

利用琼斯矩阵特征值法测量光纤的 PMD

毛兵成¹, 李朝阳², 赵荣华¹

(1. 北京邮电大学光通信中心, 北京 100876; 2. 北京邮电大学理学院, 北京 100876)

摘 要: 光纤的偏振模色散对高速光纤通信系统性能的影响越来越引起了人们的注意, 对它的测量是必须首先解决的课题. 琼斯矩阵特征值法是 ITU-T G. 650 建议的几种光纤 PMD (偏振模色散) 测量方案中的首选方案. 琼斯矩阵特征值法能给出光纤偏振模色散的全面信息, 并具有很高的测量精度和测量范围. 本文阐述了琼斯矩阵特征值法测量 PMD 的原理, 介绍了基于琼斯矩阵特征值法开发的 PMD 测量系统和测量试验. 该测量系统利用光功率计和步进电机控制的偏振片测量输出光的琼斯矢量, 代替了 G. 650 琼斯矩阵特征值法中所建议使用的偏振计, 降低了 PMD 测量系统的成本, 并实现了自动测量.

关键词: 偏振模色散; 测量; 琼斯矢量; 琼斯矩阵

中图分类号: TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 03-0441-03

Measurement of Polarization Mode Dispersion of Optic Fiber Using Jones Matrix Eigenanalysis

MAO Bing-cheng¹, LI Chao-yang², ZHAO Rong-hua¹

(1. Optic Telecommunication Center, Beijing University of Post & Telecomm, Beijing 100876, China;

2. Physical College of Beijing University of Post & Telecomm, Beijing 100876, China)

Abstract: The effect of PMD (Polarization Mode Dispersion) to high-speed optic communication system has drawn more and more attention nowadays, and the measurement of PMD is of much importance. ITU-T G. 650 Recommendation has recommended several approaches to measure PMD and the Jones Matrix Eigenanalysis Method is regarded as the chief one. Using Jones Matrix Eigenanalysis Method, we can get the most comprehensive information about optic fiber's PMD, and this method has very high precision and broad measurement range. The principle of Jones Matrix Eigenanalysis Method for measuring PMD is illustrated in this paper, and an automated measuring system based on it is introduced, with some experimental results. Instead of using a polarimeter recommended in G. 650, we use a polarizer controlled by a step-up motor to measure Jones optic Vector in this system, which is much cheaper.

Key words: PMD; measurement; Jones vector; Jones matrix

1 引言

单模光纤的偏振模^[1]色散 (PMD) 指光纤中两正交偏振模的传输群时延差, 由光纤的不圆度、边应力、扭曲等引起, 它将导致数字光通信系统中的脉冲展宽及模拟光通信系统中的信号失真. 随着对单模光纤带宽的需求增大, PMD 逐渐成为单模光纤不可忽视的一项参数. 在过去的十多年里, 许多种不同的测量 PMD 的方案被提出^[1~3], 国际电联 (ITU-T) 在其 1997 年新版的 G. 650 中, 增加了几种测量 PMD 的建议方案, 包括琼斯矩阵特征值法、固定分析法及干涉法等. 琼斯矩阵特征值法能给出光纤有关偏振模色散的全面的信息, 除了光纤的 PMD 外, 还有光纤的 PMD 矢量, 光脉冲的斯托克斯矢量, 光纤的传输矩阵等, 并可以分析 PMD 随着频率的变化情况. 琼斯矩阵特征值法也是以上几种方法中精度较高, 测量范围较宽的, 但是同时, 它也是测量时间较长的. 国内已经有介绍用其

中的一些方法测量光纤 PMD 的报道, 但是利用琼斯矩阵特征值法测量光纤的 PMD 的报道似乎还未见过. 鉴于琼斯矩阵特征值法测量光纤的 PMD 的许多优势和它在测量光纤 PMD 的诸种方法中具有重要的地位, 实际利用它测量光纤的 PMD 具有重要的意义. 在我们的测量中, 利用偏振片代替 G. 650 建议使用的较为昂贵的偏振仪, 因而比较容易实现测量.

2 测量原理

偏振模色散随时间、频率和温度的变化而变化, 并且这种变化表现出随机性. 测量光纤的偏振模色散只能测量其平均值, 测量某一时间、某一温度和某一频率下的偏振模色散是没有实际意义的. 测量对时间的平均值、对温度的平均值或者对频率的平均值是等价的. 琼斯矩阵特征值法是一种基于对频率 (也即基于波长) 的一种测量方案. 它测出一系列波长下的偏振模色散, 对其求平均, 而对偏振模色散的测量, 是通过间

接测量光纤的琼斯矩阵,利用偏振模色散与琼斯矩阵的特征值之间的关系,来获得偏振模色散的。

根据 G 650 建议,若相距 L 的两频率下的光纤的琼斯矩阵分别为 $T(\omega)$ 和 $T(\omega + \Delta\omega)$,其偏振模色散可以表示为^[1]:

$$\left(\frac{\Delta\omega}{2} \right) \left| \frac{\arg(T(\omega + \Delta\omega))}{T(\omega)} \right| \quad (1)$$

其中,函数 $\arg()$ 表示取相角, T_1, T_2 表示矩阵 $T(\omega + \Delta\omega)$ 和 $T(\omega)$ 的特征值。

测量偏振模色散必须先测得光纤的琼斯矩阵,测量一段光纤的琼斯矩阵,可以向其注入三束偏振方向分别沿 O_x 轴正向(0°), O_y 轴正向(90°)和 xO_y 平面上第一象限的角平分线(45°)的偏振光,测量其相应的输出光的琼斯矢量:

$$\begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{bmatrix}$$

则这段光纤的琼斯矩阵为^[3]:

$$T = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = J_4 \begin{bmatrix} K_1 & K_3 & K_2 \\ K_4 & & K_1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中

$$\begin{aligned} K_1 &= H_x / H_y \\ K_2 &= V_x / V_y \\ K_3 &= Q_x / Q_y \\ K_4 &= (K_3 - K_2) / (K_1 - K_3) \end{aligned}$$

在我们的实验中,利用步进电机控制的偏振片来测量输出光的琼斯矢量,假定输出偏振光的琼斯矢量为

$$\begin{bmatrix} H \\ K \exp(i) \end{bmatrix} \quad (3)$$

偏振片偏振轴在 $0^\circ, 90^\circ$ 和 45° 时,琼斯矩阵分别为^[4]:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, 1/2 \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

则经过偏振片后,在 $0^\circ, 90^\circ$ 和 45° 时,输出偏振光的琼斯矢量分别为:

$$\begin{bmatrix} H \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ i K \exp(i) \end{bmatrix}, 1/2 \begin{bmatrix} H + i K \exp(i) \\ H + i K \exp(i) \end{bmatrix}$$

到达光功率计后,显示的功率分别为:

$$I_1 = \begin{bmatrix} H & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ 0 \end{bmatrix} = H^2$$

$$I_2 = \begin{bmatrix} 0 & -i K \exp(-i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ i K \exp(i) \end{bmatrix} = K^2$$

$$\begin{aligned} I_3 &= 1/4 \begin{bmatrix} H - i K \exp(-i) & H - i K \exp(-i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H + i K \exp(i) \\ H + i K \exp(i) \end{bmatrix} \\ &= 1/2 (H^2 - 2HK \sin + K^2) \end{aligned}$$

于是可得到:

$$H = \sqrt{I_1} \quad (4)$$

$$K = \sqrt{I_2} \quad (5)$$

$$\phi = -\arcsin(2I_3 - I_1 - I_2) / (2\sqrt{I_1 I_2}) \quad (6)$$

利用式(4)~(6)带入式(3)即可得到输出光的琼斯矢量。

3 实验

实验框图如下:

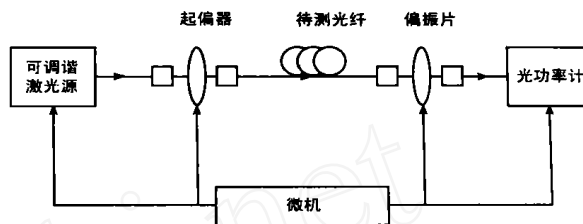


图1 琼斯矩阵法 PMD 测量系统框图

可调谐激光源采用 TUNICS 1500,波长可调谐范围为 1500 ~ 1570nm,线宽(FWHM)为 100Hz,可以通过串口控制。光从激光源经过准直器,起偏器进入待测光纤。光功率计通过 GPIB 并口控制,起偏器和偏振片都通过步进电机程控。

测量过程如下:在一定的波长范围内,以一定的步长,测量一系列波长下的光纤的琼斯矩阵,测量每一波长下的琼斯矩阵的方法是:调节起偏器,使其偏振方向依次为 $0^\circ, 90^\circ$ 和 45° ,在每一方向下,按照以下步骤测量光纤输出光的琼斯矢量:

- (1) 调节偏振片,使偏振片的偏振方向为 0° ,测得输出光强 I_1
- (2) 调节偏振片,使偏振片的偏振方向为 90° ,测得输出光强 I_2
- (3) 调节偏振片,使偏振片的偏振方向为 45° ,测得输出光强 I_3

由 I_1, I_2 和 I_3 利用式(4)、(5)、(6)计算各个方向下的琼斯矢量,并进一步利用式(2)获得一系列波长下光纤的琼斯矩阵,进而由这一系列的琼斯矩阵利用式(1)计算得到一系列的差分群时延,对其求平均值,作为测得的偏振模色散。

也可以重复以上过程,对测得的多个结果取平均。

以上控制及计算过程通过计算机程序实现。

4 实验结果

下面是对一段长 25 Km 的样本光纤的测量情况。

测量三次,每次均是取 1530 ~ 1560nm 段,步进 2nm,第一次只测一遍,第二、三次各重复测两次,测量结果如下:

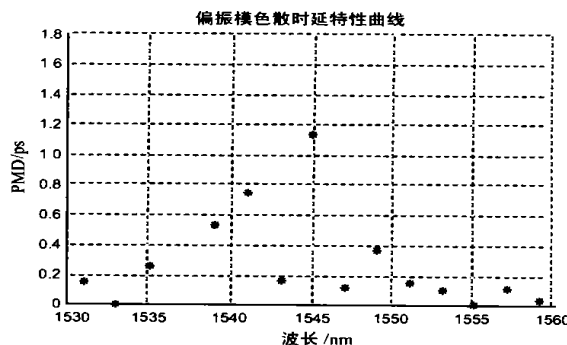


图2 PMD 测量结果之一

第一次 : 平均值 $PMD = 0.377ps$
第二次 : 平均值 $PMD = 0.383ps$

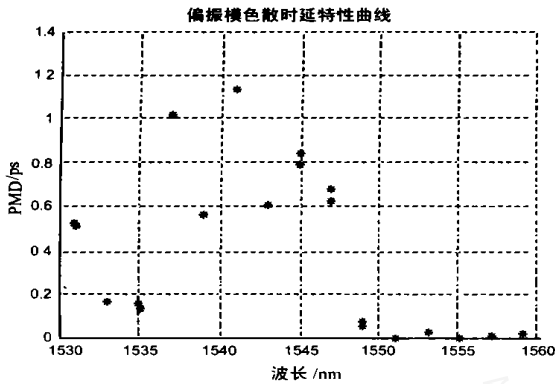


图 3 PMD 测量结果之二

第三次 : 平均值 $PMD = 0.430ps$

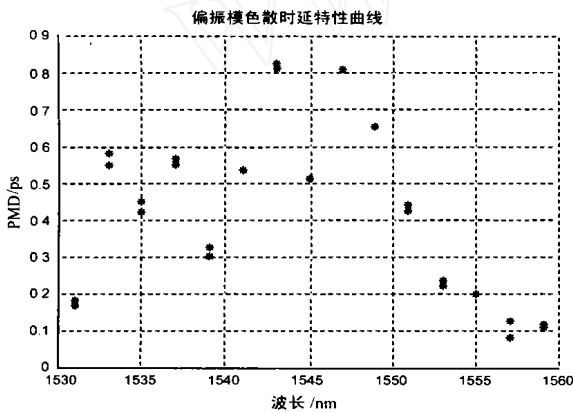


图 4 PMD 测量结果之三

对三次测量结果取平均, 得 $PMD = 0.397ps$

$$PMD \text{ 系数} = 0.08ps / \sqrt{Km}$$

由以上测量结果可以看出, 偏振模色散对波长的变化表现出随机性. 在测量中还发现, 光纤的偏振模色散并非一般认为的只有在较长时间(一般认为超过 1 小时)才会表现出随时间的变化, 而可能在短时间(1 秒)内就有变化, 只是幅度较

小, 在本实验中却表现为光功率计的读数随着时间作幅度较小却较快的波动.

其它若干样本(包括以上样本)的测量结果如表 1.

表 1

| 长度 | 平均 PMD | 标准方差 | PMD 系数 |
|-------|--------|------|-----------------------|
| 25km | 0.40ps | 0.04 | $0.08ps / \sqrt{Km}$ |
| 7.9km | 0.74ps | 0.06 | $0.263ps / \sqrt{Km}$ |
| 850m | 0.32ps | 0.06 | $0.347ps / \sqrt{Km}$ |

5 结论

琼斯矩阵特征值法测量偏振模色散得到了经济化的实现, 并实现了自动测量, 对一些光纤样本进行了测量, 观察到偏振模色散随时间的变化, 并且发现其变化频率有可能远高于一般所认为的频率.

参考文献:

- [1] STD. ITU-T RECMN G650- ENCL [S]. 1997 : 0638999 - 0639022.
- [2] C D Poole , D L Favin. Polarization-mode dispersion measurements based on transmission spectra through a polarizer [J]. Journal of Lightwave Technology , 1994 , 12 (6) : 917 - 929.
- [3] B L Heffner. Automated measurement of polarization mode dispersion using Jones matrix eigenanalysis [J]. IEEE Photonics Technology Letters , 1992 , 4 (9) : 1066 - 1069.
- [4] 竺庆春. 矩阵光学导论 [M]. 上海 : 上海科技文献出版社 , 1991.

作者简介:



毛兵成 男. 1976 年 1 月出生于湖北云梦. 北京邮电大学光通信中心研究生, 主要研究方向为光纤偏振模色散的测量及补偿.



李朝阳 男. 1967 年 7 月生于湖南双峰县. 北京邮电大学理学院博士生, 研究方向: 光纤通信.