

一种波长重用的全双工光纤无线电通信系统

刘鑫淼¹, 李磊², 秦华¹, 王昭雷³, 王亚强³

(1. 石家庄铁道大学 四方学院, 石家庄 051132; 2. 石家庄铁路职业技术学院, 石家庄 050041; 3. 国网河北省电力有限公司, 石家庄 050000)

摘要:设计了一种波长重用的全双工光纤无线电通信系统, 利用光载毫米波中心波长区域传输 2.5Gb/s 的下行数据, 在基站处利用光纤布喇格光栅滤出未携带信息的光载毫米波单边带频谱, 进行上行数据传输。结果表明, 下行和上行链路的系统 Q 值随传输距离的增大而减小。而随着中心站光源发射功率的增大, 下行链路系统 Q 值先增大后减小, 当中心站光源发射功率为 11dBm 时系统最大 Q 值为 12。上行链路传输 21.8km 时接收机光功率代价为 2.1dB。

关键词:波长重用; 光纤无线电; 全双工; Q 值

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A 文章编号: 1002-5561(2018)04-0014-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.04.004

Full duplex radio over fiber communication system with wavelength reuse

LIU Xinmiao¹, LI Lei², QIN Hua¹, WANG Zhaolei³, WANG Yaqiang³

(1. Sifang College of Shijiazhuang Railway University, Shijiazhuang 051132, China;

2. Shijiazhuang Railway Vocational and Technical College, Shijiazhuang 050041, China;

3. State Grid Corporation of China Hebei electric power Co. Ltd., Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: This paper designs a full duplex radio over fiber communication system, uses center wavelength region of optical millimeter wave to transmit 2.5Gb/s downlink data, and uses unmodulated single sideband spectrum of the optical millimeter wave filtered by fiber Bragg grating at base station to transmit uplink data. The results show that the Q values of the downlink and uplink systems decrease with the increase of the transmission distance. With the increase of light emission power at central station, downlink Q values increased first and then decreased. When the light emission power at central station was 11dBm the maximum Q values were 12. The power penalty is 2.1dB after 21.8km transmission.

Key words: wavelength reuse; radio over fiber; full duplex; Q values

0 引言

光纤无线电 (RoF) 融合了光纤通信和无线通信的优势, 为目前日益增长的超宽带无线接入、移动多媒体通信等大带宽需求提供了有效的解决方案, 备受研究者关注^[1,2]。RoF 系统包含中心站 (Central Station) 和基站 (Base Station) 两部分, 在全双工 RoF 系统中, 为将用户数据上行到中心站, 需在基站处另设置光源以

收稿日期: 2017-11-28。

基金项目: 河北省高等学校科学研究计划项目 (QN2016324) 资助; 河北省科技计划项目 (15220353) 资助。

作者简介: 刘鑫淼 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为通信和信息处理方面。

实现电/光转换, 从而造成基站建设成本上升, 限制了 RoF 技术的进一步应用。如何简化基站结构成为了 RoF 技术发展的一大关键因素^[3-5]。从中心站发射过来的光信号在其频谱上含有多边带, 在 RoF 系统中, 常用到的光载毫米波包括单边带、双边带和抑制载波边带等 3 种形式, 但并非所有边带都载有有用信息。将未载有信息的边带滤出来并在基站处进行电光调制, 实现信号上行, 即为波长重用技术^[6,7]。本文以单边带光载毫米波幅移键控 (ASK) 为基础, 利用光纤布喇格光栅 (FBG) 进行基站端的波长重用, 实现全双工 RoF 系统传输。

1 波长重用 RoF 系统构成及原理

波长重用的全双工光纤无线电通信系统原理结构如图 1 所示。首先在中心站将 2.5Gb/s 的待传数据在电域进行幅度调制,然后与 20GHz 的射频信号同时通过 90°相移耦合器进行混合,最后将输出的混合信号加载到 MZM 的两臂上。按照前述分析,通过设置 MZM 相关参数,实现带有信息的单边带光载波毫米波,并通过下行链路传输到基站。仿真时所产生的毫米波中心波长为 1.931×10^{14} Hz,而光纤的色散系数为 16.75ps/nm/km,损耗为 0.2dB/km,差分群时延为 0.2ps/km,有效纤芯面积为 $80 \mu\text{m}^2$ 。PIN 光电二极管响应度为 0.9A/W,暗电流为 10nA,中心频率为 1.931×10^{14} Hz,热噪声设置为 10^{-22} W/Hz。

在基站处将接收到的光载毫米波信号通过一个 FBG,利用其滤波特性滤取出载有信息的中心载波区域,并进行幅度解调,恢复出射频信号,最后通过天线发送到用户处。而未载有信息的剩余光载毫米波信号则透过 FBG 作为上行数据的载波使用,避免了基站再设置光源,从而降低了基站成本。该上行载波又通过光幅度调制器(AM),将用户传输过来的 1Gb/s 射频信号进行调制,并借助上行链路发送到基站,从而实现波长重用的全双工光纤无线电通信系统。仿真时所用的 FBG 的中心波长为 1.931×10^{14} Hz,带宽为 12GHz,插入损耗为 0dB。

图 2 为图 1 中 A、B、C 和 D 这 4 处信号的频谱图。其中图 2(a)为 MZM 发射信号的频谱,该信号为载有待传数据的光载毫米波信号,从频谱图上可以看出,该信号为单边带形式,待传数据调制到了中心载波区域,而上边带并未带有信息,故上边带在基站处可以重用并进行上行数据的传输。图 2(b)为经过 FBG

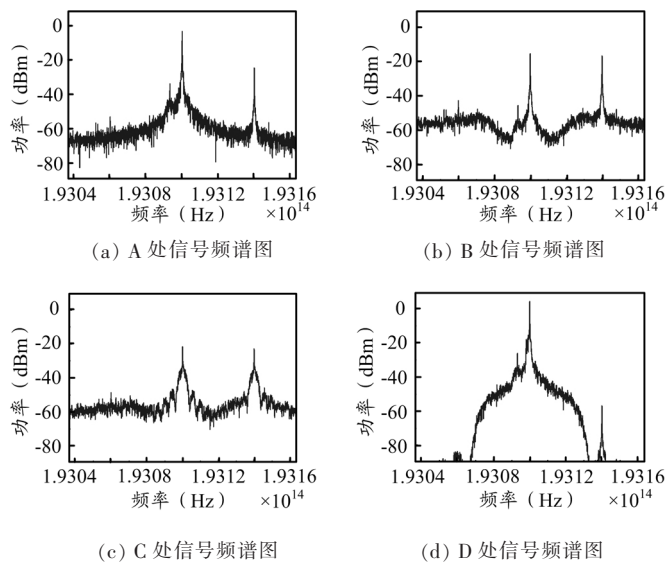


图 2 各点信号频谱图

后透射过来的光载毫米波,此时中心载波处的峰值功率已经从图 2(a)的 0dBm 降低到 -15dBm,与图 2(a)相比载有下行数据的中心载波区域已经被滤除,并完整保留了未载有信息的上边带,从而可以作为上行数据的载波使用。图 2(c)为上行数据经过幅度调制后光载毫米波的频谱图,可以看出,射频信号的频谱已经搬移到了中心载波及频谱边带处,实现了幅度调制。图 2(d)为 FBG 滤取出的载有下行数据的中心载波区域,该信号通过 PIN 光电二极管转换成电信号,最后通过天线辐射到用户处。

2 结果分析

图 3 给出了中心站光源发射功率为 6dBm 时,下行链路和上行链路在不同传输距离下所对应的系统 Q 值。从图 3 可以看出,下行和上行链路的系统 Q 值都

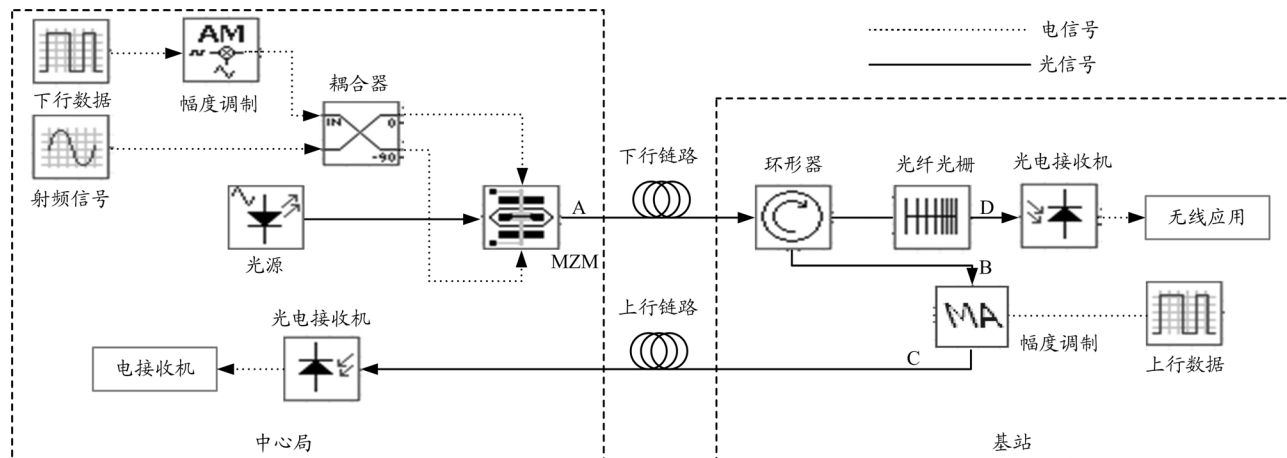
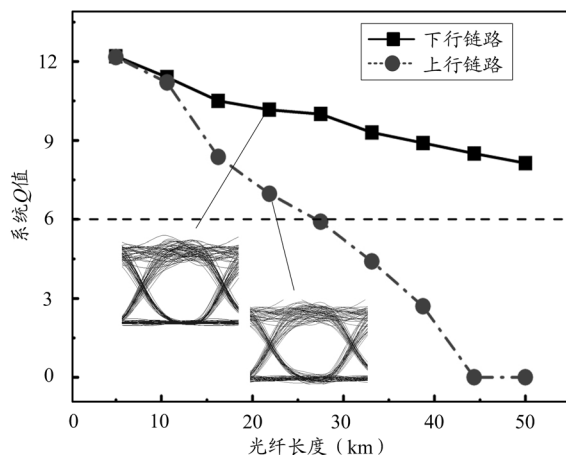


图 1 系统原理结构图

图3 上行及下行链路在不同光纤长度下所对应的系统 Q 值

随传输距离的增大而减小,原因是随着传输距离的增大,损耗、色散及偏振模色散等影响加剧,系统传输性能变差, Q 值随之降低。当下行和上行的传输距离为5km 时,两者系统 Q 值近乎相等,约为 12.1。但随着传输距离的增大,下行链路的 Q 值降幅较小,而上行链路的系统 Q 值下降明显。图 3 中的插图给出了传输 21.8km 时下行链路和上行链路所对应的系统眼图,可以看出,与下行链路的眼图相比,在上行链路的眼图中“下眼皮”较厚,同时眼开度减小,表明上行链路信号失真较为明显。

图 3 中,当光纤长度变为 30km 时,下行链路的系统 Q 值降低到 9.7,而上行链路的系统 Q 值则降为 5.2,减小了 6.9,已低于系统所允许的最低 Q 值($Q=6$: 无信道编码情况下系统所能容忍的最低 Q 值)。当光纤长度变为 50km 时,下行链路系统 Q 值减小到 8.2,仍可正常工作;而上行链路的系统 Q 值已减小到 0,系统已完全失效。这是因为上行链路的光载波通过 FBG 透射而获得,为下行光载波的一部分,其值明显小于下行光载波的功率。上行及下行链路在不同光纤长度下对应的接收光功率如图 4 所示,当光纤长度为 30km 时,在下行链路接收端的光功率为 -26dBm,而上行链路接收端的光功率为 -56dBm,两者相差 2 倍之多。下行和上行链路在相同的光纤中所受的衰减、色散和偏振模色散等影响因素相同,光纤中光功率高则意味着系统的信噪比高,故系统误码率低,即 Q 值较高。因此,下行链路的系统 Q 值高于上行链路的系统 Q 值,则在实际系统设计中应适当增大下行链路的光功率以提高上行光功率。

图 5 给出了传输距离为 30km 时,下行链路和上行链路的系统 Q 值随中心站光源发射功率的变化曲

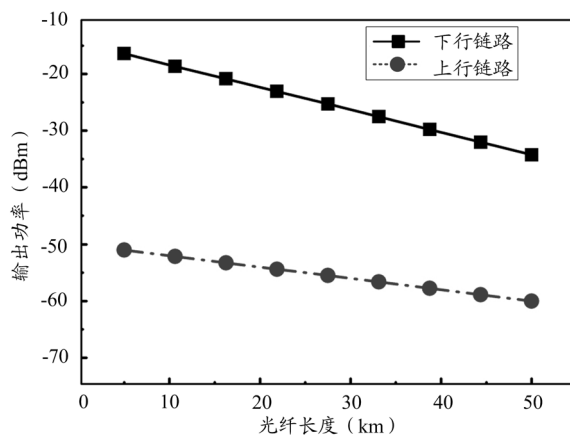
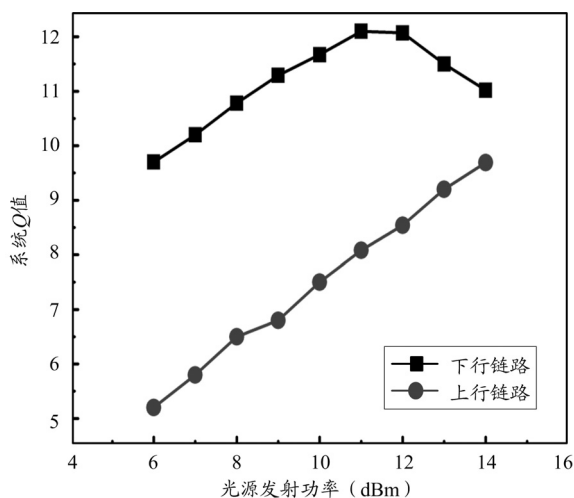


图4 上行及下行链路在不同光纤长度下所对应的接收光功率

图5 下行链路和上行链路的系统 Q 值与中心站光源发射功率对应关系

线。从图 5 可以看出,对下行链路而言,随着光源发射功率的增大,系统 Q 值先增大后减小,转折点发生在中心站光源发射功率为 11dBm 时,此时系统最大 Q 值为 12;当中心站光源发射功率增大到 14dBm 时,系统 Q 值又减小到 11。系统 Q 值呈现出先增大后减小的趋势,主要是因为中心站光源发射功率增大初期,耦合进下行光纤的光功率也逐渐增强,此时系统信噪比变大,系统性能变好,最终使系统 Q 值升高。当中心站光源发射功率增大到 11dB 时,系统信噪比达到峰值。随着中心站光源发射功率继续增大,光纤中的非线性效应被激发出来,由于是单信道传输,非线性效应以自相位调制为主。而自相位调制的负面影响超过了光源发射功率增大所带来的正面影响,导致系统 Q 值随中心站光源发射功率升高而下降。对上行链路而言,系统 Q 值随中心站光源发射功率增大而增大,这主要是因为 FBG 所透射的光功率(上行链路所对应的光功

率)随中心站光源发射功率变化,但光功率并未触发非线性效应,从而导致上行链路系统 Q 值呈现线性上升的趋势,当下行链路光源发射功率从 6dBm 增大到 14dBm 时,上行链路系统 Q 值从 5.2 增大到 9.7。故在实际 RoF 系统设计中应合理设置中心站光源发射功率。

图 6 给出了上行链路在背靠背和传输 21.8km 后不同接收光功率与误码率的对应关系。图 6 中,当接收机光功率为 -22dBm 时,背靠背传输所对应的误码率为 3.5×10^{-13} ,而上行链路传输 21.8km 时所对应的误码率为 4.3×10^{-9} 。当系统误码率为 10^{-9} 、上行链路传输 21.8km 时对应的接收机光功率为 -21.7dBm,而背靠背传输时所对应的接收机光功率为 -23.8dBm,接收机光功率代价为 2.1dB。

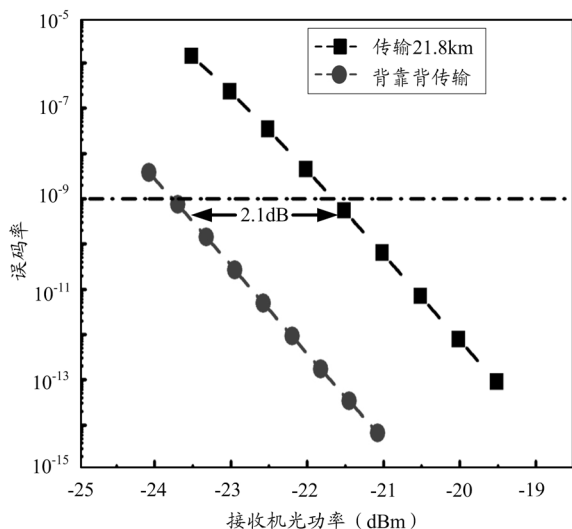


图 6 上行链路背靠背和传输 21.8km 时不同接收光功率下的误码率

3 结束语

本文设计了一种基于幅度调制的全双工单边带 RoF 传输系统,为降低基站复杂度,在基站处采用 FBG 进行波长重用,并进行了系统性能仿真。结果表明随

着传输距离增大,下行和上行链路的系统 Q 值都随传输距离的增大而减小。当下行和上行链路的传输距离为 5km 时,两系统 Q 值近乎相等,约为 12.1。当光纤长度变为 30km 时,下行链路的系统 Q 值降低到 9.7,而上行链路的系统 Q 值则降为 5.2,这表明随着传输距离的增大,上行链路性能下降明显。中心站光源发射功率增大时,下行链路系统性能呈现倒“U”型,即系统 Q 值先增大后减小,当中心站光源发射功率增大到 11dBm 时,系统 Q 值达到最大(值为 12)。随着光功率的进一步增大,引起下行链路中的非线性效应,导致系统性能开始降低。而上行链路系统 Q 值呈现线性上升趋势,表明并未达到非线性效应阈值。对上行链路而言,当传输距离为 21.8km 且系统误码率为 10^{-9} 时,在中心站处的接收机光功率代价为 2.1dB。相关结果为实际 RoF 系统设计提供了理论参考。

参考文献:

- [1] ZHANG X, LIU T, SHEN D. Investigation of broadband digital predistortion for broadband radio over fiber transmission systems[J]. Optics Communications, 2016(381): 346-351.
- [2] ZHU R, ZHANG X, SHEN D, et al. Ultra Broadband Predistortion Circuit for Radio-over-Fiber Transmission Systems [J]. Journal of Lightwave Technology, 2016, 34(22): 5137-5145.
- [3] 刘海燕, 彭利红. 一种基于 OPM 和 FBG 滤波器的新型双工 RoF 系统[J]. 光电子·激光, 2015(8): 1479-1485.
- [4] 税奇军, 唐炳华, 张莉. 光纤无线电系统中两路毫米波信号的同时产生[J]. 激光与红外, 2014(1): 77-79.
- [5] THOMAS V A, EL-HAJJAR M, HANZO L. Performance Improvement and Cost Reduction Techniques for Radio Over Fiber Communications[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2015, 17(2): 627-670.
- [6] ZACHARIAS J, CIVIN V, NARAYANAN V. DWDM millimeter - wave generation and wavelength reuse in radio over fiber systems [J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2017, 59(4): 983-986.
- [7] MA J, LI Y. A full-duplex multiband access radio-over-fiber link with frequency multiplying millimeter-wave generation and wavelength reuse for upstream signal[J]. Optics Communications, 2015(334): 22-26.

优秀论文评选活动公告

为推动光通信技术的发展,促进技术交流,活跃学术气氛,广开科研思路、加强科技合作,及时刊登本领域的前沿信息,努力开阔广大科研人员的学术和技术视野,从 2006 年第 1 期开始,本刊根据文章质量评选优秀论文,获得优秀论文的作者由本刊给予一定额度的奖金。敬请广大作者积极支持我们的工作,踊跃佳作,与我们共同携手把《光通信技术》办得更好。