

引用本文:单正友,涂兴华,石磊,等.基于中继技术的光纤配线路由智能排查系统[J].光通信技术,2023,47(2):72-77.

基于中继技术的光纤配线路由智能排查系统

单正友,涂兴华*,石磊,王战

(南京邮电大学 电子与光学工程学院、柔性电子(未来技术)学院,南京 210023)

摘要:为解决传统通信机房和数据中心中光配线架光纤跳线布线不规范、光缆冗余过多的问题,提出一种光纤配线路由智能排查系统。首先,采用高性能、低成本的微型控制器 STM32 芯片控制光收发系统,通过电-光-电信号的数据收发实现光纤配线路由排查;然后,设计基于通用运算放大器 LM358、中继技术进行定量放大和中继处理;最后,采用 OptiSystem 软件对系统的性能进行仿真测试。测试结果表明:系统的动态范围最大达到 9.24 dB,能实现光纤传输距离为 46 km 的排查功能;同时,系统中再生信号的质量得到了提高,能有效延长系统传输距离。

关键词:光纤通信;光纤配线路由;信号放大电路;中继技术

中图分类号:TN929.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-5561(2023)02-0072-06

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2023.02.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Intelligent troubleshooting system of optical fiber distribution route based on relay technology

SHAN Zhengyou, TU Xinghua*, SHI Lei, WANG Zhan

(College of Electronic and Optical Engineering & College of Flexible Electronics,
Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to solve the problems of irregular wiring of optical fiber jumpers in optical distribution frames and excessive redundancy of optical cables in traditional communication rooms and data centers, an intelligent checking system for optical fiber routing is proposed. Firstly, the optical transceiver system is controlled by a high-performance and low-cost microcontroller STM32 chip, and the optical fiber routing is checked through the electro-optical signal data transceiver. Then, based on general operational amplifier LM358 and relay technology, quantitative amplification and relay processing are designed. Finally, the OptiSystem software is used to simulate the performance of the system. The test results show that the maximum dynamic range of the system is 9.24 dB, and it can achieve the troubleshooting function with an optical fiber transmission distance of 46 km. At the same time, the quality of the regenerated signal in the system has been improved, which can effectively extend the transmission distance of the system.

Key words: optical fiber communication, optical fiber distribution routing, signal amplifier circuit, relay technology

0 引言

随着光配线网络(ODN)资源的迅速增长,由此引发的问题也越来越多^[1],比如因大面积光纤宽带的接入和老旧设备的更新换代导致传统通信机房和数据

中心出现大量闲置光纤端口^[2],且存在着光纤跳线布线不规范、分布杂乱无章、光纤跳线纸质标签寿命短、易脱落等问题,若长期使用无法保证通信质量^[3];此外,当光纤线路出现故障时,光纤路由查找也异常繁琐。因此,如何提升光纤线路的日常维护能力,并迅速完成光纤线路故障定位,成为光纤通信网中日益加深的难题^[4-5]。

目前,针对光纤进行线路端口识别和故障排查的问题,通常使用红外光源与光功率计配合排查的方法^[6]。EXFO 公司^[7]生产的在线光纤识别仪可通过发射器向待测光纤施加轻柔的低频调制压力,向在线信号添加典型的 0.25 dB 识别标志,接收器对一簇光纤逐

收稿日期:2022-07-10。

基金项目:国家自然科学基金项目(批准号:11547031)资助。

作者简介:单正友(1996—),男,安徽滁州人,硕士研究生,现就读于南京邮电大学电子与光学工程学院、柔性电子(未来技术)学院电子信息专业,主要研究方向为光纤通信及传感技术,参与了国家自然科学基金项目 1 项,校企合作项目 1 项。

* **通信作者:**涂兴华(1976—),男,安徽阜南人,博士,副教授,主要从事光通信技术研究工作。



个检测并识别出含有典型标志的光纤,最终定位待测光纤,但该设备成本较高且排查效率较低。艾建平^[8]提出了多端口检测方案,利用原有光纤光路发射检测波,通过光功率测试仪检测光纤接续点上产生的检测光波,将检测到的溢光强度和ID码发送给分析模块进行数据处理,如有故障则记下此故障线路ID;此检测波波长为380~800 nm,检测光波的光强度为1~10 mW,只能进行短距离光纤故障排查。JOAO A等人^[9]提出一种适用于短距离下监控光纤故障的方法,利用光载荷本身来评估局间光纤截面的完整性,实现了6.5 km光纤长度内的故障排查,但此方法需在可重构光分插复用器(ROADM)设备中实现。ZHAO T等人^[10]将交通信号作为探针,通过一种复杂的算法来定位故障,实现了23 km以上的光纤线路检测范围,但此方法在长距离光纤检测中需要在交通线路中添加光耦合器和环形器配合检测。涂兴华等人^[11]提出一种层叠式排查系统,采用1 550 nm/1 310 nm单纤双工结构,设计了一种获取光纤路由信息的多端口系统,但该系统通信波长能未避开目前主流的通信业务波长。

本文提出一种高效、可靠、成本低,且具有高动态范围的光纤配线路由智能排查系统,同时利用中继技术进一步提高光纤配线路由排查的动态范围和准确性。

1 系统原理和总体方案

1.1 系统设计

本文提出的光纤配线路由智能排查系统结构如图1所示。整体硬件设计包括三部分:主板、从板和主从板间待查的光纤配线路由。该系统以STM32芯片作为主、从板硬件电路的核心控制器^[12],主、从板硬件电路相似,分别控制各自的通信口,通信口之间为待查的光纤跳线。主板通信口采用中心波长为1 610 nm的光发射次模块(TOSA),由固定波长激光器、驱动电路、晶体管和卡接式方型(SC)光适配器等组件组成;从板通信口采用中心波长为1 610 nm的光接收次模块(ROSA),由光电二极管、驱动电路、晶体管和SC光适配器等组件组成。通过软件程序设计,利用主板STM32芯片的通用型输入输出(GPIO)口发送特定的

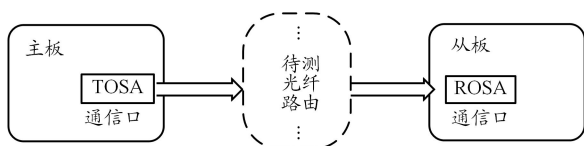


图1 光纤配线路由智能排查系统结构图

数据信号,TOSA在数据信号的调制下发送载有“信息”的光信号,光信号通过待查光纤后进入从板通信口的ROSA中,ROSA将其转换为原来特定的数据信号由从板STM32芯片的GPIO口接收并识别,以此完成光纤配线路由的排查。

主、从板硬件电路如图2所示,由STM32系统和TOSA/ROSA电路组成。STM32系统包括STM32F103RBT6芯片、晶振电路、复位电路、电源电路、串口调试电路和St-link仿真接口电路等;在ROSA接口电路中使用光电流信号转电压信号输出回路,使得STM32中的GPIO口能精确捕捉并接收数据信号。TOSA、ROSA电路中含有SN74HC04反相器,确保进入TOSA和ROSA输出数据信号的同步性和准确性。

1.2 放大电路设计

为提高光纤配线路由排查系统的动态范围和准确性,本文设计了基于运算放大器LM358芯片的同相比例信号放大电路,电路简图如图3所示。其中, R_4 、 R_6 为反馈电阻, R_3 、 R_5 为输入电阻, V_0 、 V_1 分别为输入、输出信号。此电路与从板ROSA电路相连,作为从板电路的前置放大电路。LM358芯片为通用型运算放大器,具备3~36 V的宽电源电压。本系统主、从板中传输电信号为晶体管-晶体管逻辑电路(TTL)电平^[13],其中3.3~2.0 V为高电平(数字信号中的1),低于0.8 V为低电平(数字信号中的0),从板STM32芯片中GPIO口识别并处理数字信号遵从TTL电平协议。由于LM358芯片在不同供电电压下具有不同的放大性能,电路中不同反馈阻值会改变信号放大倍数,故设计信号放大电路时需注意LM358芯片的供电电压及反馈电阻的阻值,放大倍数过大会导致数据信号电压超过GPIO口的识别范围,使STM32无法正常接收数据信号;过小则降低了系统的动态范围。

1.3 中继技术

中继技术是一种在长距离光纤通信系统中减少和补偿信号损耗的技术,其作用是在长距离传输中大幅延长通信距离。数字光纤通信中继器一般由光检测器、前置放大器和判决再生电路等组成,其作用对象为电信号,基本功能是均衡再放大(Re-amplification)、识别再生(Re-shaping)和再定时(Re-timing),具有这3种功能的中继器称为3R中继器,而仅具有前2种功能的中继器称为2R中继器。

本系统仿真结构为3R中继器结构,分别由前置放大器模块、数据恢复(DR)模块、时钟恢复(CR)模块组成。

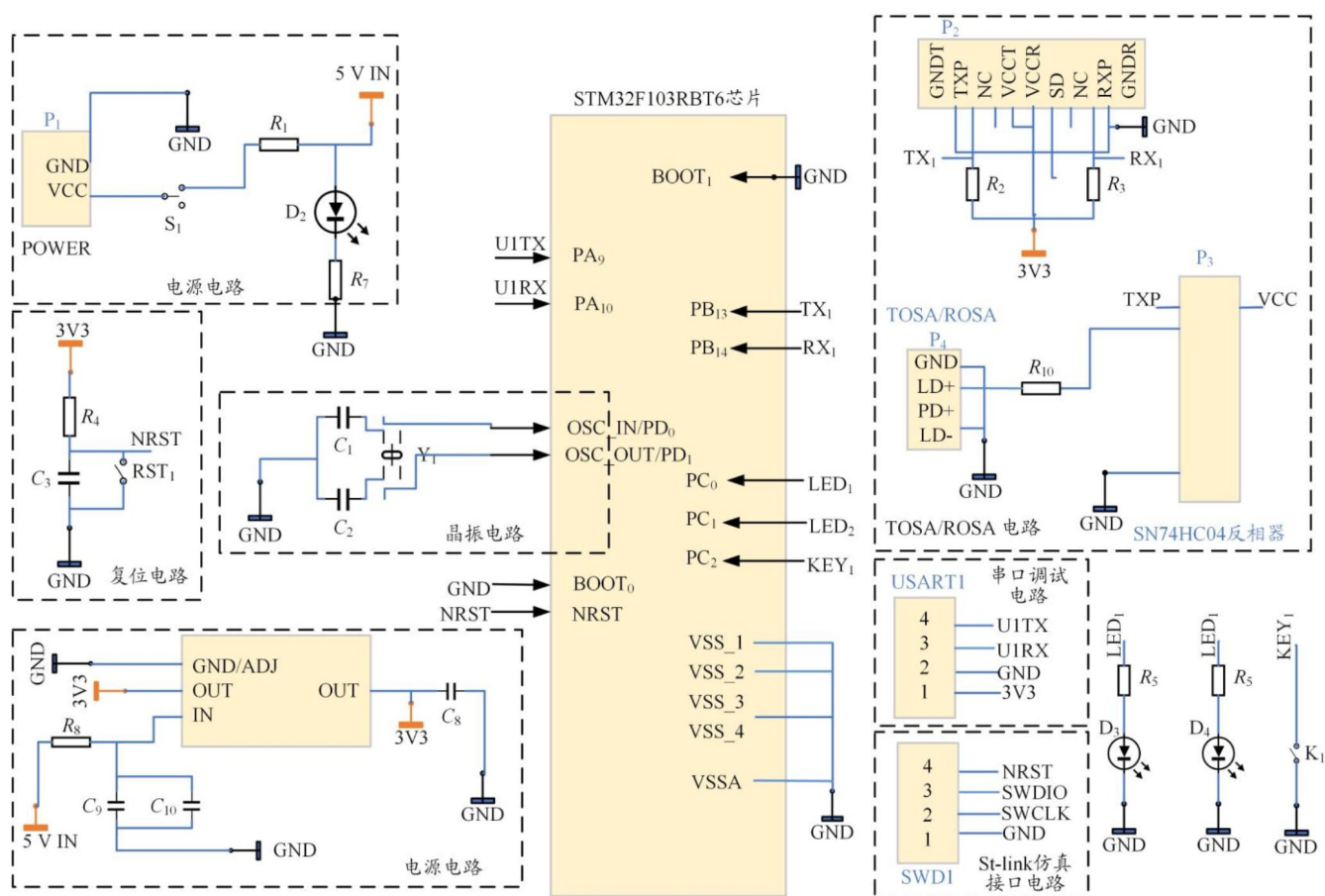


图2 主、从板硬件电路

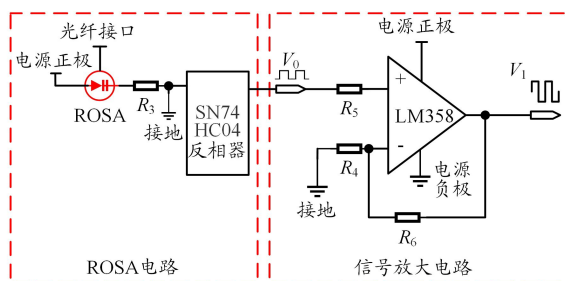


图3 LM358 信号放大电路及 ROSA 电路简图

2 实验测试及分析

为减少和补偿本系统数据信号的衰减、提高系统的动态范围,本文采用 OptiSystem 软件对光纤配线路由智能排查系统进行仿真实验^[14]。系统仿真结构图如图4所示。光发射端中,光源为激光二极管,频率为 186 THz,使用用户定义位序列发生器生成的数字信号序列 0101101110,传输速率为 80 kb/s,经过不归零(NRZ)脉冲发生器转换为电脉冲信号。该信号通过强度调制器后经分离器一半加载到激光二极管发出的 1 610 nm 光波上,成为载有“信息”的光信号进入光纤中,光纤的衰减系数为 0.2 dB/km,色散系数为

20 ps/(nm·km⁻¹),另一半作为 CR 的原始参考信号。光接收端中,光检测器半导体光电二极管将光信号转变为电信号后经过低通滤波器降低系统噪声,最后进入 CR、DR 模块中。由于 DR 是从电信号中恢复出二进制数据,故需连接 NRZ 脉冲发生器转换成电脉冲信号连接到误码率分析仪,对信号的误码率进行检测和分析。

2.1 系统仿真测试

本文对原系统和加入了信号放大电路设计的光纤配线路由排查系统的动态范围及传输距离进行测试,使用可调光衰减器模拟系统在长距离光纤传输下的实验测试,通过改变可调光衰减器的衰减量来模拟长距离传输中光纤信号的损耗(光纤损耗以 0.2 dB/km 计算)。首先,调节并测量可调光衰减器的衰减量,再将可调光衰减器串入到系统中测试;然后,改变可调光衰减器的衰减量再串入系统中进行测试。多次改变衰减量进行实验,直到从板不能正常接收到数据信号为止。实验简图如图5所示。

系统发送的数据信号频率为 10 kHz,光信号中心波长为 1 610 nm,TOSA 输出光功率约为 -7.2 dBm,系统供电电源电压为 3.3 V,可调光衰减器、光纤跳线、

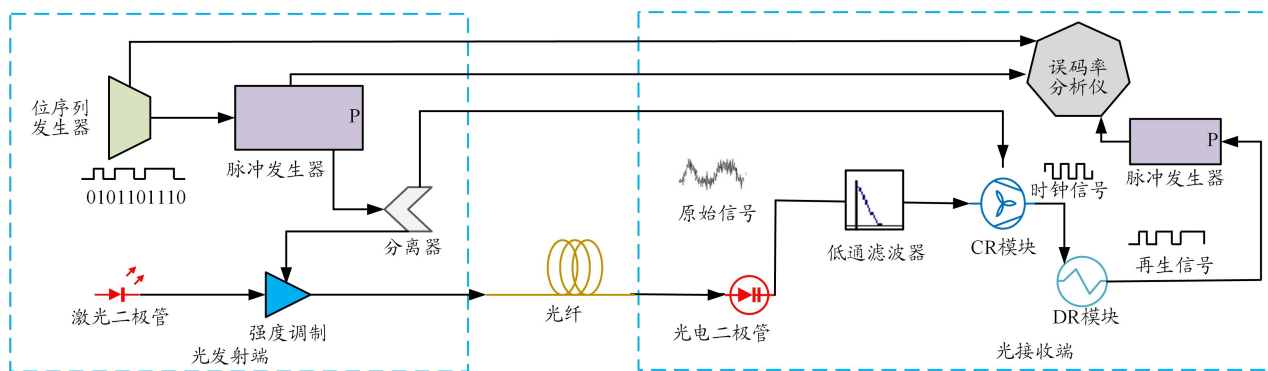
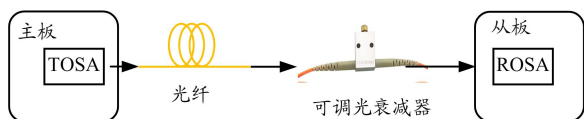


图4 OptiSystem 系统仿真结构图



(a) 原系统实验简图



(b) 加入信号放大电路设计的系统实验简图

图5 实验简图

光纤连接器插入损耗总体约为 1 dB。线路中总衰减量为光衰减器衰减量加上总体插入损耗值,通过测试得到原系统排查的动态范围如表 1 所示。

由表 1 可知,原系统排查的动态范围约为 4.49 dB,即在实际中至少可以排查的光纤传输距离为 22 km,能完成中短距离下光纤排查的工作。

系统加入信号放大电路设计后,分别调整 LM358 的供电电压和信号放大电路中反馈电阻的阻值。由于目前通用的供电电源电压有 3.3 V 和 5 V,本文为方

表 1 原系统排查的动态范围

光衰减器 衰减量/dB	线路中 总衰减量/dB	从板是否 能接收信号
2.40	3.40	是
3.19	4.19	是
3.37	4.37	是
3.49	4.49	是
3.68	4.68	否
3.77	4.77	否
4.00	5.00	否

便整个系统电路供电电源统一,故分别使用 3.3 V 和 5 V 供电电压进行实验测试;改变反馈电阻阻值使信号放大电路放大倍数分别为 2 倍、3 倍、4 倍进行实验测试。实验结果如表 2 所示。

表 2 系统加入信号放大电路排查的动态范围的实验结果

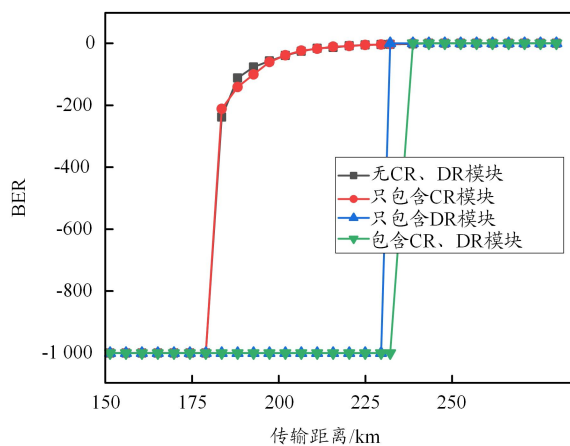
LM358 供电电压/V	放大倍数/倍	动态范围/dB
3.3	未放大	4.49
	2	9.24
	3	8.44
	4	3.43
5	未放大	4.87
	2	5.86
	3	7.16
	4	2.03

由表 2 可知,系统加入信号放大电路设计后排查的动态范围比原系统有明显的提高,LM358 采用 3.3 V 供电和信号放大倍数为 2 倍时动态范围最大为 9.24 dB,即在实际中至少可以排查光纤传输距离为 46 km,与原系统相比其动态范围提高了 2 倍以上,能胜任传统通信机房和数据中心间光纤排查的工作。使用更高放大倍数时系统动态范围反而下降,其具体原因如下:在信号放大电路供电电源电压为 3.3 V 时,高放大倍数将低电平信号放大到超出 TTL 低电平门限,导致 GPIO 口识别出错,同时由于能量守恒,放大后的信号大小永远小于供电电源电压 3.3 V,即 GPIO 口能正常识别高电平信号;在信号放大电路供电电源电压为 5 V 时,高放大倍数将高电平信号、低电平信号均放大到超出 TTL 电平门限,导致 GPIO 口识别出错。

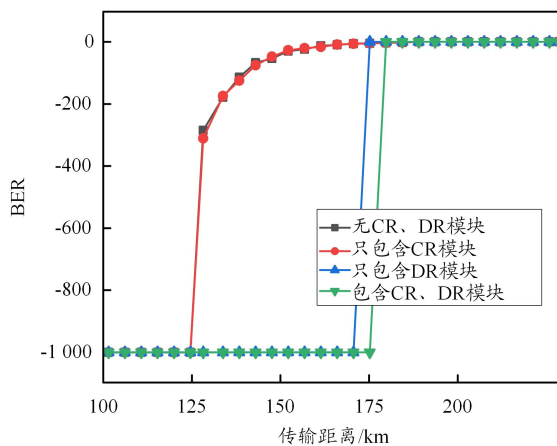
2.2 中继仿真测试

本文对系统在不同条件(无 CR 模块和 DR 模块、

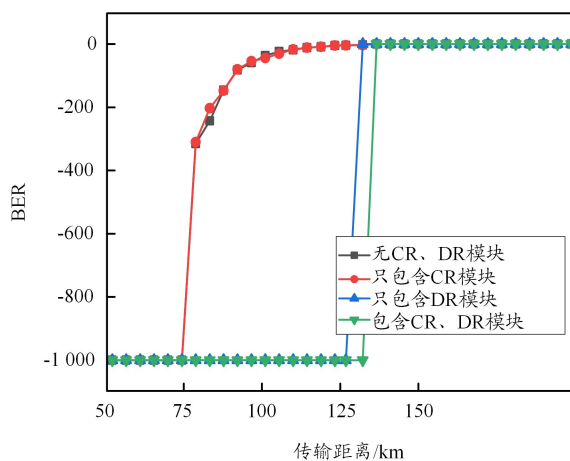
单正友,涂兴华,石磊,等:基于中继技术的光纤配线路由智能排查系统



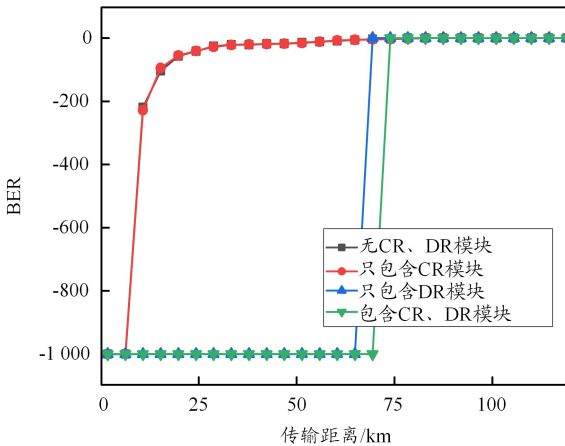
(a) 传输速率为 10 kb/s



(b) 传输速率为 1 Mb/s



(c) 传输速率为 100 Mb/s



(d) 传输速率为 10 Gb/s

图6 不同条件、不同传输速率下的系统误码率

只包含 CR 模块、只包含 DR 模块、包含 CR 模块和 DR 模块)、不同传输速率(10 kb/s、1 Mb/s、100 Mb/s、10 Gb/s)下的误码率进行评估,结果如图6所示。可以看出,不同传输速率、相同 BER 时,包含 CR、DR 这 2 个模块的系统传输距离均提高了 1.5 倍左右,这种条件效果最为明显;只包含 DR 模块系统的传输距离仅提高了 1.2 倍左右;只包含 CR 模块系统的传输距离并无明显改变,这和预期结果相符。因此,采用中继技术中 2R、3R 中继器可以较好地减少和补偿本系统数据信号的衰减,有效延长传输距离。

3 结束语

本文提出了一种光纤配线路由智能排查系统,利用 STM32 芯片控制系统与 TOSA、ROSA 电路模块结合,通过电-光-电的信号转换,完成对待测光纤路由的排查;同时,还设计了基于 LM358 的信号放大电路,通过对 LM358 供电电压和信号放大倍数的选取,获得

了最佳信号放大效果,系统排查动态范围为 9.24 dB,可排查光纤传输距离达 46 km。本系统使用的检测光信号中心波长为 1 610 nm,避开了目前通信设备常使用的 1 550 nm/1 310 nm 通信业务波长范围,满足了实际工程需要,并且在同类型的光纤排查方法排查距离长。

此外,本文基于中继技术,采用光通信软件 OptiSystem 对系统进行仿真,通过添加了 CR、DR 模块的不同方案进行仿真测试,分析了不同传输速率在不同传输距离下的系统误码率。仿真结果表明:添加 CR、DR 模块后,在相同 BER 时,系统的传输距离提高了 1.5 倍左右。该研究对后续系统设计中添加 CR、DR 模块以进一步提高系统的检测精度提供了参考价值。

参考文献:

- [1] ABTS D, FELDERMAN B. A guided tour through data-center networking: a good user experience depends on predictable performance within the

data-center network[J]. Queue, 2012, 10(5): 10–23.

[2] 刘畅. 基于 I-PON 技术的广电分配网设计与研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2018.

[3] 温洪明. 传统 ODN 遇瓶颈智能 ODN 系统提升光纤管理水平 [J]. 通信世界, 2016(20): 54–55.

[4] 于森, 吉顺兵, 刘海, 等. 基于非相干光频域反射技术的高精度光纤网络健康在线监测系统[J]. 中国激光, 2022, 49(4): 85–94.

[5] UENO Y, SHIMIZU M. Optical fiber fault location method [J]. Applied Optics, 1976, 15(6): 1385–1388.

[6] 杨永峰. 光纤故障定位检测仪的设计及应用 [J]. 电力系统通信, 2009, 30(4): 45–47, 63.

[7] EXFO. LFD-300B/TG-300B fiberfinder-live fiber identifier/tone generator [EB/OL]. (2014–10–27) [2022–06–12]. <https://www.exfo.com/zh/products/field-network-testing/live-fiber-detection/lfd-300btg-300b-fiber-finder/>.

单正友, 涂兴华, 石磊, 等. 基于中继技术的光纤配线路由智能排查系统

[8] 艾建平. 一种光纤通讯故障检测系统; CN208836147U[P]. 2019–05–07.

[9] JOAO A, PEREIRA, MIGUEL M. Improved method for the intraoffice infrastructure optical fiber fault location the based on reflectometric analyses[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2019, 61(5): 1432–1436.

[10] ZHAO T, WANG A, WANG Y, et al. Fiber fault location utilizing traffic signal in optical network[J]. Optics express, 2013, 21(20): 23978–23984.

[11] 涂兴华, 葛春阳, 徐宁, 等. 一种光纤配线路由的层叠式智能排查系统及排查方法; CN110855355A[P]. 2020–02–28.

[12] 王加安, 杨鸿基, 戴鹏. 基于单片机的可见光字符传输系统[J]. 光通信技术, 2022, 46(2): 13–17.

[13] 饶增仁等. 数字电路实验教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.

[14] ABD E, EL-S Y, ISMAIL T, et al. Electrical and optical clock and data recovery in optical access networks: a comparative study [J]. International Journal of Communication Systems, 2016, 29(17): 2555–2564.