

doi:10.13756/j.gtxyj.2019.04.005

光通信系统与网络技术

基于 RSOA 再调制的 RoF 与 OFDM-PON 混合系统仿真

赵钢明,张春蕾,张晨希

(兰州交通大学 电子与信息工程学院,兰州 730070)

摘要:为弥补传统无线网络在射频链路难以到达的地方信号接收困难的问题,采用了将光载无线通信(RoF)技术作为一种无线接入方式与正交频分复用(OFDM)无源光网络(PON)有线接入网络相结合的方式,提出了一种基于外调制法单边带(SSB)调制方式承载60 GHz毫米波结合反射式半导体光放大器(RSOA)的有线与无线结合的双向传输系统,并完成了平台的搭建。在此基础上完成了理论分析和实验验证,通过仿真软件 Optisystem,对基于 RSOA 的双向有线及无线混合接入系统背靠背以及光纤传输 20 km 后的系统性能进行了仿真分析,结果表明:当发送信号采用正交振幅调制(QAM),4QAM 和 16QAM 两种信号采用 SSB 调制方式承载毫米波经光纤传输 20 km 后,接收端系统星座图旋转度和发散度最小,系统性能最好,满足系统传输性能要求。

关键词:正交频分复用;无源光网络;反射式半导体放大器;光载无线通信

中图分类号:TN929 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2019)04-0025-05

Simulation of RoF with OFDM-PON Hybrid Transmission System based on RSOA Re-Modulation

ZHAO Gang-ming, ZHANG Chun-lei, ZHANG Chen-xi

(School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract : Considering the difficulty of receiving signals in traditional wireless networks where the radio frequency link is hard to reach, a method combining Radio over Fiber (RoF) technology as a wireless access mode with Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Passive Optical Network (PON) wired access network is adopted. An external modulation method based on Single Side Band (SSB) modulation mode is proposed to carry 60 GHz millimeter wave combined with reflective semiconductor light. The transmission platform is built combining wired and wireless two-way transmission based on Reflective Semiconductor Optical Amplifier (RSOA). The theoretical analysis and experimental verification are completed based on this platform. Through simulation, the system performances of RSOA-based two-way wired and wireless hybrid access system are investigated at back-to-back and 20 km optical fiber transmission cases. The results show that when the transmitted signal adopts Quadrature Amplitude Modulation (QAM) formats, 4QAM and 16QAM signals adopt SSB modulation technique to carry millimeter wave through optical fiber transmission show best performance after 20 km transmission, which can meet the requirement of the network.

Key words: OFDM; PON; RSOA; RoF

0 引 言

随着移动通信技术的迅猛发展,5G 已经成为全球关注的超级热门话题,5G 移动通信中依然采用集中式无线接入网(Centralized Radio Access Network,C-RAN)架构,在该架构中,前传网络在 5G 中仍然占据核心位置。由于无线接入方式中频谱资源十分短缺,人们将目光聚焦在了资源丰富的毫米波段,于是光载无线通信(Radio over Fiber,RoF)技术应运而生,将 RoF 作为 5G 前传网络的承载解决方案也在紧锣密鼓地进行中^[1]。RoF 技术具有广阔的应用前景,它的一个重要应用场所就是射频链路难以到达的地方,这刚好解决了无线通信网络中

局部区域信号接收困难的难题,把正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技术应用到短距离光纤通信中而出现的正交频分复用无源光网络(Orthogonal Frequency Division Multiplexing Passive Optical Network, OFDM-PON)成为了下一代有线接入网中最具潜力的解决方案。下一代接入网为了满足人们多样化的需求,兼具有线及无线接入网的优势,RoF 和 OFDM-PON 相结合使得下一代接入网同时提供有线和无线双重接入服务成为可能^[2]。

本文从下一代混合接入网的角度出发,将无线接入方式 RoF 与有线接入方式 OFDM-PON 相结合,构建了一种能够同时提供有线和无线接入服务

收稿日期:2018-09-26
作者简介:赵钢明(1991—),男,甘肃嘉峪关人。硕士,主要研究方向为光通信。
通信作者:张春蕾,副教授。E-mail:184842945@qq.com

的混合接入网络。由于 RoF 与 OFDM-PON 系统具有高度兼容性^[3],在简化及合并混合网络结构的同时采用了反射式半导体光放大器 (Reflective Semiconductor Optical Amplifier ,RSOA) 实现了混合接入系统中光网络单元 (Optical Network Unit,ONU) 的无色化,通过实验平台构建与仿真验证了混合接入系统的可行性。

1 基于 RSOA 波长再利用的双向传输 RoF-OFDM-PON 系统设计

1.1 系统总体结构

有线和无线接入传输 ROF-OFDM-PON 系统框图如图 1 所示。

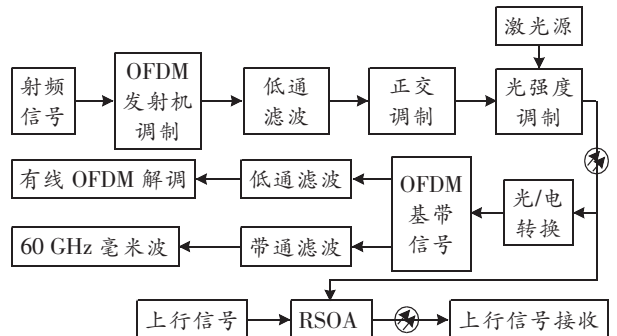


图 1 有线和无线接入传输 ROF-OFDM-PON 系统框图

在光线路终端 (Optical Line Terminal ,OLT) 发送端,首先,速率为 10 Gbit/s 的射频信号经正交幅度调制 (Quadrature Amplitude Modulation, QAM)映射后被 OFDM 发射机调制,从而得到基带 OFDM 信号;然后,通过正交调制器将 OFDM 基带信号加载到 60 GHz 的毫米波上,这里正交调制器的作用可以看作 I/Q 调制,是将 OFDM 基带信号变换成了射频 60 GHz 毫米波信号,此时得到的信号仍然是电信号,是不能通过光纤直接传输的;最后,通过双臂铌酸锂马赫-曾德尔调制器 (Lithium Niobate Mach-Zehnder Modulator, LN-MZM) 进行光强度调制,采用外部单边带 (Single Side Band, SSB) 调制方法产生 OFDM 光信号,将信号加载到激光器产生的光载波上完成上变频,光信号通过标准单模光纤,完成 OLT 到 ONU 的下行数据传输。

在 ONU 接收端,通过波分解复用器,光信号经由光环行器后被分光器分成两路:一路下行信号被用作上行信号的光载波;另外一路下行信号完成有线及无线端下行传输。被用作完成下行传输的光信号通过 PIN 光电二极管完成光/电转换,转换后继续通过分光器分成两路:一路通过一系列解调后被

OFDM 接收机接收,完成有线数据信号的下行传输与接收;另外一路通过带通滤波器滤波得到 60 GHz 的毫米波,通过电放大器 (Electrical Amplifier, EA) 经天线完成短距离无线传输,再通过低通滤波后被无线端 OFDM 接收机接收,从而完成无线信号的下行传输与接收。

被用作上行信号光载波的那一路下行信号,通过 RSOA 后下行信号携带的信息被擦除,再通过 RSOA 对上行信号发生器产生的上行信号进行放大、调制后,上行信号就被加载到这个下行信号光载波上了^[4]。最后,通过光环行器经波分复用器被加载到标准单模光纤上传输,在 OLT 接收端通过光电二极管完成光/电转换,经解调后被上行接收机接收,从而完成上行信号的传输与接收过程。

1.2 系统设计中主要器件的选择

本系统中用到的主要器件有 RSOA 和双臂 LN-MZM。

RSOA 是实现无色 ONU 方案的关键器件。RSOA 能够对上行信号进行放大和调制,对下行信号携带的信息进行擦除,同时还具有插入损耗较小、生产成本较低和动态响应较快等优势,已成为最具潜力的 ONU 无色化解决方案^[5]。本系统中 RSOA 将下行光 OFDM 信号进行擦除,提取出纯净的光载波,将上行信号加载到光载波上完成上行信号传输。RSOA 代替了 ONU 中激光器的功能,使得 ONU 中无需再添加额外的激光器。

双臂 LN-MZM 是一种常用的电光调制器,其基本原理是相位调制技术,在外加信号的作用下, MZM 中电光晶体的相位延迟随着调制信号的变化而变化,从而导致偏振态变化,对输出的光振幅进行调制^[6]。混合网络系统中选用 SSB 调制方式,通过调节直流偏置电压参数以及通过相位调制器将上下臂射频信号相位差设置为 90°来实现 SSB 调制。

2 系统仿真与结果分析

在理论研究的基础上,使用 Optisystem 仿真软件对基于 RSOA 波长再利用的双向传输 RoF-OFDM-PON 系统进行仿真分析,验证 RSOA 再调制的 RoF-OFDM-PON 方案的可行性。图 2 所示为有线和无线接入双向传输 RoF-OFDM-PON 系统仿真框图。

本文主要对有线接收端进行分析,系统各个参数设置如下:在发送端输入二进制伪随机序列作为整个系统的原始输入信号,序列长度设置为 $2^{15}-1$,

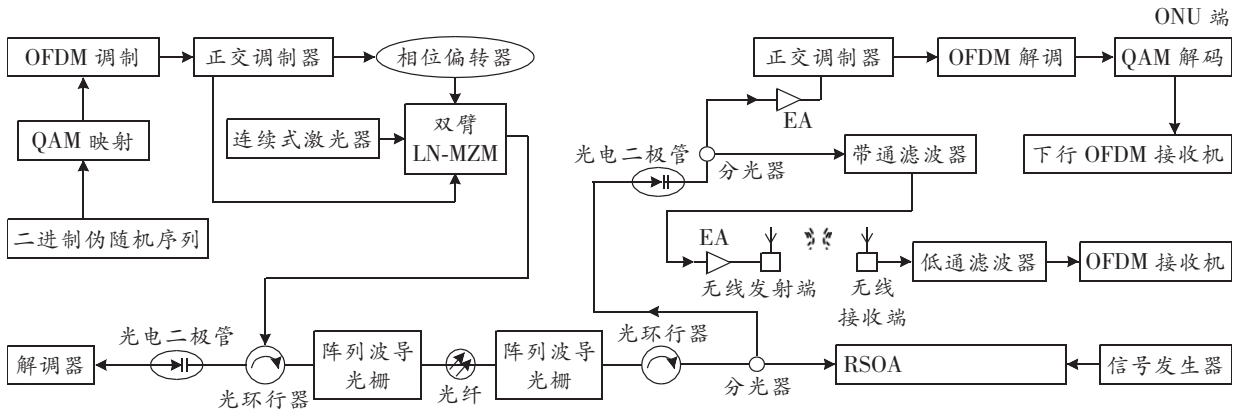


图 2 有线和无线接入双向传输 ROF-OFDM-PON 系统仿真图

框图左侧 OLT 端的下行速率为 10 Gbit/s。QAM 序列发生器可以对原始的二进制伪随机序列进行编码映射,通过调节相关参数,可实现 4QAM、16QAM 等星座点映射。在 OFDM 调制模块中,快速傅里叶逆变换(Inverse Fast Fourier Transform, IFFT)点数设置为 1 024,子载波数设为 512。正交调制器频率设置为 60 GHz。OLT 下行信号使用的连续式激光器(Continuous Wave Laser, CWL)频率为 193.1 THz,功率为 -4 dBm。MZM 消光比为 30 dB,插入损耗为 2 dB,通过设置相位偏转器(Phase Shift, PS)的相位值和调节双臂 LN-MZM 上下臂电压参数,可以获得 3 种外调制方式产生的 OFDM 光信号,如图 3 所示,图中,(a)~(c)分别为双边带(Double Side Band, DSB)调制、光载波抑制(Optical Carrier Suppression, OCS) DSB 调制和 SSB 调制信号。在 ONU 端,光电检测器 PIN 的灵敏度为 1 A/W,暗电流为 10 nA。ONU 端接收的下行信号经光电二极管下变频后,产生的 OFDM 基带频谱如图 4 所示。图 5 所示为 ONU 无线接收端经带通滤波器滤波后得到的纯净的 60 GHz 毫米波,可用于有线及无线信号接收。在 ONU 发送端,上行信号采用非归零(Non-Return to Zero, NRZ)码结合 RSOA 对无线和有线上行信号进行调制,速率为 10 Gbit/s。

下行链路采用标准单模光纤,损耗为 0.2 dB/km,光纤色散为 16.75 ps/(nm·km),传输距离为 20 km。上行链路采用色散补偿光纤(Dispersion Compensation Fiber, DCF),光纤色散为 -85 ps/(nm·km)。

为了充分了解系统下行传输性能,通过仿真分别得到了背靠背传输以及经单模光纤传输 20 km 后的星座图;为了验证不同调制方式对系统性能产生的影响,分别采用了 4QAM 和 16QAM 两种调制

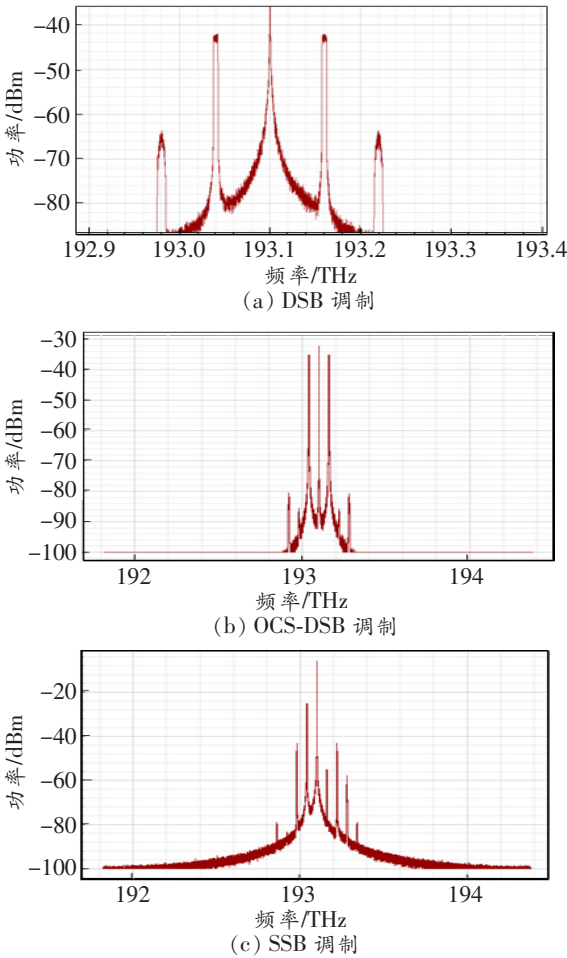


图 3 3 种外调制方式产生的 OFDM 频谱图

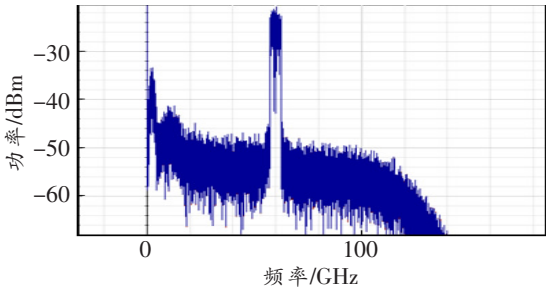


图 4 下变频基带 OFDM 信号频谱图

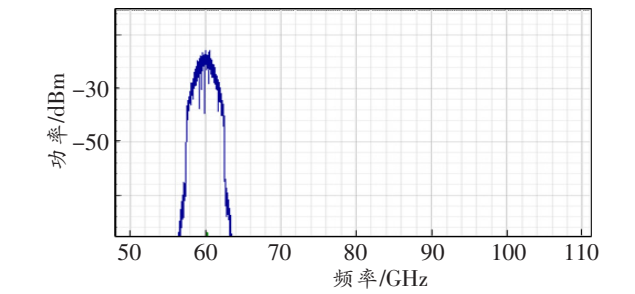


图 5 接收端经带通滤波器滤波后所得毫米波方式。图 6 所示为不同调制下行信号背靠背传输星座图。由图可知,背靠背传输系统性能很好。

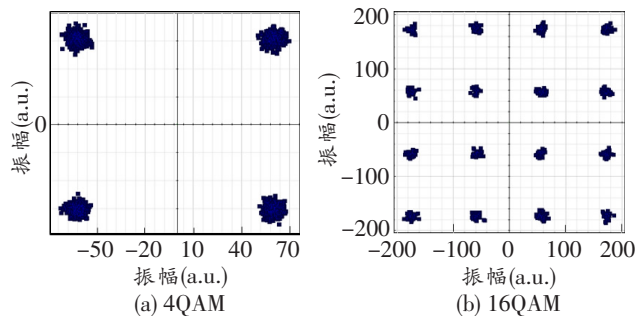


图 6 不同调制方式下行信号背靠背传输星座图

图 7 所示为采用 SSB 调制方式时 4QAM 和 16QAM 信号经单模光纤传输 20 km 后的星座图。由图可知,星座图出现了轻微的相位旋转,这会导致接收端解调时出现误判,从而影响总体系统性能。产生相位旋转的原因一方面是由于收发端载波出现了频率偏差;另一方面是由于光纤传输产生的色散导致信号相位稳定性降低,最终引起载波频率发生偏移^[7]。由于频偏的存在,传输在任何子载波上的信号都会对其他子载波产生干扰,同时会使接收端的星座图产生角度旋转,可见采用直接检测接收方式时,SSB 调制方式下系统会出现相位偏移现象^[8]。

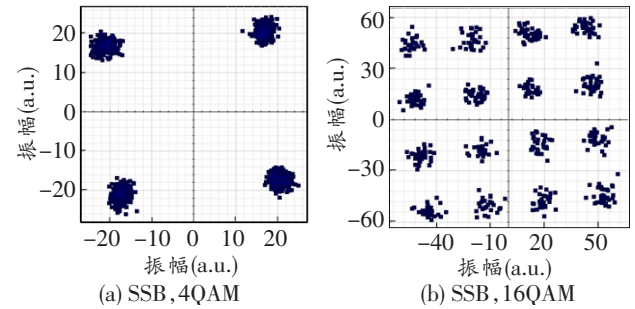


图 7 不同调制方式下信号经光纤传输 20 km 星座图

图 8 所示为经 DCF 后系统下行信号传输的星座图。使用 DCF 抑制色散和补偿相位偏移后,SSB 调制的 4QAM 和 16QAM 信号经单模光纤传输 20 km 后,星座图相位偏移被补偿,接收端能正确解调出发送信息,系统总体性能良好。光纤传输产生

的色散可以使用 DCF 进行抑制,收发端出现频差导致的星座图出现相位偏移同样可以使用 DCF 进行消除^[9]。当然,色散和相位偏移还可以使用更为复杂的数字信号处理(Digital Signal Processing,DSP)技术进行消除^[10],但本文采用 DCF 更为简单经济,再使用更为简单经济的直接检测后,系统总体性能已达到理想的预期效果。

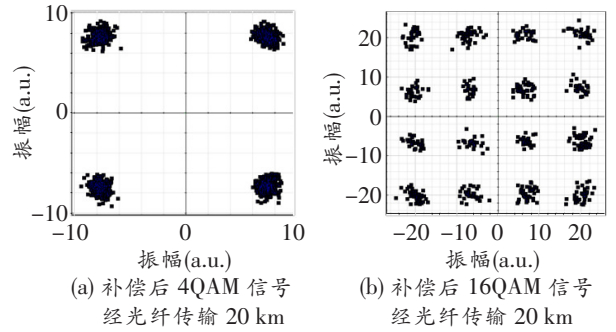


图 8 经 DCF 后系统下行信号传输星座图

为了验证系统接收性能,分别分析了 4QAM 和 16QAM 信号在不同接收光功率下的误码率(Bit Error Rate,BER),如图 9 所示。由(a)图可知,当 $\lg BER = -14$ 、下行信号为 4QAM 信号时,背靠背传输的接收光功率为 -18.5 dBm,经光纤传输 20 km 后的接收光功率为 -17.8 dBm,功率代价为 0.7 dBm,满足系统性能要求;由(b)图可知,当 $\lg BER = -14$ 、下行信号为 16QAM 信号时,背靠背传输的接收光功率为 -18 dBm,经光纤传输 20 km 后的接收光功率为 -17.1 dBm,功率代价为 0.9 dBm,同样也满足系统传输性能要求。分析 BER

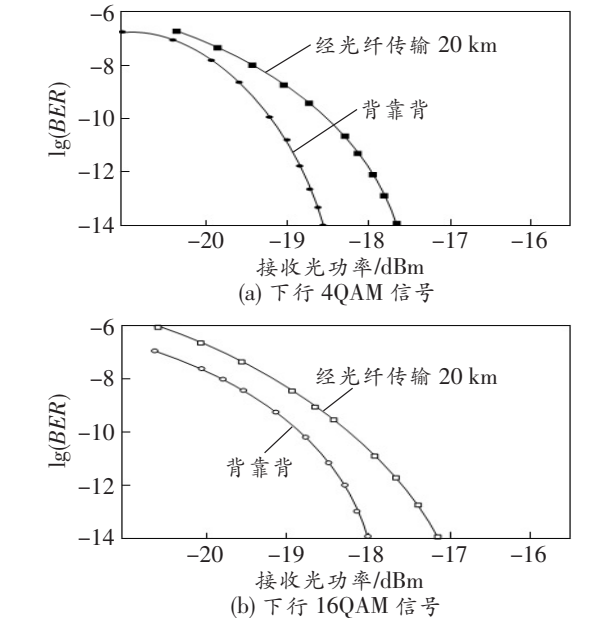


图 9 系统下行传输 BER 与接收光功率关系图

与接收光功率曲线图可知,在相同 BER 条件下,4QAM 信号背靠背传输所需要的接收光功率比 16QAM 信号小;经光纤传输 20 km 后,16QAM 信号所需的接收光功率大于 4QAM 信号的接收光功率,这是由于高阶调制随着星座图映射点数的增多,要保证所需 BER 要求,接收机发射功率就必须增大^[11]。由图 9 可知,在相同接收光功率的条件下,经光纤传输 20 km 后系统的 BER 会比背靠背传输的高,这是由于抖动、漂移和光纤色散等原因引起的系统信噪比降低导致 BER 增大,可以通过加大发射机的发射功率进行弥补^[12]。总体来说,采用 4QAM 和 16QAM 信号经光纤传输 20 km 后,系统总体 BER 比较低,信号质量比较高,可以满足系统传输要求。

为了评估系统上行传输性能,给出了 OLT 上行信号接收端的眼图。在 ONU 发射端并不采用与下行信号相同的调制信号,而选取了传统的 NRZ 信号,NRZ 信号适合于近距离基带数字信号传输^[13],也是简化 ONU 结构和降低成本的最好选择。图 10 所示为系统上行信号眼图,通过对比图 10(a)和

10(b)两张眼图可发现,经单模光纤传输 20 km 后,系统由于光纤色散损耗等原因导致码间串扰比较大,OLT 接收端眼图的“眼睛”张开程度减小。为了改善上行信号传输性能,将 20 km 单模光纤替换成 17 km 的单模光纤和 3 km 的 DCF,替换后 OLT 接收端眼图如 10(c)所示,由图可知,经 DCF 补偿后,OLT 接收端系统性能明显改善,眼图的“眼睛”张开程度明显增大,这说明 DCF 具有明显的色散抑制作用。从总体上看,上行传输系统性能表现良好,上行 NRZ 信号满足了系统传输性能要求。

3 结束语

本文将 RoF 技术应用于 OFDM-PON 系统中,提出了一种基于 RSOA 的有线和无线混合接入的 RoF-OFDM-PON 系统,在理论研究的基础上搭建了系统仿真平台,通过使用 Optisystem 仿真软件对系统传输性能进行了仿真分析,结果表明:下行信号速率为 10 Gbit/s,分别采用 4QAM 和 16QAM 两种调制格式,接收端采用直接检测的方式时,采用外调制方式生成的 SSB 信号的接收性能表现良好,星座图略微产生了旋转和相位偏移,在使用 DCF 对色散进行抑制,对相位偏移进行补偿后,总体传输性能良好,能够满足实际应用的需要;在上行采用速率为 10 Gbit/s 的 NRZ 信号时,经标准单模传输 20 km 后,发现接收端眼图“眼睛”张开程度较小,上行传输系统性能受光纤色散效应影响严重,通过使用 DCF 抑制色散后,发现系统传输性能明显改善,眼图张开程度较大,上行传输系统性能达到实际要求。SSB 调制适合于长距离高速率的传输系统,结合 OFDM 技术自身强大的优势可以克服光纤色散、抗多径干扰和提高频带利用率^[14],满足了系统传输的需要,同时 RoF 作为无线网络在射频链路无法到达区域的重要补充,使得其在接入网中应用的变得更加灵活^[15]。

参考文献:

- [1] Monteiro P P, Viana D, da Silva J, et al. Mobile Fronthaul RoF Transceivers for C-RAN Applications [C]// 2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON). Budapest, Hungary:IEEE, 2015: 1-4.
- [2] Cao Z, Yu J, Zhou H, et al. WDM-RoF-PON Architecture for Flexible Wireless and Wire-line Layout [J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2010, 2(2): 117-121.

(下转第 45 页)

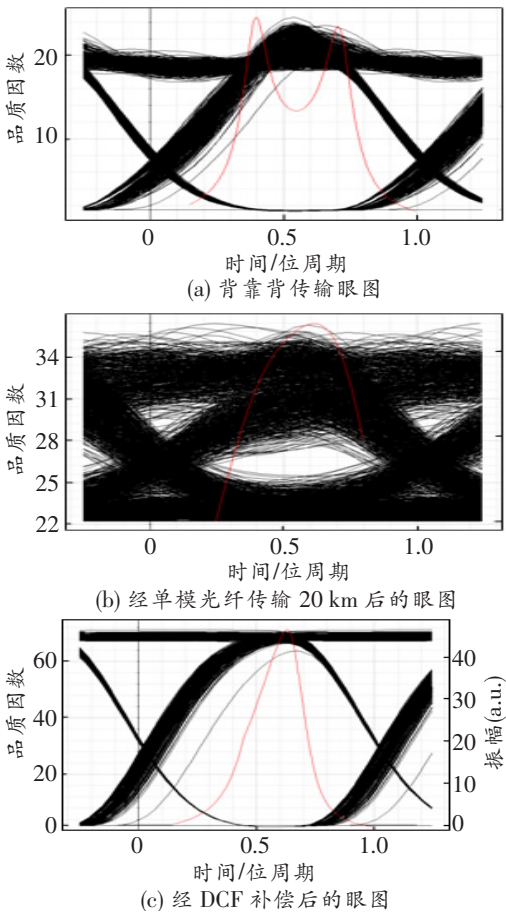


图 10 系统上行信号眼图