

# 用光时域反射仪的注射脉冲上升沿改善 非反射事件定位的精度

陈向飞 杨大容 孟 宇 马正北 陈剑云

(南京邮电学院光纤通信研究所, 南京 210003)

**摘 要** 在光时域反射仪(OTDR)的测试原理基础上,提出了一种改善非反射事件定位精度的方法。根据这种方法,对光时域反射仪所采集的数据重新处理,利用光时域反射仪的注射脉冲上升沿提高非反射事件的定位的精度。

**关键词** 光时域反射仪, 光纤, 定位精度。

## 1 引 言

光时域反射仪在光纤光缆特性测量中得到了广泛的使用,它从光纤光缆的传输端沿光纤发射激光脉冲,然后仪器检测从光纤返回的反向散射以及反光表面的任何反射。通过测量光脉冲往返的时间,来测量两点的光学距离。光时域反射仪对事件的定位误差主要来源于三个方面,一是光时域反射仪对时间尺度定标而引起的误差,二是光时域反射仪测量所用的群折射率与被测量的光纤有差别而引起的误差,三是光时域反射仪对背向散射信号的解释有误而引起的误差。前两点误差可以通过提高光时域反射仪的硬件性能和改进测量方法来修正,第三点则需要一种对获得的数据作出正确解释和分析的方法,而这一点往往被忽略了。一般来说,光时域反射仪对于背向散射曲线上有反射峰的事件,即反射事件的定位是非常精确的;但是要高精度定位非反射事件,即不出现反射峰的事件,象熔接点,光纤的劣化等事件,就显得比较困难<sup>[1]</sup>。光时域反射仪对非反射事件的定位精度一般不会好于 $1/4$ 脉宽距离(为 $c_n\eta/2$ ,  $\eta$ 为脉宽,  $c_n$ 为光纤中的光速)<sup>[2]</sup>。最近,Blachard利用他们先前的一个结果<sup>[3]</sup>,即巧妙安排一实验装置来精确测量反射率,提出了一种改进非反射事件定位精度的算法。本文在光时域反射仪工作原理的基础上,分析光时域反射仪接收到的背向散射信号的电平,利用光时域反射仪注射脉冲的上升沿,发展了一种不必测量反射率的非反射事件定位算法。结果表明,采用这种方法,非反射事件的定位精度得到了较大的提高。

## 2 理 论

光时域反射仪接收到的背向散射光信号可以写为

$$P_b(z) = C_0 \int_0^{\eta} dt P_i(t) \exp \left[ - 2 \int_0^{z - c_n t / 2} \alpha(y) dy \right], \quad (1)$$

其中  $C_0$  为常数, 与光纤的瑞利散射系数、光纤中的光速等参数有关;  $P_i(t)$  为注入脉冲,  $c_n = c/n$ ,  $c$  为真空中的光速,  $n$  为光纤的折射率;  $\eta$  为脉冲宽度,  $\alpha(y)$  表示光纤的损耗函数, 对于在  $z = z_0$  处的一个反射事件, 光纤的损耗函数可以写成(为方便起见, 这里假设在被测光纤中只有一个事件)

$$\alpha(z) = \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2} \delta(z - z_0), \quad (2)$$

式中  $\alpha$  为光纤损耗系数,  $\delta(z - z_0)$  为狄拉克函数, 表示在  $z_0$  点损耗的不连续变化, 其幅度用  $\Delta\alpha/2$  来表示,  $\Delta\alpha$  值等于非反射事件损耗光时域反射仪显示值(dB)的  $\ln(10)/10$ 。令  $f(z) = P_b(z)/\exp(-2\alpha z)$ , 从而  $f(z)$  表示只因为有事件而引起的背向散射光电平的变化。理想情况下, 光时域反射仪发出的光脉冲是矩形波, 但实际情况下, 由于光电转换等因素的影响, 光时域反射仪发出的光脉冲上升沿时间。注入光脉冲在脉冲上升沿时间内几乎是以很大的斜率线性上升的, 因此, 有

$$P_i(t) = kt, \quad 0 \leq t \leq \tau, \quad (3)$$

式中  $k$  表示光脉冲上升沿的斜率。  $\tau$  表示光脉冲上升时间。由(1)式、(2)式、(3)式, 得到

$$f(z) = f_0 - a(z - z_0)^2, \quad z_0 \leq z \leq z_0 + D_{rt}, \quad (4)$$

其中,  $D_{rt} = c_n \tau / 2$  是光脉冲上升沿时间对应的距离, 可以用光时域反射仪测量反射信号求得, 并且

$$\begin{aligned} f_0 &= C_0 \int_0^{\eta} dt P_i(t) \exp(\alpha c_n t) \\ a &= \frac{2kC_0[1 - \exp(-\Delta\alpha)]}{c_n^2} \end{aligned} \quad (5)$$

(5)式可写成

$$f(z) = f(z_0) + \frac{f(z_0 + D_{rt}) - f(z_0)}{D_{rt}^2} (z - z_0)^2, \quad z_0 \leq z \leq z_0 + D_{rt} \quad (6)$$

非反射事件的定位精度与事件的损耗有关。事件的损耗越大, 就越容易找到真实的事件位置, 否则, 要找到具体的事件位置的难度要增加。本文作者模仿文献[1]的方法来寻找真实的事件位置。但是与文献[1]所不同的是, 这里并不比较光时域反射仪给出的背向散射光与由光时域反射仪原理得出的背向散射光的差别, 而是比较由光时域反射仪得出的  $f(z) = f_{\text{exp.}}(z)$  与由(6)式得出的  $f_{\text{calc.}}(z)$  的绝对差别来寻找真实的事件位置。由于事件的位置  $z_0$  是未知的, 因此用  $x$  代替  $z_0$ , 定义函数

$$J(x) = \frac{\int_x^{x+D_{rt}} \int_x^{x+D_{rt}} dx_1 dz_2 |f_{\text{exp.}, x}(z_1) - f_{\text{exp.}, x}(z_2)|}{\int_x^{x+D_{rt}} dz |f_{\text{calc.}, x}(z) - f_{\text{exp.}, x}(z)|} \quad (7)$$

(7)式的分子项表示  $f(z)$  在  $D_{rt}$  范围内变化的程度, 这一项在事件位置的附近, 即  $z = z_{\text{loc}}$  时, 才明显变化, 否则这一项就很小。这里  $z_{\text{loc}}$  表示事件的真实位置。(7)式的分母项表示计算值

与实验值的绝对差别。当  $x = z_{loc}$  时，计算曲线与实验曲线在  $D_{rt}$  范围内一致，即它们的绝对差值应极小，且近于零。由上面的结论得知，当  $x$  趋向  $z_{loc}$  时， $J(x)$  函数急速上升，当  $x = z_{loc}$  时， $J(x)$  达到最大值。图 1 表示光时域反射仪  $10 \mu s$  注入脉冲的  $x - J(x)$  关系曲线。在事件位置的附近，有一尖锐的峰，峰顶的位置就是事件的位置。

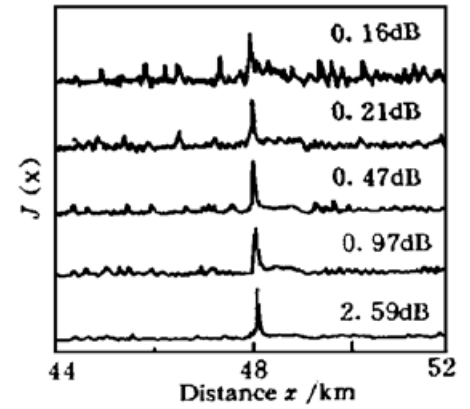


Fig. 1 Experimental curve  $J(x)$  obtained with  $10 \mu s$  pulse duration from 0.16 dB to 2.59 dB attenuation

### 3 实验与讨论

取一根长约为 48.09 km 的单模光纤，光纤的一端接在光时域反射仪上，另一端被切断后形成解理断面，用光时域反射仪测得的事件位置作为事件的真实位置  $z_{loc}$ 。然后在这一端熔接另一根各项参数与它接近的单模光纤，通过把光纤弯曲成厘米量级不同的曲率半径来造成不同的损耗事件，分别进行测量。利用前面所述的方法对获得的数据重新处理后进行非反射事件的定位。图 2 表示了用光时域反射仪  $10 \mu s$  注入脉冲，在不同损耗事件下，非反射事件的计算值  $z_{calc}$  和真实值  $z_{loc}$  的差值，这里所用的采样间隔是 10 m。从图中可以看出， $z_{calc}$  与  $z_{loc}$  的差别约为一个采样间隔之内，与光时域反射仪显示值相比，定位精度有了较大的提高。图 3 表示用光时域反射仪  $1 \mu s$  注入脉冲，在另一根光纤所做的实验结果，采样间隔为 2 m。实验结果表明，定位精度仍

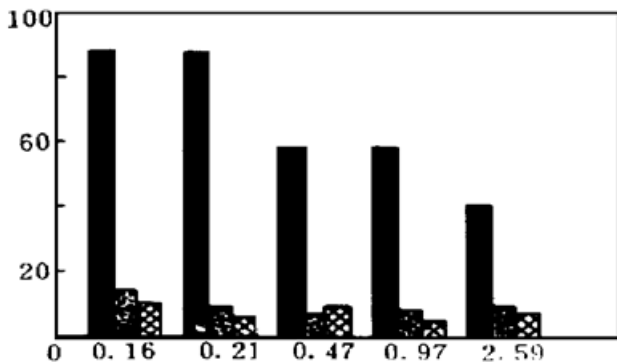


Fig. 2 Difference between displayed and calculated location and true location (48.087 m) of nonreflective event for OTDR pulse duration of  $10 \mu s$ . The calculated methods come from Ref. [1] and the present paper

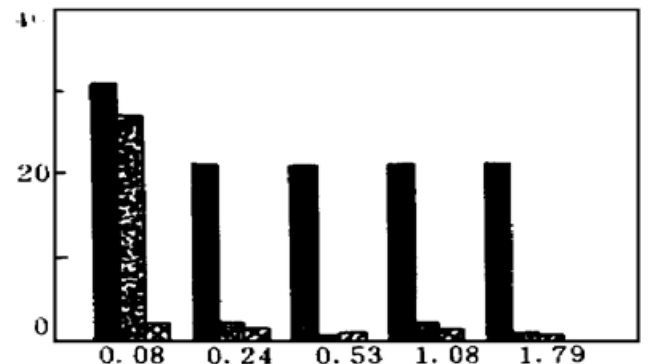


Fig. 3 Difference between displayed and calculated location and true location (365.2 m) of nonreflective event for OTDR pulse duration of  $1 \mu s$

保持在一个采样间隔内。图 2、图 3 也给出本文作者用文献[1]的方法得到的结果，所得到的定位精度也在 1 个采样间隔内左右(除了  $1 \mu s$  脉冲、0.08 dB 损耗事件以外)，这说明用文献[1]的方法与用本文提出的方法得到的精度都较高。但是，计算表明，用本文提出的方法比文献[1]的方法定位精度略好。作者认为可能是由如下的原因造成的：1) 实际使用的光纤总存在微弯效应或沿长度方向的空间不均匀性，文献[1]的方法使用较长的计算长度，它所受这种影响较大，尤其在低损耗非反射事件情况下影响更大，象 0.08 dB 事件就是一个事例；相对来说，本文的方法受这种影响较小。2) 由于光时域反射仪发射装置、接受装置的脉冲响应在不同的测量条件下有所不同，二次测量必然带来系统误差。而本文的方法建立在一次测量

基础上, 不存在这样的问题。也就是说, 这里提出的方法是自恰的。非反射事件定位与真实计算误差主要由下列三种因素造成: 1) 一般来说, 由于背向散射信号较弱, 光时域反射仪的接受信号的灵敏度直接影响了背向散射信号的信噪比, 从而影响了非反射事件的定位精度。2) 光纤中的微弯效应或沿长度方向的空间不均匀性对背向散射信号影响, 干扰了由非反射事件造成的接受信号的变化, 从而影响了非反射事件的定位精度。当非反射事件损耗较低时, 这种影响更大。3) 采样间隔越小, 定位精度越高; 反之, 定位精度就降低。

(5) 式可知,  $a$  随  $[1 - \exp(-\Delta\alpha)]$  是线性变化的。可用求出的  $z_{\text{calc}}$  代替事件点  $z_0$ , 即可求出  $a = - [f(z_0 + D_n) - f(z_0)] / D_n^2$ 。图 4 表示各种损耗事件下  $a$  随  $[1 - \exp(-\Delta\alpha)]$  的变化关系。可以看出,  $a$  几乎随  $[1 - \exp(-\Delta\alpha)]$  线性变化, 实验与理论的一致进一步说明这里给出的算法的合理性。

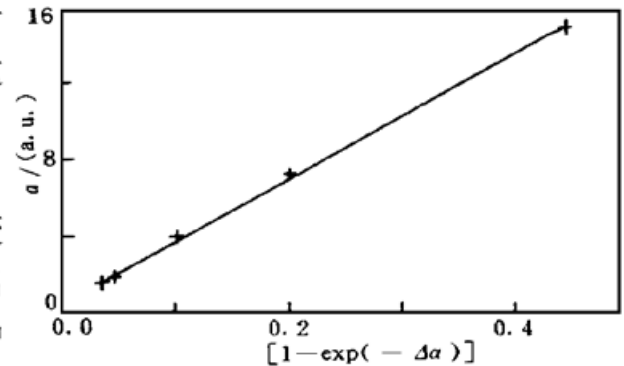


Fig. 4 Variation of the parameter  $a$  with  $[1 - \exp(-\Delta\alpha)]$  of OTDR pulse duration of  $10 \mu\text{s}$

**结 论** 非反射事件的定位对光纤系统的监测、维护很有意义。作为一种重要而有效手段, 光时域反射仪得到了越来越广泛的应用。本文在光时域反射仪测量的基础上, 提出了一种非反射事件定位的方法。这种计算简单, 精度较高; 无需测量反射率, 直接对光时域反射仪所采集的信号进行处理, 避免了二次测量。因此, 这种方法易于程序化。

丁铁骑先生在实验过程中提供了不少有益的建议, 在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [1] P. Blanchard, R. Clin, L. Ducos, Improvement on nonreflective event locating accuracy with OTDR. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(23): 2034~ 2035
- [2] C. Hentschel, Taking the guesswork out of OTDR measurement. *OPTP 91*, (Paris), 1991: 465~ 474
- [3] P. Blanchard, P. H. Zongo, P. Facq, Accurate reflectance and optical fibre backscatter parameter measurements using an OTDR. *Electron. Lett.*, 1990, **26**(25): 2060~ 2062

## Improvement on the Nonreflective Event Locating by Using Injection Pulse Rising Edge of OTDR

Chen Xiangfei Yang Darong Mong Yu Ma Zhenbai Chen Jianyun  
(Optical Fibre Communication Institute, Nanjing University of Telecommunication Technology, Nanjing 210003)

(Received 25 April 1997; revised 18 June 1997)

**Abstract** Based on the measurement principle of optical time-domain reflectometry (OTDR), a method to improve the nonreflection-event locating accuracy is proposed. With this method, the experimental data collected by OTDR have been retreated and the locating accuracy has been increased by using injection pulse rising edge.

**Keywords** optical time-domain reflectometry, optical fibre, locating accuracy.