

G/EPON 实时监控系統及其基于 optisystem 的仿真

林啸洋、盛灿英、俞灵东，浙江万马集团电子有限公司技术部

根据日韩等成熟 FTTH 市场统计数据，FTTH 网络 70% 的故障发生在用户侧，20% 的故障发生在 ODN。国内宽带运营的实际经验也告诉我们，DSLAM 网络故障分布中局端设备故障占总数的 5%，线路故障占 20%，而 70% 的故障发生在用户侧。

而传统的 OLT 监控只能从数据域中了解网络的运行状况，并从错误中恢复。但是却无法识别到底是设备还是线路出现的问题导致网络故障。而线路故障的测试一般是电信故障部门接到报警或投诉后人工用 OTDR 测试。在数以万计的线路中找到故障目标显然也是比较耗时的。

采用一种成本较低的实时监控系統能比较好地解决这个问题。不但提高了 OTDR 的利用率，使不可控的线路故障变得可控，同时降低了对维护人员的要求。

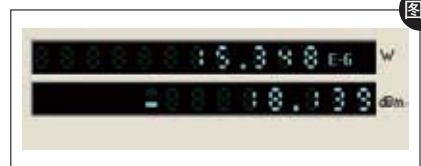
系統簡述

通过 OTDR 模块和一个独立的光开关阵列级联为一个 8x64 口的测试端，使用光分路器将测试端扩展为 $8 \times 64 \times 8 = 4096$ 个监控端。也就是说，一个 OTDR 同时监控 8 路 PON 口，256 路用户。OTDR 的监控准确度为 0.8 米，而对于 8 个 PON 系统，用户之间的距离在 0.8 米内的概率非常低。

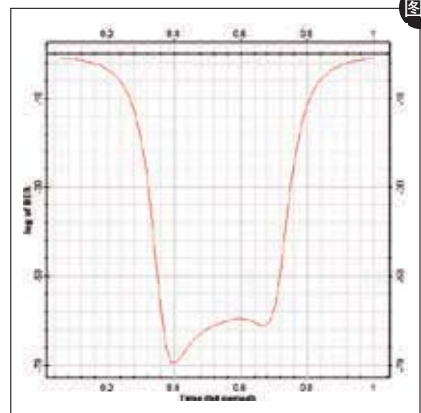
而电信部门可以根据开通用户的数量来随时增加光开关阵列和光分路器数目，不需要一开始就全部建立整个监控系统。

为了保证可行性，系統通过所有用户平摊成本的方式来控制每一路的接入成本。OTDR 模块中包括 MTS 6000、一个 SOA、一个光环行器、一个 8 路光开关，总体成本 8 万元人民币左右。

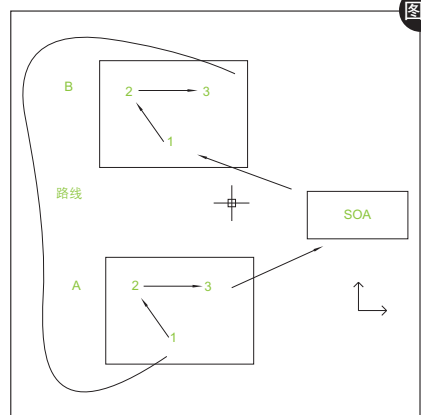
64 路光开关阵列成本 6.4 万元，



接收功率。



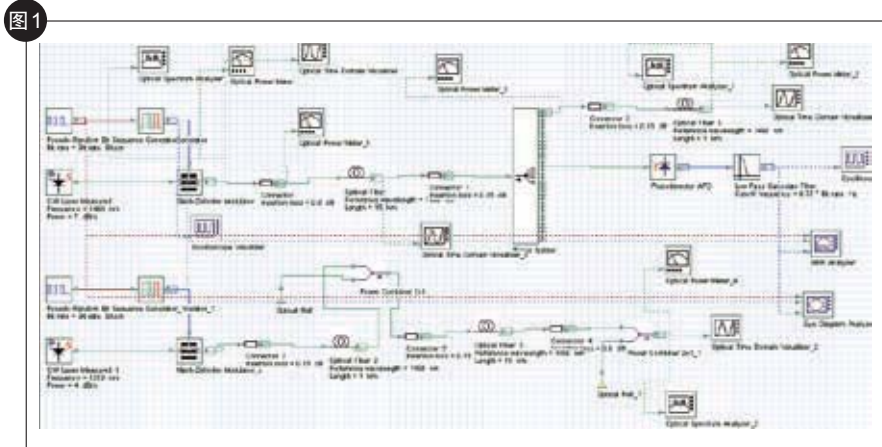
误码率曲线。



3 端口光环行器连接示意图。

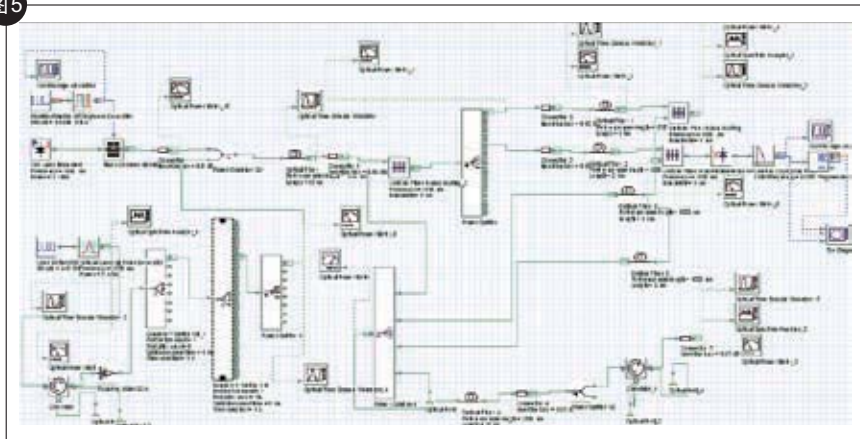
总共 51.2 万元。1x8 光分路器成本 300 元左右。合计一个系統 15.4 万元。整个系統成本 81 万元。4096 路 PON 平均每路成本为 197.75 元。

光纤光栅滤波器每个价格 100 元



10G EPON 系統仿真链路图。

图5



实时监控系统仿真链路图。

左右，每路成本 3200 元。每个 PON 口的监控成本合计为 3397.75 元。以 32 用户的 PON 口计算，平均每个用户 106.5 元。

EPON 系统仿真

为了体现通用性，这里选用了 15km、OLT 发射功率在 3.8dBm 左右的 10G EPON 系统，系统框图如图 1。

通过仿真，可以得出 15km 传输距离，用户距离分路器 1km 的 EPON 系统的接收功率、误码率等（图 2、3）。

由以上仿真结果，我们得出，接入距离 16km 的 EPON 传输系统的链路损耗为 21.9dB，从图 3 误码率曲线上得出，最小误码率为 3.4×10^{-70} 。

基于 OTDR 的实时监控系统仿真

由于 SOA 目前商用的为 1310nm 和 1550nm 波段，光环行器目前只有 $1310 \pm 30\text{nm}$ 和 $1550 \pm 30\text{nm}$ 的商用产品，为保证系统的可行性和准确性，监测波长采用 1550nm，系统采用 JDSU 的 OTDR MTS-6000（加载 E8126VLR 模块，动态范围 45dB，波长为 1550nm，判别故障距离精度 80cm）。光纤采用长飞的 GYDGA

内外光缆，分路器采用标准 YD/T 2000.1-2009 中的数据取最劣值。用户为离分路器 1km 和 1.1km 的两个 ONU。设计方案如下：

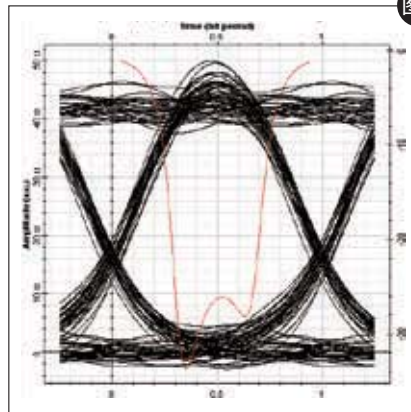
OTDR 的发射光通过一个 3 端口光环行器后被 SOA 放大，然后通过 64 门一体化独立光开关被 1x8 的波导型光分路器分离，然后进入通信链路后到达 ONU，被 ONU 前端的光栅滤波器反射后再通过 1 个光环行器后回到 OTDR 测试口。因软件功能所限，仿真中只采用一个 3 端口光环行器作为示意。实现上下行分离两个 3 端口光环行器连接示意图如图 4。

如图 4，端口 A2 作为下行侧端口接 SOA，端口 B2 作为上行侧连接光开关。这样做的原因是要将上下行光分离，下行的光通过 SOA 放大，而反射的上行光直接进入 OTDR 的端口。

OTDR 模块的光通过光开关模块和无源分路模块后与 OLT 模块的光在耦合模块中耦合，然后进入传输模块（包含 PON 后端的分路器），通过反射子系统模块后进入发射链路模块（传输模块反向光路）然后重新进入 OTDR 端口。

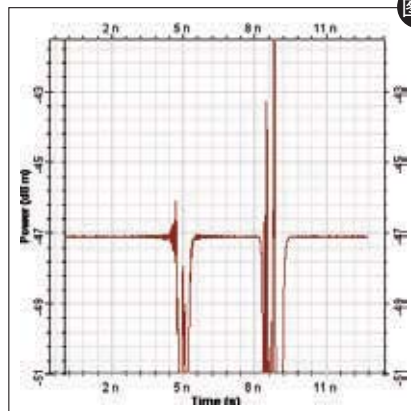
OTDR 模块包括了 JDSU OTDR 设备以及其与电脑的接口，两个 3 端

图6



系统眼图。

图7



OTDR 接收波形图。

口光环行器用于上下行光分离，一个 SOA 光放大器用于将光放大 13dB，以及一个 8 端口光开关。

光开关模块包含了一个独立运行的 64 路光开关阵列，这里设定的值是 1 秒做一个光切换，光开关使用寿命为每路 10^7 次。

无源模块包含了一个 1x8 的光分路器，可以按照用户使用的 PON 口数量自行添加。

实时监控仿真链路图如图 5。

仿真结果如下：EPON 链路损耗增加到 21dB，也就是说，监控系统对通信引入了一个 1x2 光分路器的损耗。系统的眼图如图 6，可以看出系统的最小误码率为 2×10^{-34} 。同样能达到 EPON 系统的误码率要求。

OTDR 接收波形如图 7，第一个

下转第31页

更好的方案是用适中的放大倍数，并用以下三种方法来检查：

- 使用同轴光或倾斜光照明，正面观察抛光的端面。
- 使用纤芯传来的光直接观察。
- 使用倾斜的光照明，从光的反射方向以一定角度观察。

如果套管孔尺寸正常，光纤位于孔的正中，粘合剂用量合适，直接观察法能够看到光纤和护套孔。然而此时只能看到最明显的擦痕。通过纤芯传来的光线则能看到在抛光过程中由压力或发热导致的光纤末端的裂纹。

光线以一定角度照射，而检查者以大致相同的角度从反方向观察，或

是采用小角度照射与观测，这是检查抛光质量以及可能存在的擦痕的最好方法，以一定角度照射和观测的阴影效应使得擦痕与抛光的镜面的对比非常明显。

检查连接器时必须注意一个问题，就是存在过于挑剔的趋势，尤其是放大倍数较大时。通常只有纤芯的问题才是问题。覆层之外的玻璃碎片并不常见，而且并不影响多模光线纤芯中的光线耦合。同样，仅仅是覆层上的擦伤并不会导致光信号丢失。

最好的显微镜可以以一定角度检查连接器，或者倾斜照明或者让连接器倾斜，从而得到最好的图像。

现在已经出现了可以输出视频的显微镜，可以更加容易地观察连接器的端面，有些甚至附带分析软件。尽管这些显微镜比普通光学显微镜昂贵许多，但它们使得检查过程更加便捷，能够极大地提高效率。

切记在显微镜下观察之前要确认光纤中没有信号，这样能够保护你的眼睛。显微镜会把光纤中所有的能量聚焦并送入你的眼中，有可能造成严重后果。有些显微镜有滤光片，可以阻止发射机发出的红外线，因而这种显微镜就没有前面的问题了。LWC

上接第25页

缺口是光分路器的位置，后面两个单脉冲就是 ONU 前端的光纤光栅滤波器（反射率 90%）反射的光，一旦光缆出现断裂或者接头出现问题，反射光就会削弱。而 OTDR 就能识别出故障点。

总结

基于 OTDR 的实时监控系统

可以比较有效地解决低成本 FTTX 监控问题。模块化的设计大幅度降低了一次投入成本，实际上用户可以根据 PON 口的开通数量来控制投入，首次投入只需要 OTDR 模块和一个光开关模块，一共 14.4 万元。光分路器按需求可以随时增加。光纤光栅也可以在用户开通业务时增加，每个用户的监控成本只需要 106.5 元左右。一个系

统可以为 13.1 万个用户提供监控。

本系统最大的问题是使用了 1550nm 波长，其主要是由于商用的光环行器波长范围在 $1550 \pm 30\text{nm}$ 之间，如果光环行器的波长范围能扩大到 $1550 \pm 50\text{nm}$ ，那么 OTDR 就可以使用 $1580 \pm 20\text{nm}$ 的监测光源，从而避开 1550nm 波长。LWC

上接第29页

一旦 OTDR 检测完成，技术人员断开连接光缆，重新接回分路器输出端口，不用切断和重新熔接任何光纤。另外，由于所有分路器输出光纤都连接到了配线板，保护帽会防止技术人员操作过程中的意外损坏。在光纤分配集线器中，比起熔接，连接器连接光纤使得业务提供者能够更快、更简单、更节省人力

地完成光纤的测试，而且对网络产生的风险最小。

要考虑长期效果

任何一个业务提供者在建设下一代光纤网络时，都会考虑到前期设备成本和长期运维成本的平衡。前期阶段，连接器方案可能比熔接方案更昂贵。然而，老道的网络规划者应该看

得更长远，要考虑到每一个客户业务启动带来的运维成本，以及简单测试接入的好处。一些业务提供者发现应用连接器虽然前期设备成本较高，但减少了网络整个寿命周期的运维成本，仍不失为一个明智的选择。LWC