间的间隔来获得 T_D ,但是光脉冲只有在脉宽相当窄(即频谱很宽), T_D 比较大的情况下才是相对准确的,而且在实验上它只是对 T_D 很大的保偏光纤有效。另一方面,偏振复用孤子技术不但对于较宽的脉冲有效,而且对于保偏光纤和非保偏光纤都有效。不仅如此,与测量 T_D 的其他方法相比,偏振复用孤子测量技术提供了一种快速、简单的方法。下面我们利用式(3)的方式对光纤的偏振模色散进行测量。

3 实验

利用偏振复用测量偏振模色散的实验装置图如图 2。

2.5·G 孤子源的偏振方向是相同的,要想产生偏振复用孤子,则首先必须产生与此偏振方向垂直的孤子,并通过时分复用而得到。本实验室自行研制了偏振复用器 2.5·G 的孤子源经偏振复用器后产生 5·G 的偏振复用孤子,然后通过调节偏振控制器来改变入射脉冲的偏振方向,使得脉冲的间隔最大,也就是实现了前一脉冲沿速度快的偏振方向,后一脉冲沿速度慢的偏振方向。再调节偏振控制器使得脉冲的间隔最小,也就是实现了前一脉冲沿速

度慢的偏振方向 ,后一脉冲沿速度快的偏振方向。本实验室的普通单模光纤和色散位移光纤购于 90 年代初 ,并没有给出偏振模色散的数据。为此我们采用先测量有相关数据的保偏光纤 ,通过厂家给出的数据计算出 T_D ,并且与实验结果进行对比来验证实验结果的正确性。

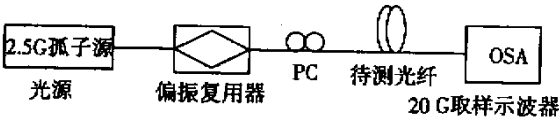


图 2 实验装置图
Fig.2 Experimental setup

本实验室的保偏光纤在 $1.31\cdots\mu\text{m}$ 处测得拍长 L_B 为 $3.3\cdots\text{mm}$ 。根据 $L_B = \frac{\lambda}{\Delta n_{\text{eff}}}$ 得出 $\Delta\tau = \frac{\Delta n_{\text{eff}}}{c} z = \frac{1.31 \times 10}{3.3 \times 3} 14.2 = 18.79\cdots\text{ps}$ (本光纤长度为 $14.2\cdots\text{m}$)。通过偏振复用孤子测量结果如图 3 和 4 所示。

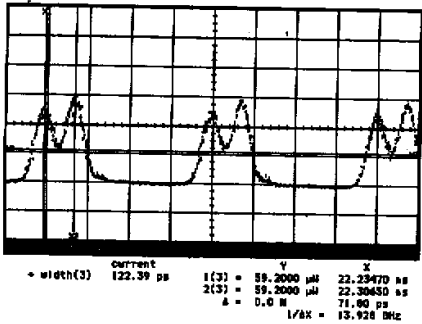


图 3 在保偏光纤中脉冲间隔最大时的眼图
Fig.3 Eye diagram when the interval between the waves is the largest in polarization-maintained fibers

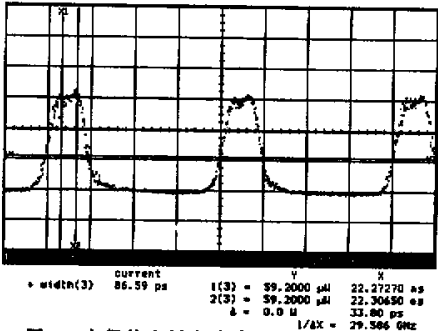


图 4 在保偏光纤中脉冲间隔最小时的眼图
Fig.4 Eye diagram when the interval between the waves is the smallest in polarization-maintained fibers

从图中可知 ,相邻脉冲间隔最宽时为 $71.8\cdots\text{ps}$,最窄时是 $33.8\cdots\text{ps}$ 。通过计算得到 T_D 为

$$T_D/\text{ns} = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2} = \frac{71.8 - 33.8}{2} = 19 \quad (4)$$

相对误差为 0.01% ,在误差允许值之内 ,这说明实验结果与计算结果符合得很好。

在此基础上 ,测量了本实验室的三段色散位移光纤 ,光纤的总长度为 $28.9\cdots\text{km}$ 。实验结果如图 5 和图 6 所示。

由图 5 可知 ,相邻脉冲间隔最宽时为 $67.1\cdots\text{ps}$,最窄时是 $62.1\cdots\text{ps}$ 。通过计算得到色散位移光纤的 T_D 为

$$T_D/\text{ps} = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2} = \frac{67.1 - 62.1}{2} = 2.5 \quad (5)$$

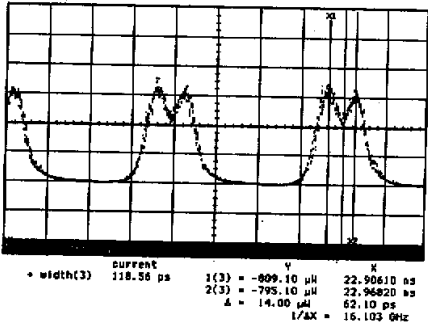


图 5 在色散位移光纤中脉冲间隔最大时的眼图
Fig.5 Eye diagram when the interval between the waves is the largest in dispersion-shifted fibers

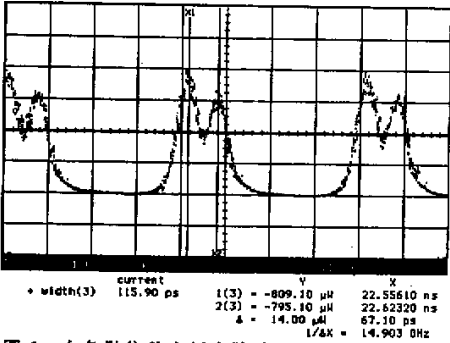


图 6 在色散位移光纤中脉冲间隔最小时的眼图
Fig.6 Eye diagram when the interval between the waves is the smallest in dispersion-shifted fibers

4 结论

本文介绍了一种测量偏振模色散的偏振复用孤子新方法。介绍了偏振复用孤子测量偏振模色散的基本原理 ,并且在实验上实现了对保偏光纤的测量 ,测量结果与通过数值计算得到的保偏光纤的差分群时延符合得很好。在此基础上 ,对色散位移光纤进行了测量。

参考文献 :

- [1] Galtarossa A , Schiano S , Someda C G , et al . Two different methods for measuring polarization mode dispersion in single mode fibres[J]. Electron. Lett. , 1991 , 27 : 292 - 293 .
- [2] Gisin N , Pellaus J P . Polarization mode dispersion : Time versus frequency domain[J]. Opt. Commun. , 1992 , 89 : 316 - 323 .
- [3] Gisin N , Passy R , Von der Weid J P . Definitions and measurements of polarization mode dispersion : Interferometric versus fixed analyzer methods[J]. IEEE Photon. Technol. Lett. , 1994 , 6 : 730 - 732 .
- [4] 邹林森 , 雷 非 . 用光谱分析法测量单模光纤的偏振模色散[J]. 通信学报 , 1999 , 20 : 75 - 78 .
- [5] 雷 非 . 光纤偏振模色散测试仪[J]. 光通信研究 , 1999 , 94 : 38 - 40 .
- [6] 龚岩栋 , 关雅莉 , 简水生 . 光纤偏振模色散的测量[J]. 光学学报 , 1997 , 17 : 731 - 736 .
- [7] Evangelides S G , Mollenauer L F , Gordon J P , et al . Polarization multiplexing with soliton[J]. J. Lightwave Technol. , 1992 , 10 (1) : 28 - 35 .
- [8] Eleftherianos C A , Syvridis D , Sphicopoulos T , et al . Influence of polarization mode dispersion on the transmission of parallel and orthogonally polarised solitons at 40 Gb/s [J]. Opt. Commun. , 1998 , 154 : 14 - 18 .
- [9] Zhang X , Karlsson M , Andrekson P A , et al . Polarization-division multiplexed solitons in optical fibers with polarization-mode dispersion[J]. IEEE Photon. Technol. Lett. , 1998 , 10 : 1742 - 1744 .
- [10] Poole C D , Wagner R E . Phenomenological approach to polarization dispersion in long single-mode fibers[J]. Electron. Lett. , 1986 , 22 (19) : 1029 - 1030 .

作者简介：

刘秀敏(1971 -) , 女 , 1995 年毕业于内蒙古大学获硕士学位 , 1998 年毕业于北京邮电大学获博士学位 , 现在美国 AT&T 实验室工作 , 主要从事光纤通信系统中偏振模色散的研究。

E-mail : liuxiumin@263.net

·新书征订·

《纤维光学技术在军事中的应用》

该书由重庆光电技术研究所研究员杨家德等人编著 , 中国科学技术文献出版社出版。本书是纤维光学技术在军事中应用的专著 , 全书共分 10 章 46 节 , 共约 36 万字。该书涉及纤维光学技术在各种军事装备和武器系统的信号传输、信号传感和信号处理中的应用。本书在内容上力求全面反映纤维光学技术在陆军战术通信、机载通信、舰载通信、武器制导、惯性导航、反潜探测、雷达和电子战、卫星、核试验以及智能飞行器中的应用现状、未来发展以及相关技术。

本书对国内从事军用光电子技术的研究、开发和应用是一本较好的参考资料 , 对拓宽科研人员、大专院校学生、教师的思路也有重要的参考价值。本书为大 16 开 , 正文 224 页 , 定价 20 元/册 (含邮费)。

《集成光学技术及其应用》

由重庆光电技术研究所研究员杨家德编著 , 中国科学技术文献出版社出版发行的《集成光学技术及其应用》一书 , 已正式出版。

该书从工程技术角度介绍集成光的现状、发展及其在相关领域中的应用。本书系统介绍玻璃基、LiNbO₃ 基、Ⅲ - V 族化合物基、Si 基、聚合物基集成光学技术 , 包括器件设计、制作、集成等实用技术。同时 , 本书还详细介绍集成光学技术在优化光电器件、光通信、空间遥感、相控阵天线、光纤陀螺、视频分析仪、激光多普勒速度仪及仪器制造等领域中的应用。

本书内容充实 , 具有工程实用价值 , 是从事光电子技术研究、开发 and 应用的较好参考书。本书为大 32 开 , 32 万字 , 387 页 , 精装本 , 每册定价 50 元 (含邮费)。

欲订者请从邮局汇款至《半导体光电》编辑部 , 地址 : 重庆市南坪花园路 14 号 44 所内 , 邮编 : 400060 , 或从银行汇款至工商银行重庆南坪分理处 (帐户名 : 信息产业部电子第 44 所 , 帐号 : 271 - 08804039) 并注明购书款和书名。