白皮书

VIAVI Solutions

预测光纤断裂和薄弱点

长距离架空电缆布里渊光纤应变测量的现场试验

使用布里渊 OTDR 对架空电缆进行表征。在 152 千米长的线缆上以 10 米的空间分辨率测量了光纤伸长率，最大标准偏差为 0.0015%，展示了适用于大多数电信链路的测试解决方案。

简介

网络运营商需要一种方法来主动预测由线缆过度拉伸和薄弱导致的光纤断裂。这是由于天气和地质条件不断改变光缆上的应变和温度压力造成的。使用预测性测量，维护操作团队可以通过减轻张力来保护线缆，或者在传输丢失之前主动更换线缆。近年来，全电介质布线解决方案在光纤网络中迅速普及。与金属铠装线缆相比，它们具有成本更低、重量更轻、操作更简单的优点，同时不需要接地。然而，较轻的结构通常意味着较低的机械保护，应评估这些线缆在最苛刻环境中的适用性。为了公平起见，Rostelecom 十年前在伊尔库茨克北部安装了 ADSS 和 OPGW。在该地区，温度范围为 -57℃ 到 +40℃，在某些情况下，可能会积累 10 厘米厚的冰层，如图 1-a 所示。随着时间的推移，线缆结构可能会分层，如图 1-b 所示。

对于脆弱的线缆结构，内部光纤伸长率可能远远超过光纤制造商推荐的 0.2% 的最大值。然而，随着对弯曲不敏感的光纤的出现，所引起的损耗可能保持适中，并且数据传输无故障地运行。这不能掩盖这样一个事实，即光纤玻璃结构在机械上不再坚固，在 4% 的伸长率下仍然可能断裂。如果光纤损耗不再受临界应变水平的影响，则应重新考虑传统的故障排查技术。

图片 1a：结冰

图片 1b：断裂的强度构件

布里渊频谱分析是唯一能够提供精确的分布式伸长测量的光学表征方法。众所周知，布里渊散射相互作用具有线性依赖于光纤伸长的谐振频率，并且这种测量现在广泛用于光纤传感目的。电信链路面临的主要困难是它们通常超过 100 千米，而客户期望以高空间分辨率捕捉到每一个应变事件。

可以应用的第一种测量方法被称为布里渊光时域分析(B-OTDA)。虽然这种配置由于受激的相互作用而提供了最强的信号，但是由于需要环形配置，它在距离范围上受到限制。实际上，覆盖的最长距离相当于最大 80 千米的单向链路[1,2]。通过增加分布在线路上的光放大器实现了更长的距离[3,4]，但是放大器之间 75 千米的最大距离不适用于电信链路，更不用说在这样的距离上复杂的非局部效应[5]。B-OTDA 不适用于典型的电信电缆安装，并且在不分接超过 80 千米的线缆的情况下，实际上不能插入以获取测量值。

第二种解决方案是布里渊光时域反射计(B-OTDR)，它使用单个探测信号，从光纤链路的一端发出。B-OTDR 获得自发反向散射的布里渊光，如同具有瑞利散射的常规 OTDR 一样。在处理预算损失过高甚至中断的链路时，这种配置的优势显而易见：B-OTDR 将始终提供有关可访问部分的信息。在实验室实验中，使用相干检测和拉曼放大的组合[6]，覆盖的距离记录为 150 千米，但是 50 米的空间分辨率和远端的测量精度是不够的。直列光放大器也被提议用于 B-OTDR[7]，但是这同样不适用于电信链路。

在本论文中，我们报告了一种新颖的相干布里渊 OTDR，集成到电池供电的现场可部署仪器(OneAdvisor 1000 DTSS)中。VIAVI B-OTDR 的第一个原型用于表征一个 152 千米的已安装架空链路，总预算损耗为 34 dB，空间分辨率为 10 米。它需要从链路两端采集两次 OTDR，但我们声称这是唯一能够覆盖已安装电信线路距离的技术。

OneAdvisor 1000 DTSS - 分布式温度和应变传感

实验装置

我们的仪器使用相干检测来选择性地检测反向散射信号的瑞利或布里渊频谱分量。该仪器可以产生用于损耗表征的规则 OTDR 迹线，利用布里渊频移信息来确定应变（假设温度恒定），并且它还使用朗道-普拉切克比(LPR)来独立确定温度和应变[8]。因此，用户可以任意使用三种类型的 OTDR 测量：信号损失、应变和温度，以确定待测光纤的运行状况。

结果

在这次测试活动中，测试了来自 Ust-Kut、Kirenga 和 Severobaikalsk 三个站点的 7 条光纤，累积进行了 23 次完整的瑞利和布里渊 OTDR 采集，其中大多数是双向的。我们的主要结果如图 1-3 所示。

图 1 显示了从 Ust Kut 到 Kirenga 线路的应变与距离的函数关系。它由两端的两个采集组成，来自 Kirenga 的轨线被还原，以显示完整的链路和链路中点的良好匹配。连续的平台（每个平台都有一个特定的频移）是架空电缆安装的典型特征，在这种情况下，组装好的线缆段决不会超过 15 千米，每根线缆都包含不同批次的几根光纤。实际上，布里渊频移的变化通常比 OTDR 轨线上的拼接衰减更容易检测，并且这可以被利用。根据光纤批次[9]，给定光纤类型的布里渊频移可能在标称值附近变化 ±20 MHz，这将转换为 ±0.04% 的伸长率。如果严格应用制造商推荐的最大 0.2% 伸长率，这将带来很大的不确定性。在这种情况下，必须将应变事件定位并量化为与周围平台的相对偏差，这将使分析变得复杂。然而，根据在极端条件下运行的架空网络的实际经验，人们不得不在短时间内忍受高达 3% 的应变事件。假设光纤组合与图 1 中的光纤组合一样均匀，可以忽略这些与光纤相关的变化，让仪器根据固定的绝对阈值自动判断线缆是否符合标准。

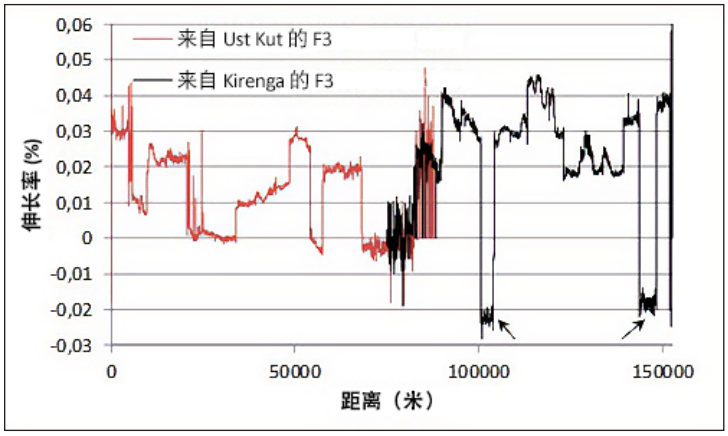

图 1：使用 100 纳秒脉冲在 152 千米范围内进行双向应变测量，箭头表示第一代 SMF28e+ 的截面。

在没有采集事件的情况下，可以根据各种平台上的标准偏差来评估与仪器相关的不确定性，这些标准偏差通常为 0.0006%，在 17 dB 链路衰减后，在中心连接点处高达 0.0015%。

许多应变曲线显示出一系列峰值，其特征周期为 350 至 500 米，这是塔之间的距离。峰值振幅通常为 0.01%，最高水平为 0.03%。这些相当小的数值让人对当前的链路状况感到放心。

必须注意的是，事件在光纤上的传播范围为 150 到 400 米，并且测量是在 10 月份进行的。据推测，由于冰荷载，应变达到更高的水平，并变得更加局部化，而在夏季，由于线缆运动和热循环，应变得到释放并在空间上传播。尽管如此，所展示的采集细节足以突出电缆的弱点，即使在夏季也是如此。

图 2 是应变事件的仪器屏幕截图，显示了用 100 纳秒和 200 纳秒脉冲进行的两次叠加采集。虽然精确度和范围受益于平滑效果和更长脉冲的更高能量，但显然它抹去了最快的细节。由于事件的范围取决于许多参数（负载分布、精确的线缆结构和安装、使用的凝胶等），因此应始终使用最佳的空间分辨率。

布里渊光谱还可用于识别光纤类型[9]，图 3 显示了第一代 SMF28e+ 的典型双模频谱。该光纤在维修时使用，而常规的单峰 SMF28e 在安装时使用。

上述测量活动只是线缆维护周期的第一步，可在安装时或故障排查时进行。所有后续测量可能以相同的方式重复，但建议使用第一次测量作为参考，并产生相关数据。这将消除不同光纤在整个链路上具有不同频移的问题。利用 LPR 带来的额外信息，我们的仪器还可以解释两次测量之间的季节性温度变化。与仅基于布里渊频移的测量相比，这将进一步提高精度，并且对于布里渊频移，在整个温度范围内预期有 ±0.1% 的变化。通过相对和温度补偿测量，利用可以设置为非常低的值（低至仪器可重复性）的报警阈值，可以直接查明应变的最小变化。

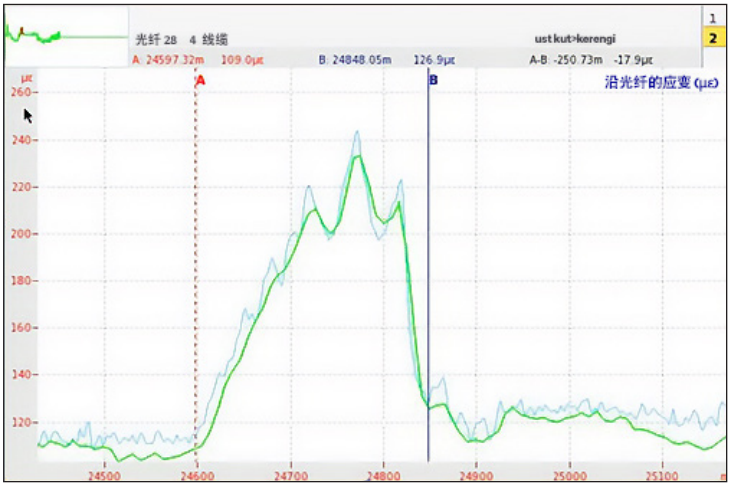

图 2：用 100 纳秒（蓝色）和 200 纳秒（绿色）脉冲记录的应变事件。

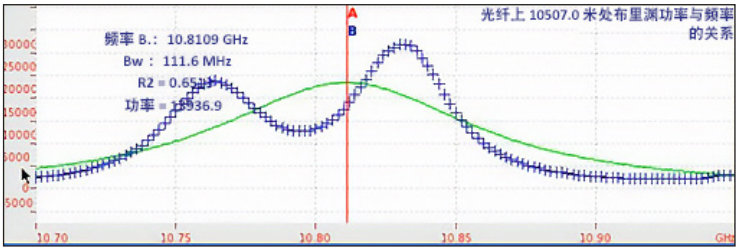

图 3：SMF28e 的双模布里渊频谱

结论

虽然 B-OTDR 技术已经存在很长时间了，但我们展示了第一个现场可部署的仪器，它具有足够的动态范围来覆盖电信链路的距离。使用我们的原型，我们演示了在 152 千米链路上的正确操作。我们的实验室测试表明，以 400 纳秒的脉冲宽度（40 米的空间分辨率）可以达到 200 千米。在撰写本文时，开发工作已经完成，包括相对测量、热补偿和所有必要的功能，以充分发挥仪器在现场的潜力。

该解决方案在市场上以电池供电的便携式解决方案 (OneAdvisor 1000 DTSS) 的形式提供，用于常规的现场检查和维护，或者作为 ONMSi 光网络管理系统的一部分，以机架安装的解决方案 (FTH-DTSS) 的形式提供，用于持续监控和光纤健康分析。

参考

1. L. Zou 等人，“使用 BOTDA 长期监测 67 千米安装的 OPGW 线缆的局部应力变化，”SPIE 会议记录，第 9634 卷，id. 963461 4 pp（2015 年）。

2. X.Qian 等人，“157 千米 BOTDA 与脉冲编码和图像处理，”Proc. SPIE 9916，第六届欧洲光纤传感器研讨会，99162S（2016 年）。

3. Y.Dong 等人，“结合频分复用和直列 EDFA 扩展布里渊光时域分析的传感范围，”J.Lightwave Technol。30, 1161-1167（2012 年）。

4. F.Gyger 等人，“支持深海和长回接开发的超远程 DTS（>300 千米），”ASME。海上机械和北极工程国际会议，第 6B 卷：管道和立管技术（2014 年）。

5. L.Thévenaz 等人，“布里渊光学时域分析系统中的脉冲损耗效应，”Opt. Express 21，14017-14035（2013 年）。

6. M. N. Alahbabi 等人，“基于自发布里渊反向散射和在线拉曼放大的相干检测的 150 千米范围分布式传感器，”J. Opt. Soc. Am. B 22，1321-1324（2005 年）。

7. Y. T. Cho 等人，“基于布里渊反向散射相干检测的 100 千米分布式光纤传感器，空间分辨率为 10 米，使用两级远程泵浦掺铒光纤结合拉曼放大增强，”载于《光纤传感器》，OSA 技术文摘，THC4（2006 年）。

8. P.C. Wait 等人，“应用于分布式光纤传感的 Landau Placzek 比率”，光学通信 122，第 141-146 页（1996 年）。

9. 康宁白皮书 WP4259，“BOTDR 测量技术和康宁单模光纤的布里渊反向散射特性”，（2015 年）。

viavisolutions.cn

北京　电话：+8610 6539 1166
上海　电话：+8621 6859 5260
上海　电话：+8621 2028 3588
（仅限 TeraVM 及 TM-500 产品查询）
深圳　电话：+86 755 8869 6800
网站：　www.viavisolutions.cn

© 2024 VIAVI Solutions Inc.

本文档中的产品规格和描述如有更改，恕不另行通知。

fiberbreaks-wp-tfs-nse-zh-cn
30194196 901 0125