

光载无线电中新型光信息编码调制组合技术研究

李广¹ 陈银² 黄旭光²

¹广东科学技术职业学院, 广东 珠海 519090

²华南师范大学光子信息技术广东省高校重点实验室, 广东 广州 510631

摘要 提出一种新型光信息编码调制组合方案, 该方案采用双重光学双臂外部调制和新型光信息编码实现超远距离高速光载无线电(RoF)传输通信。通过第一次光学双臂外部调制产生新型光学信号, 其信号码型有效带宽比普通光学非归零码少了一半。通过第二次光学双臂外部调制把超高频毫米波信号调制到光波上, 实现光载无线电传输。通过高级光学系统专用开发套件(OptiSystem)模拟仿真得出: 在眼图显示正常、传输系统误码率可控范围内, 该光纤无线电传输系统的码元传输距离为 1.6×10^6 m, 速度高达40 Gb/s。

关键词 光纤光学; 光纤无线电; 光电外部相干调制; 新型光信息编码; 微波通信; 射频拉远

中图分类号 TN929.11

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.040604

Study of New Type of Optical Information Coding and Modulation Technology in Radio over Fiber

Li Guang¹ Chen Yin² Huang Xuguang²

¹Guangdong Institute of Science and Technology, Zhuhai, Guangdong 519090, China

²Laboratory of Photonic Information Technology, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510631, China

Abstract A new type of optical information coding and modulation combination scheme is proposed, and the high speed long distance radio over fiber (RoF) communication is realized by using double photoelectric arms coherent modulation and new optical information coding technology. In the first modulation, the effective bandwidth of signal code is the half of the effective bandwidth of non return to zero code of ordinary optical. In the second modulation, the ultra-high frequency millimeter wave is modulated to the light wave in order to realize radio over fiber transmission. By advanced optical system development software(OptiSystem) simulation, the simulation results show that when eye diagram is normal and the bit error rate of transmission system can be controlled, the transmission distance of code in radio over fiber communication system is 1.6×10^6 m, and the speed is 40 Gb/s.

Key words fiber optics; radio over fiber; photoelectric external coherent modulation; new optical information coding; microwave communication; radio frequency remote

OCIS codes 060.1660; 060.2330; 250.4745; 060.4510; 060.5625

1 引言

随着通信技术的高速发展, 无线微波通信的便捷性与光纤有线通信的高速海量性越来越受到人们的青睐。因此光纤与无线的融合通信技术是未来的一个发展方向。20世纪90年代, Cooper博士提出光纤微波传输概念, 即是光载无线电(RoF)技术, 所谓RoF技术就是指利用光纤作为传输介质来传输宽带高频、超高频信号的一种传输技术。近年来, 关于RoF系统设计方面的研究在国内外期刊上已有很多报道^[1-6]。然而关于RoF的光信息编码上研究较少, 并且其相关报道中, 单通道超长距离码元传输的速率很难突破20 Gb/s。

本文提出一种新型光信息编码调制组合方案, 该方案采用双重光学双臂外部调制和新型光信息编码技

收稿日期: 2014-05-20; 收到修改稿日期: 2014-06-29; 网络出版日期: 2015-03-31

资助基金: 国家自然科学基金(61077038)、广东省高等院校学科建设专项资金(2012KJCX0038)

作者简介: 李广(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事信息与通信技术方面的研究。

E-mail: 276563188@qq.com

术实现超远距离高速光载无线电传输通信。在传输系统误码率、眼图显示正常可控范围内,该光载无线电传输系统的码元传输距离为 1.6×10^6 m,速度高达 40 Gb/s。

2 系统整体设计

双重光电双臂外部调制和新型光学信息编码实现超远距离光载无线电传输系统的实验装置图如图 1 所示。

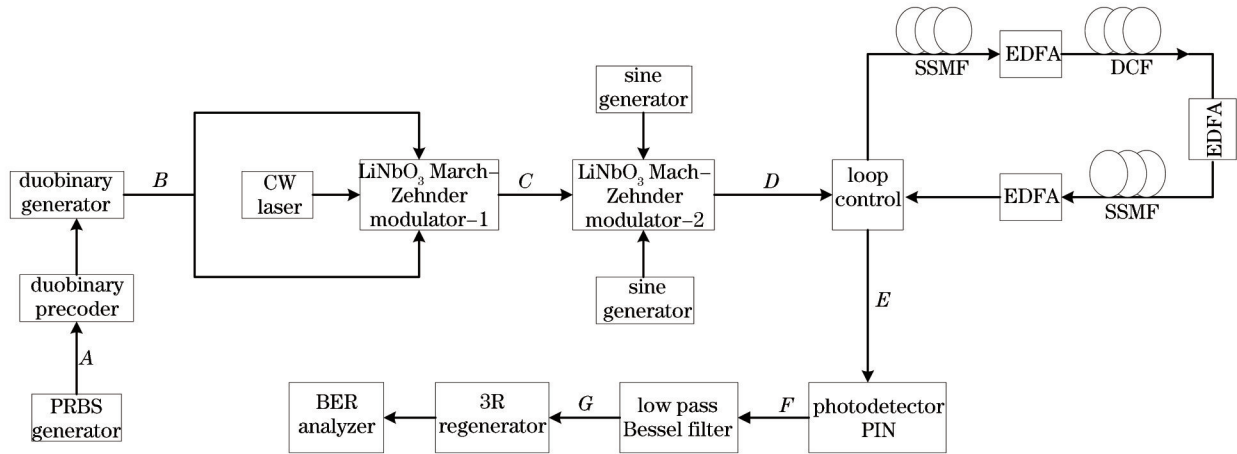


图 1 光载无线电传输系统原理框图

Fig.1 Schematic layout of RoF system

在发射端,伪随机信号(PRBS)发生器通过双二进制预编码、经双二进制发生器生成电双二进制信息,电双二进制信息通过第一个双臂 LiNbO_3 马赫-曾德尔调制器(MZM)调制直流(CW)激光;调制后的光载波信息通过第二个双臂 LiNbO_3 MZM 调制超高频载波电信号,调制后的光电复合载波信息通过光循环控制器经过标准单模光纤(SSMF)、掺铒光纤放大器(EDFA)、色散补偿光纤(DCF)、EDFA、SSMF、EDFA 再次进入光循环控制器。

在接收端,光电复合载波信息经光循环控制器处理后通过 PIN 光电探测器、低通贝塞尔滤波器、全光 3R(再放大、再定时、再整形)再生器后进入误码(BER, R_{BE})分析仪。

3 基本原理与仿真分析

伪随机信号发生器产生速率为 40 Gb/s 的伪随机信号,通过双二进制预编码、双二进制发生器输出电双二进制信息。在原理图 A 点获取非归零(NRZ)码二进制信号仿真频谱图如图 2 所示;在原理图 B 点获取电双二进制信号仿真频谱图如图 3 所示。电双二进制信息通过第一个双臂偏置电压分别为 1 V 与 5 V、消光比为 20 dB、调制电压分别为 4 V 与 -4 V 的 LiNbO_3 MZM 调制器调制输出功率为 0 dBm、中心波段为 1550 nm 直流激光,在原理图 C 点获取一级调制光载波信号仿真光谱图如图 4 所示;一级调制后的光载波信号通过第二个双臂偏置电压分别为 0 V 与 0 V、消光比为 20 dB、调制电压分别为 2 V 与 -2 V 的 LiNbO_3 MZM 调制器被 40 GHz

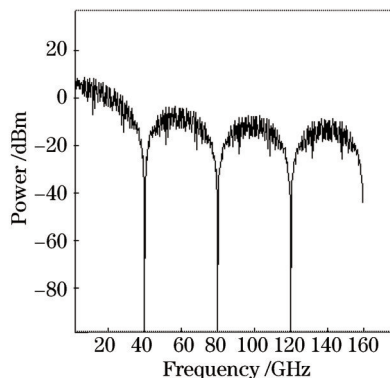


图 2 NRZ 码二进制信号仿真频谱图

Fig.2 Simulation spectrum of NRZ code binary signal

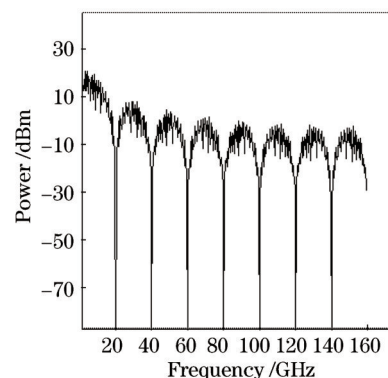


图 3 电双二进制信号仿真频谱图

Fig.3 Simulation spectrum of duobinary code signal

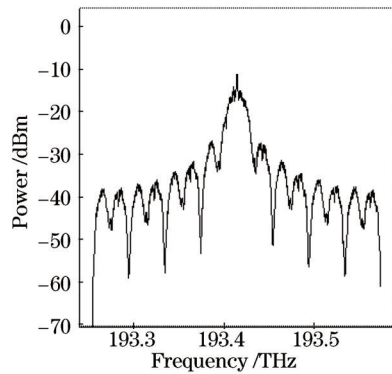


图4 一级调制光载波信号仿真光谱图

Fig.4 Simulation spectrum of first modulated optical carrier signal

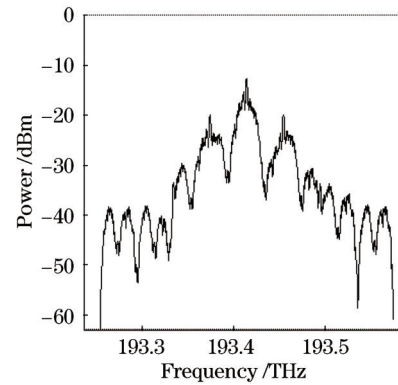


图5 二级调制光载波信号仿真光谱图

Fig.5 Simulation spectrum of second modulated optical carrier signal

正弦微波信号调制的二级光载波信号仿真光谱图如图5所示(即原理图D点处的光谱图)。

二级调制后的光电复合载波信息通过由循环次数为25的光循环控制器经过25 km的标准单模光纤、增益为5 dB噪声系数为6 dB的掺铒光纤放大器、色散系数为 $-85 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$,衰减系数为0.5 dB/km的10 km色散补偿光纤、增益为5 dB噪声系数为6 dB的掺铒光纤放大器、25 km的标准单模光纤、增益为5 dB噪声系数为6 dB的掺铒光纤放大器组成的循环传输线路。

长距离传输后的光载波信号通过PIN光电探测(PIN管的接收带宽为 $1.6\times 10^{12} \text{ Hz}$ 、响应度为1 A/W、暗电流为10 nA、热噪声为 10^{-22} W/Hz)后生成40 GHz微波载波信号频谱图如图6所示(即原理图F点处的频谱图)。40 GHz的微波载波信号通过降频、低通滤波、3R获取系统传输眼图如图7所示。传输系统误码率与PIN光电探测管接收到的光功率之间的关系曲线图如图8所示。

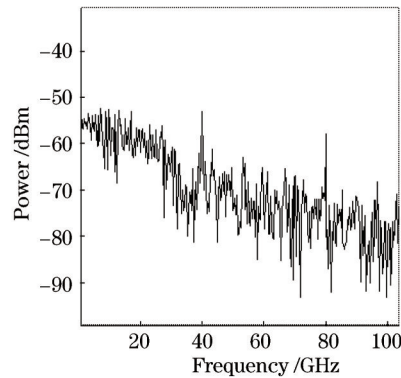


图6 40 GHz微波载波信号频谱图

Fig.6 Frequency spectrum of 40 GHz radio carrier signal

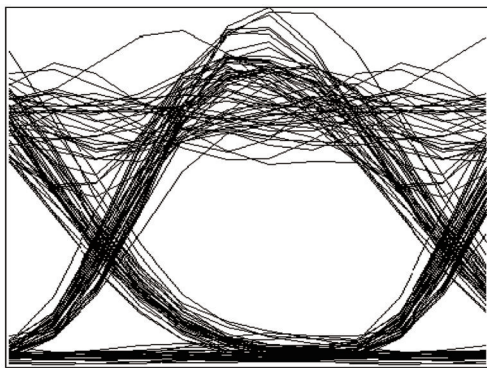


图7 系统传输眼图

Fig.7 Eye diagram of the radio over fiber transmission system

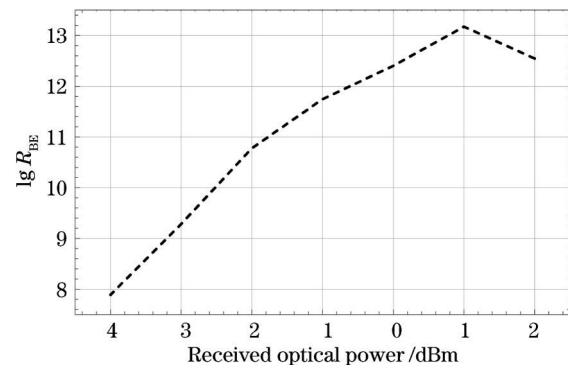


图8 误码率与接收端光功率关系曲线图

Fig.8 Relationship curve between bit error rate and optical received power

图2的NRZ码二进制信号仿真频谱图及图3的电双二进制信号仿真频谱图对比可以看出,普通NRZ编码的数字信号在进行40 Gb/s的速度进行传输时,其所占用频谱带宽是电双二进制编码数字信号在进行40 Gb/s的速度进行传输时的两倍。因此电双二进制编码比NRZ编码在大容量通信传输方面有明显的带宽优势。由图4的一级调制光载波信号仿真光谱图及图5的二级调制光载波信号仿真光谱图对比可知,光载波中心频率没有发生变化,光载波波段为1550 nm,然而中心频率左右两边的谐波边带的带宽却不一样。一级调制光载波信号其谐波边带的产生是由于电双二进制数字信号调制激光光波产生的,其每个谐波带宽与电双二进制的传输带宽保持一致,即是20 GHz的带宽,而二级调制光载波信号器谐波边带的产生是由于40 GHz正弦微波信号调制一级调制光载波信号产生的,其每个谐波带宽与正弦微波调制信号相同,即是40 GHz的带宽。对于双臂LiNbO₃ MZM调制器其信号传输变换关系可以表示为^[7]

$$E_0(t) = E_{in}(t) \cdot \left\{ \gamma \cdot \exp \left[\frac{j \cdot \pi \cdot v_2(t) + j \cdot \pi \cdot V_{bias2}}{V_{\pi DC}} \right] + (1 - \gamma) \cdot \exp \left[\frac{j \cdot \pi \cdot v_1(t) + j \cdot \pi \cdot V_{bias1}}{V_{\pi DC}} \right] \right\} / (10^{L_{loss}/20}), \quad (1)$$

式中 $E_{in}(t)$ 是输入的调制信号, $E_0(t)$ 是调制后的光载波信号, $V_1(t)$ 、 $V_2(t)$ 是射频调制电压, V_{bias1} 、 V_{bias2} 是双臂的直流偏置电压, γ 是双臂调制器的激光功率分配比例, $V_{\pi DC}$ 是直流驱动电压, L_{loss} 是双臂光电调制器的插入损耗。由图7的系统传输眼图可知,虽然信号经过了1600 km的长距离高速射频光纤传输,系统传输模型眼图依然很清晰,眼图的眼张开度较大说明信号经长距离传输后信噪比相对较好,信号恶化程度较低;眼图的眼边厚度,其下边较好,上边厚度较大些,这说明数字0低电平信号码间串扰很低,数字1高电平信号的码间串扰较大些;眼图的眼边上升沿和下降沿相对清晰规整,说明在接收端信号的抖动和判决误差较小,以此可综合地定性分析出该系统传输整体性能相对较好。由图8的误码率与接收端光功率关系曲线图来看,信号经过长距离传输、处理后,仍保持较低的误码率,误码率基本维持在 10^{-8} 到 10^{-13} 之间,即系统传输可靠性较高。然而从图8中看出,随着发射功率的增大或者接收端信号的重新放大处理都会带来系统误码率的增加,这是因为一味地通过增强有用信号的功率来提高信噪比或降低误码率不太现实,毕竟在对有用信号增强的同时也放大了噪声和干扰信号。

4 结 论

光纤与无线融合通信技术是未来通信发展的方向之一,但是由于其超高频载波信号通过光纤传输的非线性效应,使得传统的光载无线电系统的传输距离和码元速率很难有大幅度的改进与提高,故提出了新型光信息编码调制组合方案,在一定程度上大幅度地改善提高了光载无线电系统的传输距离和码元速率。因此,选择合适的光学调制技术和光学信息编码技术,对于解决光载无线电信息传输是非常必要的。基于高效光学调制与信息编码组合技术的光载无线电传输系统,是解决未来大都市与大都市间广域网无线传输的可行方案之一。

参 考 文 献

- 1 Borja Vidal, Teresa Mengual, Cristina Ibanez-Lopez, *et al.*. WDM photonic microwave filter with variable cosine windowing based on a DGD module [J]. IEEE Photon Technol Lett, 2006, 18(21-24): 2272-2274.
- 2 Qing Wang, Howard Rideout, Fei Zeng. Millimeter-wave frequency tripling based on four-wave mixing in a semiconductor optical amplifier [J]. IEEE Photon Technol Lett, 2006, 18(23): 2460-2462.
- 3 Shigehiro Takasaka, Yasuyuki Ozeki, Shu Namiki, *et al.*. External synchronization of 160-GHz optical beat signal by optical phase-locked loop technique [J]. IEEE Photon Technol Lett, 2006, 18(23): 2457-2459.
- 4 J X Cai, Y Cai, C R Davidson, *et al.*. 100-Gb/s undersea transmission with high spectral efficiency using pre-filtered QPSK modulation format [J]. Chin Opt Lett, 2010, 8(9): 831-836.
- 5 Qi Tang, Lin Chen, Jiangnan Xiao, *et al.*. Experiment on 60-GHz MMW transmission performance in an optical fiber and wireless system [J]. Chin Opt Lett, 2011, 9(5): 050601.
- 6 Yiling Wu, Juhao Li, Chunxu Zhao, *et al.*. Coherent optical OFDM scheme with inter-carrier interference self-cancellation and common phase error compensation [J]. Chin Opt Lett, 2010, 8(7): 634-638.
- 7 Cartledge J C. Performance of 10 Gb/s lightwave systems based on lithium niobate Mach-Zehnder modulators with asymmetric Y-branch waveguides [J]. IEEE Photon Technol Lett, 1995, 7(9): 1090-1092.

栏目编辑: 王晓琰