

双边滤波器在 OTDR 中的应用

陈平,蒋宗伯

(中国电子科技集团公司 第三十四研究所,广西 桂林 541004)

摘要:光时域反射仪(OTDR)在使用小脉宽测试时,曲线信噪比低、动态不足,若采用大脉宽测试,则盲区增大,不利于事件点分析。针对此问题,介绍了双边滤波器原理,引入双边滤波器对 OTDR 测试数据滤波。实验结果表明:双边滤波器在提高动态范围的同时可保持盲区不展宽,能够更好的提升 OTDR 产品性能。

关键词:光时域反射仪;双边滤波器;线性滤波器;事件盲区;动态范围

中图分类号:TN914 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-5561(2020)09-0042-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.09.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of bilateral filter in OTDR

CHEN Ping, JIANG Zongbo

(The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: When optical time domain reflectometer (OTDR) uses small pulse width test, its curve signal-to-noise ratio is low and dynamic is insufficient. If large pulse width test is used, the blind area will increase, which is not conducive to event point analysis. To solve this problem, the principle of two-sided filter is introduced, and the two-sided filter is introduced to filter the test data of OTDR. The experimental results show that the two-sided filter can improve the performance of OTDR products while increasing the dynamic range.

Key words: optical time domain reflectometer; bilateral filter; linear filter; event dead zone; dynamic range

0 引言

随着光通信技术的飞速发展,光纤网络的铺设量越来越大,对光纤链路的维护要求也越来越高。光时域反射仪(OTDR)只需要单端测试,不损伤光纤线路,在光缆资源监测与维护中发挥重要作用^[1-2]。OTDR 的 2 个最重要的性能指标是动态范围和事件盲区,也是技术研究的重点与难点。提高动态范围的方法有 2 种:一种是增大激光器的发射功率和提高接收机的灵敏度;另一种是对数据进行降噪处理。

传统的降噪方法是使用线性滤波器进行滤波,其优点是算法简单、计算速度快;缺点是盲区和降噪效果不可兼得;若滤波器长度较短,则降噪效果不明显,动态提升有限;若滤波器长度较长,则盲区展宽严重,

收稿日期:2020-05-07。

作者简介:陈平(1980—),男,湖北人,工程师。主要从事光检测和光纤网络安全工作。参与过 OTDR 系列产品项目、PON 监测设备项目、光缆智能监测系统项目、PON 末端状态检测项目、光缆故障追踪仪项目和免缠绕插回损检测项目。在专业领域内取得了发明专利 1 项,实用新型专利 3 项,外观专利 2 项。



滤波延时也很明显。而且,在小脉宽测试时,OTDR 测试数据的频谱很宽,在大脉宽测试时,频谱相对较窄,其频带变化很大。而传统的线性滤波器一经设计后,其通带阻带等参数即固定下来,不具有适应性;中值滤波虽具有良好的保持边缘效果,但当滤波器长度较长时,会把小的反射事件当成噪声而滤掉;小波变换降噪的方法则需要设计复杂的阈值处理函数,并且不同的小波基函数的处理效果并不相同,在小波基函数与分解层数间难以选择^[3]。朱信刚等人^[4]提出非局部均值滤波(NLM)的方法作为数据处理的方式,虽然能够在现有硬件条件下进一步提高 OTDR 测试曲线的信噪比(SNR),但该滤波方法计算量非常大,在嵌入式设备里计算耗时过长。因此,根据 OTDR 曲线反射峰陡峭的特性,本文引入双边滤波器来处理 OTDR 数据。

1 双边滤波原理

双边滤波最初是用于对图像数据的保边滤波^[5-6],其算法思想是利用像素与其周边邻域内像素的相似性,在滤波时给予不同的滤波权重。

在一般的处理中,可取滤波核为空域与值域相互独立的高斯函数,其滤波系数公式如下:

$$w(i,j,k,l)=\exp\left(-\frac{(i-k)^2+(j-l)^2}{2\sigma_d^2}-\frac{\|I(i,j)-I(k,l)\|^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (1)$$

其中, i,j 是被滤波的像素空间位置, k,l 是其邻域像素的空间位置, σ_d 为空间域平滑因子, σ_r 为数据域平滑因子, $I(i,j)$ 与 $I(k,l)$ 是位置 (i,j) 与 (k,l) 处的像素亮度值。上述的滤波系数需要归一化,相应的归一化因子为:

$$W(i,j)=\sum_{k,l} w(i,j,k,l) \quad (2)$$

从式(1)可以看出,当过滤某位置的像素时,与其越相近的像素,可以认为与其相似度越高,所以获得的权重越大。但是,该假设在边缘时不成立,所以需要结合像素亮度来共同决定滤波权重。当像素与被滤波像素的亮度越接近时,可以认为与其相似度越高,所以分配更高的权重。两者结合可以给出自适应的滤波系数,达到滤波和保边的效果。

事件盲区是 OTDR 的一个重要性能指标,在进行 OTDR 数据处理时,要保证事件盲区不被展宽。对于反射事件,要保留锐利的边沿不失真;对于非反射事件,要保证滤波时延足够小。双边滤波器具有良好的保边效果,数据边沿越锐利,其滤波时延就越小,保边效果越显著。而 OTDR 的反射事件是由菲涅尔反射形成的,其数据比瑞利散射要大若干个数量级,边沿非常锐利,非常适合于双边滤波,所以将其应用于 OTDR 数据处理。从二维图像数据到一维的 OTDR 数据,记其为 A ,其滤波系数公式如下:

$$w(i,j)=\exp\left(-\frac{(i-j)^2}{2\sigma_d^2}-\frac{\|A(i)-A(j)\|^2}{2\sigma_r^2}\right) \quad (3)$$

相应的归一化因子是:

$$W(i)=\sum_j w(i,j) \quad (4)$$

式(3)中的空间域平滑因子 σ_d 和数据域平滑因子 σ_r 决定了滤波器的平滑能力:平滑因子越大,则平滑能力越强,边缘处越模糊;平滑因子越小,则保边效果越好,但是滤波效果差。滤波在位置 i 附近的一个区间内进行,一般取 $[i-n, i+n]$,即位置 i 左右各 n 个数据的区间,其长度为 $2n+1$ 。

不同的平滑因子下的归一化滤波系数如图 1 所示。可以看出,在较大的平滑因子下,滤波系数较为分散,参与滤波的数据增多,滤波器频谱带宽更窄,低通截止频率更低;较小的平滑因子的滤波系数更集中,滤波器频谱带宽更宽,低通截止频率更高。而滤波就相当于输入信号的频谱与滤波器的频谱的乘积,所以大平滑因子的滤波能力更强,但是相应地会模糊边缘;小平滑因子的滤波能力弱,但是其带宽更宽,保边效果更好。因此,要根据数据特性来确定合适的平滑因子。

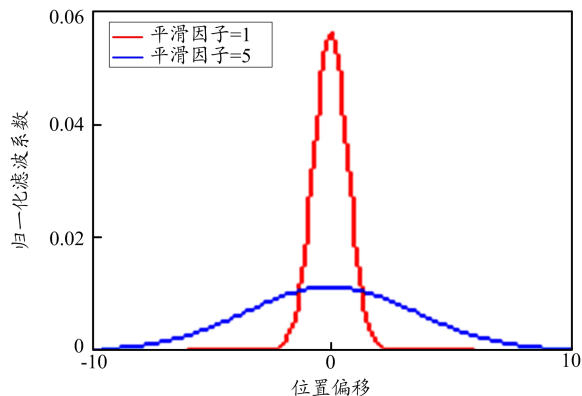
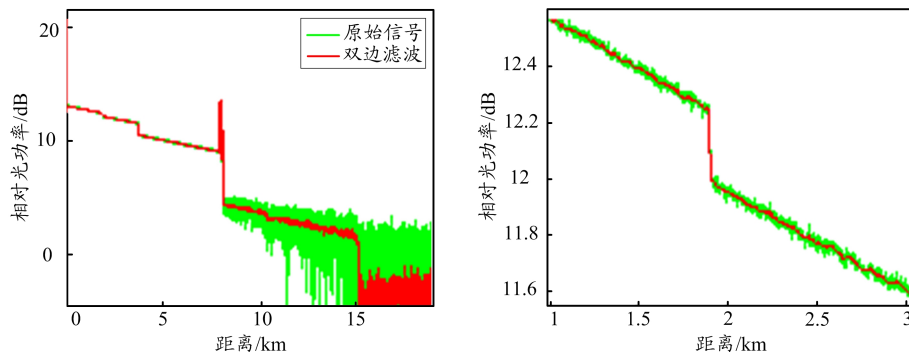


图 1 不同平滑因子下的滤波系数

2 滤波实验结果与分析

为验证滤波器的性能,本文取 2 组 OTDR 测试数据使用所提滤波算法进行滤波处理。第一组数据使用参数波长为 1310 nm,脉宽为 20 ns,累加 3000 次,测试 1 段 15 km 左右的光纤。滤波器参数设置如下:滤波区间长度为 41,空间域平滑因子 $\sigma_d=20$,数据域平滑因子 σ_r 设置为原始数据噪声均方根的 5 倍,测试结果如图 2 所示。

从图 2(a)可以看出,经双边滤波后的曲线动态范围提高了 3.6 dB,15 km 结束处的事件突显出来,而在原信号里,它是淹没在噪声带里的。从图 2(b)可以看



(a) 原始信号和双边滤波后的曲线对比

(b) 2 km 处熔接点的细节放大

图 2 第一组测试数据处理效果对比

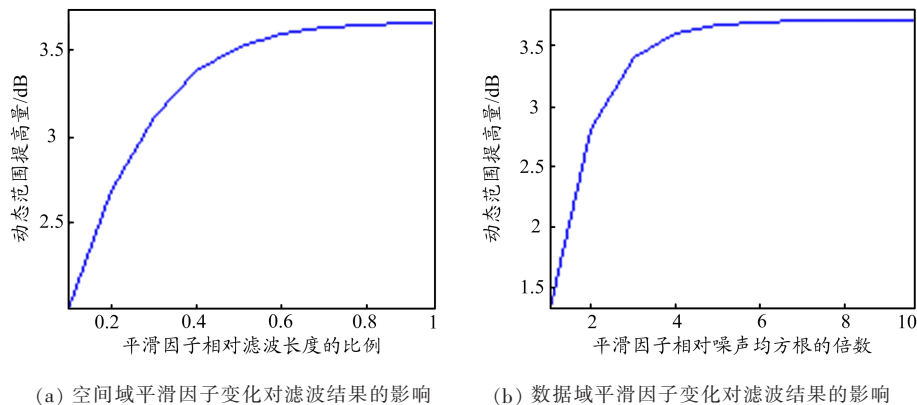


图3 平滑因子对滤波结果的影响

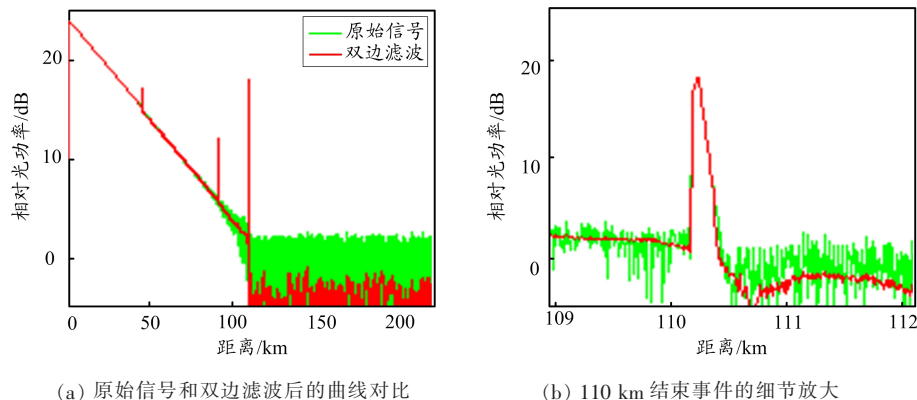


图4 第二组测试数据处理效果对比

出,在 2 km 处的熔接点,事件的边缘并没有模糊,也即事件盲区并没有增大。

接着研究 2 个平滑因子的变化与动态范围的规律。首先,保持数据域平滑因子为原始数据噪声均方根的 5 倍,并设置空间域平滑因子的变化范围为 $[1, 2n+1]$,即从 1 一直到滤波区间长度,计算每个平滑因子取值下的双边滤波结果,相对原始数据的动态范围提高量结果如图 3(a)所示。当空间域平滑因子的取值达到滤波区间长度的一半之后,平滑因子的提高并不能带来明显的动态增益,所以只需要取空间域平滑因子为滤波区间的长度 $\sigma_d=2n+1$,即可取得较好的效果。

然后在此条件下,设置数据域平滑因子的变化范围为原始数据噪声均方根的 1~10 倍,做同样的计算,其结果如图 3(b)所示。可以看出,当数据域平滑因子取到噪声均方根的 5 倍左右,滤波结果就已相当稳定,继续增大平滑因子并不能带来动态的提高,所以只需要取数据域平滑因子为原始数据噪声均方根的 5 倍。

第二组数据使用参数波长为 1550 nm,脉宽为 640 ns 累加 3000 次,测试 1 段 110 km 左右的光纤(该

光纤由 45 km+45 km+20 km 共 3 段光纤组成),测试结果如图 4 所示。图 4(a)中由于动态范围不足,所以原始信号在未达到末端时就已经衰减到噪声区,信噪比急剧下降,曲线粗糙,起伏很大,无法分辨出 90~110 km 的光纤段上是否存在其它事件点,也无法准确定位出结束事件的位置,只能显示出落在噪声区里的末端反射峰。而经过双边滤波后,动态范围提升了 4 dB,末端信噪比明显变好,90~110 km 的曲线呈现出清晰的线性,且容易分辨结束事件的位置,如图 4(b)所示。

3 结束语

本文引入了双边滤波器作为 OTDR 的数据处理方法,并进行了小脉宽和长光纤的对比测试,结果表明:双边滤波器在 OTDR 曲线的滤波上效果显著,既提高了动态范围,又保持盲区不展宽,尤其适合中小脉宽的测试。对比非局部均值滤波

波算法,双边滤波的优势是计算量较小,适合实时处理;与小波变换降噪对比,双边滤波计算简单,小波变换则需要小波基函数分解层数、阈值函数上做平衡。因此,双边滤波器对于提升 OTDR 设备的性能具有重要意义。

参考文献:

- [1] 乔小瑞,郑亮,舒畅,等.三阶双向 RFA 的 Φ -OTDR 传感距离分析仿真[J]. 光通信技术,2020,44(8):14-17.
- [2] 赵奎,肖尊定,胡建超.基于 Sagnac 干涉仪和 Φ -OTDR 的光缆振动预警定位系统[J]. 光通信技术,2020,44(6):11-14.
- [3] 彭怀敏,张超,倪滨海,等.基于小波变换的 OTDR 降噪算法研究[J]. 光通信技术,2019,17(7):17-20.
- [4] 朱信刚,陆飞飞,陆英,等.基于非局部均值滤波增强的 OTDR [J]. 光通信技术,2019,43(2):58-62.
- [5] TOMASI C, MANDUCHI R. Bilateral filtering for gray and color images [C]//Proceedings of the Sixth International Conference on Computer Vision, Jan. 4-7, 1998, Bombay, India. New York: IEEE, 1998: 839-846.
- [6] BANTERLE F, CORSINI M. A Low-Memory, Straightforward and Fast Bilateral Filter Through Subsampling in Spatial Domain [J]. Computer Graphics forum, 2012, 31(3): 19-32.