

文章编号: 0258-7025(2008)12-1910-04

采用两个级联外部调制器产生四倍频 光载毫米波的光纤无线通信系统

陈罗湘^{1,2} 卢嘉¹ 董泽¹ 陈林¹ 余建军¹

(¹ 湖南大学计算机与通信学院, 微纳光电器件及应用教育部重点实验室, 湖南长沙 410082)
² 湘潭职业技术学院通信工程系, 湖南湘潭 411102)

摘要 研究了一种采用两个级联外部调制器基于光载波抑制原理产生四倍频毫米波的光纤无线通信(ROF)系统。在中心站利用电混频器产生副载波复用信号,通过第一个外部调制器产生两倍射频(RF)信号的光载毫米波信号,再通过第二个外部调制器产生四倍射频信号的光载毫米波。实验显示采用频率为 10 GHz 的射频信号源和 2.5 Gbit/s 的数据基带信号混频通过两个级联外部调制器后产生毫米波的频率为 40 GHz,并且在单模光纤中传输距离达 20 km,功率代价小于 2 dB。

关键词 光通信; 光纤无线通信系统; 外部调制器; 光载毫米波; 光载波抑制; 下行链路

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20083512.1910

A Radio Over Fiber System Based on Two External Modulator for Optical Millimeter Generation with Photonic Frequency Quadruple

Chen Luoxiang^{1,2} Lu Jia¹ Dong Ze¹ Chen Lin¹ Yu Jianjun¹

(¹ Key Laboratory of Micro-Nano Optoelectronic Devices and Applications, Ministry of Education, School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China)
² Department of Information Engineer, Xiangtan Vocational & Technical, Xiangtan, Hunan 411102, China)

Abstract A radio over fiber (ROF) system to generate optical millimeter wave with four time frequency of the local oscillator frequency using two-cascaded intensity modulators based on optical carrier suppression scheme was investigated numerically and experimentally. In the central office, the upstream data were mixed with the radio frequency (RF) clock to generate a electrical signal, and then an external modulator was used to generate a optical millimeter with double frequency of RF clock, after the second external modulator, the optical millimeter wave was generated with frequency quadruple. By this scheme, a 40 GHz millimeter wave was generated by the frequency mixing of the 10 GHz signal source and the 2.5 Gbit/s baseband data signal passing through the two external modulator. After transmission over single-mode fiber (SMF) 20 km, the power penalty is less than 2 dB.

Key words optical communications; radio over fiber system; external modulator; optical millimeter wave; optical carrier suppression; downstream

1 引言

光纤通信中的光纤无线通信(ROF)技术将会成为解决下一代超宽带无线接入最具前景的技术^[1~5]。ROF 系统具有低衰减损耗、大带宽、易安装、易维护、低功率损耗等优点^[6~15]。

产生光载毫米波信号是 ROF 系统的关键技术。迄今为止,已提出了三种产生毫米波的技术:直接强度调制技术、外部强度调制技术以及远程外差技术。目前 ROF 系统中产生光载毫米波的首选技术是外部强度调制技术,这种基于低成本、低频率本

收稿日期:2008-03-04; 收到修改稿日期:2008-04-14

基金项目:国家 863 计划(2007AA01Z263)和河南省自然科学基金(06JJ50108)资助项目。

作者简介:陈罗湘(1965—),男,湖南人,副教授,硕士研究生,主要从事光纤通信和电气工程与电力电子技术方面的研究。

E-mail: clxclx10@163.com

导师简介:陈林(1968—),男,湖南人,教授,博士生导师,主要从事光纤通信方面的研究。E-mail: lililiu@sina.com

地振荡信号和低带宽的外部调制器产生的光载毫米波^[3~11], 有较高的可靠性。基于外部强度调制技术产生倍频毫米波信号的方法有三种: 1) 利用半导体光放大器的四波混频(FWM)作用产生倍频毫米波信号^[13]; 2) 利用载波抑制(OCS)产生四倍频毫米波信号^[14]; 3) 利用调制器级联产生光载毫米波, 调制器级联可以降低调制器的带宽。

利用文献[14]产生光载毫米波的方案, 并将数据信号上传到光载毫米波上, 进行实验研究。在中心站将基带数据信号与射频信号混频产生副载波复用信号, 再用副载波复用信号驱动强度调制器, 利用载波抑制原理产生只有两个一阶边带的光信号, 此信号再驱动第二个强度调制器, 利用载波抑制原理产生只有两个二阶边带的光信号, 即可得四倍频的光载毫米波信号。

2 ROF 系统原理及模拟仿真结果

2.1 ROF 系统原理

基于载波抑制原理采用两个级联外部调制器产生毫米波的 ROF 系统原理图如图 1 所示, 分布式反馈激光器(DFB-LD)产生连续光波作为光载波, 下行链路数据基带信号与频率为 f_0 的射频信号进行混频, 通过第一个强度调制器产生只有一阶边带的调制信号, 再通过第二个强度调制器输出光载毫米波信号。射频信号 f_0 经过一定的相移通过第二个强度调制器后产生只有二阶边带的光信号, 此信号经过一定长度的光纤传输, 在基站通过高速光电探测器(PD)将产生 $4f_0$ 的电载毫米波信号, 通过天线发

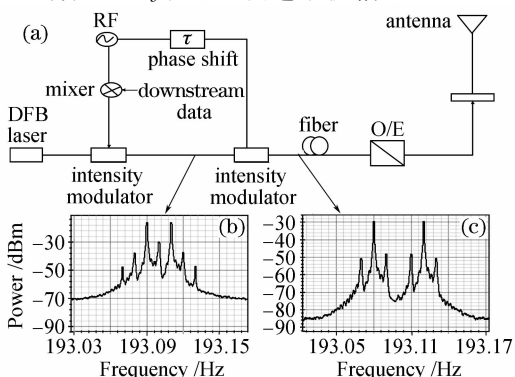


Fig. 1 (a) ROF system for mm-wave generation; (b) optical spectrum after first intensity modulator by simulation; (c) optical spectrum after second intensity modulator by simulation

射到大气中变为无线信号。

射到大气中变为无线信号。

2.2 模拟仿真结果

利用软件模拟仿真这一系统的性能, 分布式反馈激光器的中心频率为 193.1 THz, 两个级联强度调制器的射频信号的频率为 10 GHz, 射频信号相移后的相位之差为 90° 。每个调制器输出的光谱图分别为图 1 中的 (b) 和 (c)。根据载波抑制原理^[8], 当调制器不加信号时, 将调制器的偏置电压调节到一定的值使得其输出的光为最小值, 此时光载波得到抑制。可以看到, 在第一个调制器输出光谱图(图 1 (b))中, 两个一阶边带载波抑制比达到 15 dB, 一阶边带和其他阶边带的抑制比也达到 20 dB 以上。而在第二个调制器输出的光谱图(图 1 (c))中可以看到, 只有二阶边带而中心载波被抑制, 其对应其他阶边带抑制比达到了 20 dB 以上。将此信号经过光电探测器与 40 GHz 的射频信号混频, 分别模拟了无光纤传输和用单模光纤(SMF)传输 20 km 后解调出的信号眼图, 如图 2 所示。传输 40 km 以后, 基带信号的眼图仍然是很清晰的。

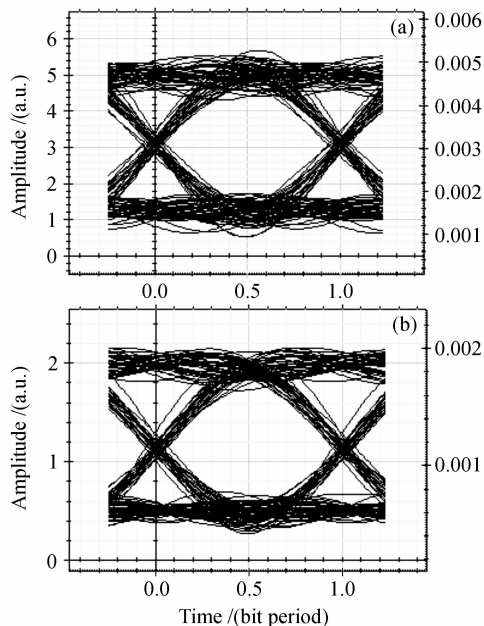


Fig. 2 Downconverted eye diagrams by simulation. (a) downconverted eye diagram without fiber transmission; (b) downconverted eye diagram after 20km fiber transmission

产生光载毫米波的 ROF 系统的实验装置如图 3

3 实验装置与结果

产生光载毫米波的 ROF 系统的实验装置如图 3

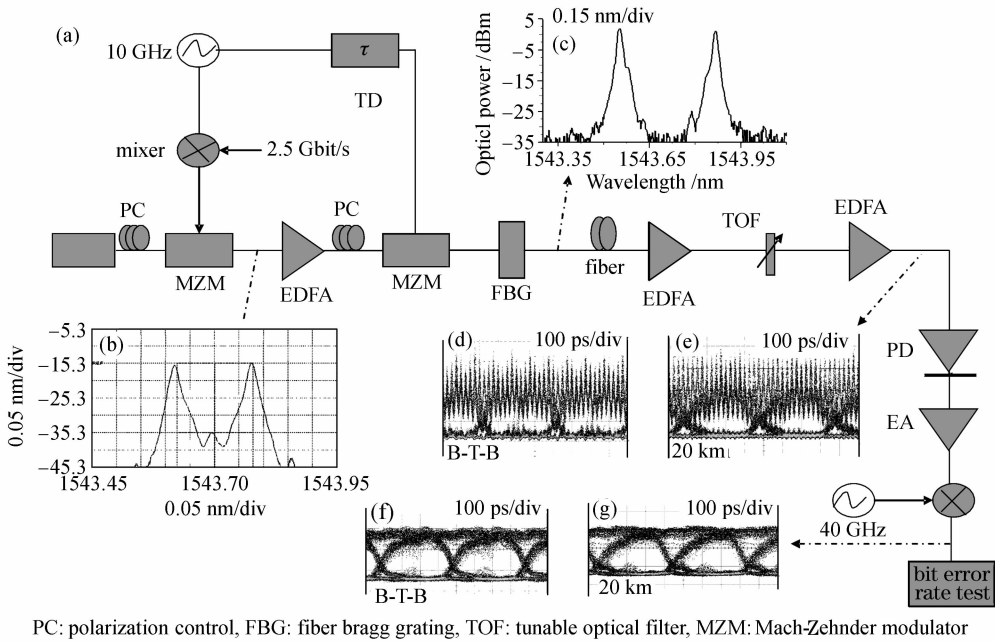


图 3 两个级联强度调制器产生毫米波的 ROF 系统实验装置图

Fig. 3 Experiment setup of ROF system for mm-wave generation based on two intensity modulator

所示。由 DFB-LD 激光器产生波长为 1543.7 nm 的连续光波, 进入马赫曾德尔强度单臂调制器 (MZM)。实验中采用下行链路数据信号为字长 $2^{31}-1$ 的伪随机码。下行链路的 2.5 Gbit/s 基带数据信号通过电混频器与 10 GHz 的射频信号混频得到副载波调制信号, 驱动单臂光强度调制器对光源产生的连续光载波进行调制, 得到只有一阶边带的调制信号。图 3 中的 (b) 点是测量出的第一个调制器输出的光谱图, 可以看到光载波被抑制, 而且两个一阶边带与其他阶边带的抑制比达到 20 dB 以上。第二个强度调制器的射频信号与第一个调制器相同只是相位改变了 $\pi/2$ 。用光纤布拉格光栅 (FBG) 滤掉多余的载波成分, 图 3 中的 (c) 点是测量出的第二个调制器输出的光谱图, 可以看到两个二阶边带具有相同的能量且高于其他阶边带约为 30 dB。然后此信号经过掺铒光纤放大器 (EDFA) 前置放大后通过带宽为 0.5 nm 的可调谐光滤波器 (TOF) 滤波后得到光载毫米波。光载毫米波通过 3 dB 带宽为 60 GHz 的高速光探测器变成电载毫米波。在经过第二个强度调制器后的光载毫米波的两个频率分量在光电转换时进行拍频产生重复频率为 40 GHz 的电载毫米波信号。图 3 中的 (d) 和 (e) 分别表示在无光纤传输和通过 20 km 的 SMF 传输后的光载毫米波信号的眼图 (测量时加了一个光电二极管)。在拍频之前光载毫米波经过传输不同距离的 SMF 的眼图如图 4 所示。通过实验可以看到再经过 40 km 的 SMF 传

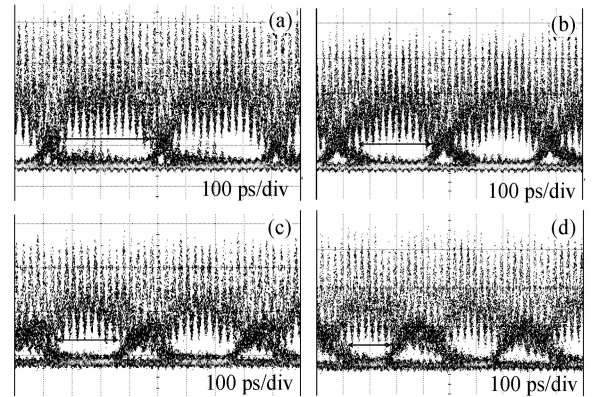


图 4 毫米波信号在传输不同距离的 SMF 的眼图

Fig. 4 Eye diagrams of optical mm-wave after different distances over SMF. (a) 10 km; (b) 20 km; (c) 30 km; (d) 40 km

输后眼图的占空比变小了, 这是由于色散的影响。

在此实验中, 并没有通过天线发射无线信号, 如图 3 所示, 用电混频器 (mixer) 代替用户终端对下行链路的信号进行接收和解调。毫米波信号与 40 GHz 的射频信号混频后解调得到基带数据信号并进行误码检测。图 3 中的 (f) 和 (g) 分别表示无光纤传输和通过 20 km 的 SMF 传输解调后的电载毫米波信号的眼图。可以看到在传输 20 km 后眼图依然清晰。实验结果与数值模拟仿真结果基本一致。利用型号为 Anritsu MPI 1764C 误码仪测量接收信号的误码, 测量得到的下行链路的误码特性曲线如图 5 所示。对于下行链路, 通过光纤传输 20 km

后,在误码率为 10^{-9} 情况下,接收机的灵敏度为 -20 dBm,功率代价可以少于 2 dB,功率代价是由于色散所导致的。

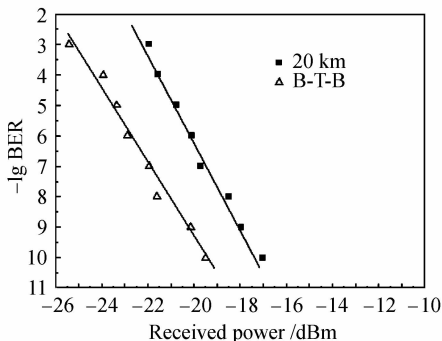


图 5 下行链路数据的误码特性曲线

Fig. 5 Bit error rate (BER) curves for downstream

4 结 论

研究了一种基于载波抑制原理采用两个级联的强度调制器产生四倍频毫米波信号的方法。此系统结构简单,只用了两个强度调制器,降低了中心站和基站的成本,容易实现。检测到的毫米波信号频率和幅度都比较稳定,而且其边带与其他不需要的边带的抑制比超过了 30 dB。分析了传输不同光纤距离后的眼图性能和在接收端解调后的下行链路数据的误码特性。对于下行链路,通过光纤传输 20 km 后,在误码率(BER)为 10^{-9} 情况下,接收机的灵敏度为 -20 dBm,功率代价可以少于 2 dB。通过实验证明此 ROF 系统比较稳定。

参 考 文 献

- H. Ogawa, D. Polifko, S. Bamba, Millimeter-wave fiber optics systems for personal radio communications [J]. *IEEE Trans. Microwave Theory Technol.*, 1992, **40**(12): 2285~2293
- M. Bakaul, A. Nirmalathas, C. Lim. Multifunctional WDM optical interface for millimeter-wave fiber-radio antenna base station [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2005, **23**(3): 1210~1218
- B. Masella, X. Zhang. A novel single wavelength balanced system for radio over fiber links [J]. *IEEE Photon. Technol.*

- Lett.*, 2006, **18**(1): 301~303
- C. Park, C. K. Oh, C. G. Lee *et al.*. A photonic up-converter for a WDM radio-over-fiber system using cross-absorption modulation in an EAM [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(9): 1950~1952
- J. Yu, J. Gu, Z. Jia *et al.*. Seamless integration of an 8×2.5 Gb/s WDM-PON and radio-over-fiber using all-optical up-conversion based on Raman-assisted FWM [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(9): 1986~1988
- G. H. Smith, D. Novak, Z. Ahmed. Overcome chromatic-dispersion effects in fiber-wireless systems incorporating external modulators [J]. *IEEE Trans. Microwave Theory Technol.*, 1997, **45**(8): 1410~1415
- L. Chen, Y. Shao, X. Lei *et al.*. A novel radio-over-fiber system with wavelength reuse for upstream data connection [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(6): 387~389
- J. Yu, Z. Jia, L. Yi *et al.*. Optical millimeter-wave generation or up-conversion using external modulators [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(1): 265~267
- G. Qi, J. Yao, J. Seregelyi *et al.*. Generation and distribute of a wide-band continuously tunable millimeter-wave signal with an optical external modulation technique [J]. *IEEE Trans. Microwave Theory Technol.*, 2005, **53**(10): 3090~3097
- J. Ma, J. Yu, C. Yu *et al.*. Fiber dispersion influence on transmission of the optical millimeter-waves generated using LN-MZM intensity modulation [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2007, **25**(11): 3244~3256
- M. Attygalle, C. Lim, G. J. Pendock *et al.*. Transmission improvement in fiber wireless links using fiber Bragg gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(1): 190~192
- J. O'Reilly, P. M. Lane, R. Heidemann *et al.*. Optical generation of very narrowlinewidth millimeterwave signals [J]. *Electron. Lett.*, 1992, **28**: 2309~2311
- T. Wang, M. Chen, H. Chen *et al.*. Millimeter-wave signal generation using FWM effect in SOA [J]. *Electron. Lett.*, 2007, **43**(1): 36~38
- J. Zhang, H. Chen, M. Chen *et al.*. A photonic microwave frequency quadrupler using two cascaded intensity modulators with repetitious optical carrier suppression [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(14): 1057~1059
- Wen Hong, Chen Lin, Pi Yazhi *et al.*. Full-duplex radio-over fiber system with optical millimeter-wave generation utilizing optical phase modulator [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(7): 935~939
- 文 鸿,陈 林,皮雅雅等. 基于相位调制器产生光毫米波的全双工光纤无线通信系统[J]. *中国激光*, 2007, **34**(7): 935~939
- Huang Cheng, Chen Lin, Yu Jianjun *et al.*. Millimeter-wave generation utilizing one phase modulator [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(1): 73~76
- 黄 诚,陈 林,余建军等. 采用单个相位调制器产生毫米波[J]. *中国激光*, 2008, **35**(1): 73~76