

文章编号: 0258-7025(2010)04-1018-04

基于 60 GHz 光毫米波的光纤无线 传输系统实验研究

董 泽 曹子峥 陈 林 文双春

(湖南大学计算机与通信学院, 湖南大学微纳光电器件及应用教育部重点实验室, 湖南 长沙 410082)

摘要 实验研究了一种采用马赫-曾德尔电光调制器产生 60 GHz 光毫米波的方法和相应的光纤无线传输(ROF)系统。在中心站采用单臂的马赫-曾德尔强度调制器(IM)通过光载波抑制(OCS)方式产生光毫米波,光毫米波的频率为 2 倍射频(RF)信号的频率。然后再利用另一个电光马赫-曾德尔调制器将下行基带数据信号调制到光毫米波上。下行信号经光纤链路传送至基站单元,光毫米波信号经高速光电转换器产生 60 GHz 的电毫米波,经过放大后,由天线发送出去。在用户单元通过天线接收到的电毫米波信号利用相干解调恢复下行的基带数据信号。实验显示采用频率为 29 GHz 射频信号产生光毫米波的频率为 58 GHz,将下行链路中 2.9 Gbit/s 的数据在单模光纤中传输距离达 20 km,且实现无线传输 2.6 m。

关键词 光通信;光纤无线传输;光毫米波产生;光载波抑制;相干解调

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20103704.1018

Experimental Research on a Radio-Over-Fiber System Based on 60 GHz Millimeter-Wave

Dong Ze Cao Zizheng Chen Lin Wen Shuangchun

(Key Laboratory for Micro/Nano Opto-Electronic Devices of Ministry of Education,
School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China)

Abstract An integrated radio-over-fiber (ROF) system with 60 GHz wireless mm-wave transmission by using optical carrier suppression (OCS) is proposed and experimentally demonstrated. A Mach-Zehnder single-arm intensity modulator (IM) is employed to generate 60 GHz millimeter-wave by OCS, and the 2.9-Gbit/s on-off keying (OOK) signal is modulated on mm-wave by using other IM. Then the downstream signal is transmitted from central office to base station by fiber link. In the base station, the mm-wave is detected by a high-speed optical/electrical (O/E) converter before it is amplified by an electrical amplifier and beamed by the antenna. The received wireless mm-wave is demodulated by coherent demodulate to retrieve the baseband signal. The experimental results show that the 58 GHz optical millimeter-wave will be generated by 29 GHz radio frequency resource, and 2.9 Gbit/s downstream and upstream data can be transmitted over 20 km in fiber, and 2.6 m wireless distance can be realized simultaneously.

Key words optical communications; radio-over-fiber; generation of mm-wave; optical carrier suppression; coherent demodulate

1 引 言

随着无线接入、移动多媒体业务的迅速发展,用户对同时的语音、图像和数据服务以及高速无线通

信的容量和需求与日俱增,毫米波通信因能提供较大的带宽而成为未来通信发展的主要发展方向之一^[1~10]。近年来以光毫米波为核心技术的光纤无

收稿日期:2009-02-09;收到修改稿日期:2009-06-10

基金项目:国家 863 计划(2007AA01Z263,2009AA01Z222)和教育部光通信及光波技术重点实验室(北京邮电大学)开放基金资助课题。

作者简介:董 泽(1984—),男,博士研究生,主要从事光纤无线传输技术方面的研究。E-mail:1234abcd09@163.com

导师简介:陈 林(1968—),男,博士,教授,主要从事光纤无线传输和全光通信网方面的研究。

E-mail:liliuchen12@vip.163.com(通信联系人)

线通信(ROF)系统是下一代光纤通信研究的热点。ROF 系统可以充分利用其光纤传输段不受带宽限制的特点并结合无线通信技术的灵活性,将无线网络和光纤网络融合起来,在简化基站降低系统成本的基础上增加了接入网容量和移动性。在 ROF 系统中,复杂的信号处理单元置于中心站(CO),在中心站产生光毫米波,并通过光纤链路发送至基站(BS)单元。ROF 基站单元只包含简单的光电处理器件,即完成光电转换,并通过天线发送出去,同时也将天线收到的上行无线信号发送至中心站进行信号的处理^[11~15]。

国际上基于 40 GHz 光毫米波的 ROF 系统的研究已趋于成熟,但 ROF 基站和用户的连接(无线)也只是处于实验研究阶段。受到光电器件的限制,基于 60 GHz 光毫米波的 ROF 系统的实验研究也不完善。文献[5]中提出的基于外部调制器产生的 60 GHz 毫米波的 ROF 系统在 85 km 光纤链路传输后实现了 5 m 的无线传输,但是其下行基带数据信号仅为 156 Mbit/s 的差分相移键控(DPSK)信号。文献[6]中携带 120 Mbit/s 四相相移键控(QPSK)信号的 60 GHz 毫米波实现了 13 km 光纤传输和 5 m 的无线传输^[5~7],而 60 GHz 毫米波的 ROF 在保证超宽带的同时也要求更高的数据信号速率。在国内,包括用户终端的完整的 ROF 系统实验研究还未见有相关的报道^[3~5]。文献[3]仅对 60 GHz 的 ROF 系统进行了一些理论设计和模拟。本文采用成本低廉的外部调制器方式实验产生 60 GHz 毫米波,并通过光纤传输至基站,无线传输到用户端,将

开关键控(OOK)基带数据信号速率提升到 2.9 Gbit/s。

2 ROF 系统结构

采用马赫-曾德尔电光调制器产生 60 GHz 光毫米波的方法和相应的 ROF 通信系统原理如图 1 所示。图中 DFB 为分布反馈式激光器,IM 为马赫-曾德尔强度调制器,EDFA 为掺铒光纤放大器,RF 为射频信号,PD 为光电转换器,EA 为电放大器,SSMF 为标准单模光纤,antenna 为天线,LO 为本地振荡信号,LPF 为低通滤波器。由分布反馈式激光器(DFB-LD)产生连续波激光作为光载波,采用光强度调制器(IM1)通过光载波抑制(OCS)方式调制光载波信号,其中驱动 IM1 的射频信号频率为 f ,载波抑制调制后光谱的能量主要集中在两个一阶边带上。两个一阶边带的频率差为 $2f$,两者通过拍频就可以得到频率为 $2f$ 的毫米波。下行的基带数据信号通过另一个光强度调制器(IM2)直接调制光毫米波信号,EDFA 用于 IM1 以后的光功率补偿。光毫米波经光纤链路传送至基站后,由高速光电转换器(PD)转换为 60 GHz 电毫米波信号,再由天线发送到大气中。用户单元通过天线接收到的 60 GHz 信号可以通过相干解调恢复下行的基带数据信号。其中相干解调需要 60 GHz 的本地振荡与下行毫米波混频,再利用低通滤波器解调出基带数据信号。同时用户单元的上行数据信号可以通过天线传送至基站,基站单元通过电光调制后再经光纤链路传回中心站单元。

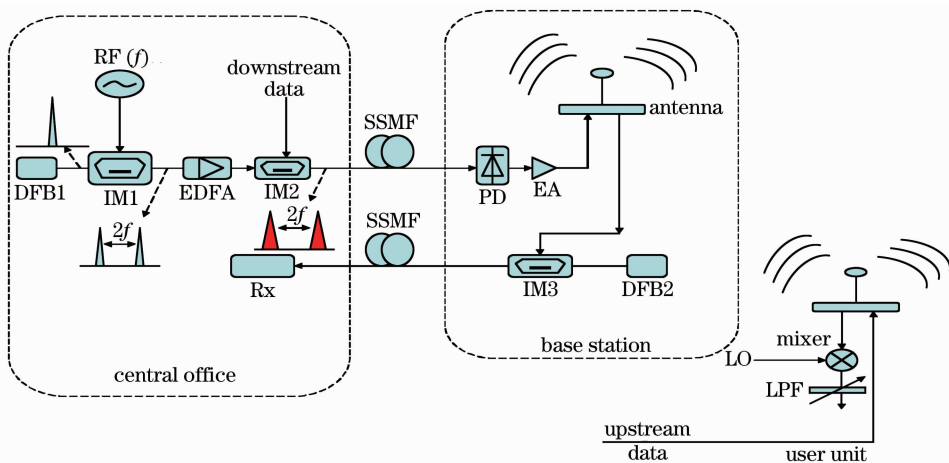


图 1 60 GHz 光毫米波 ROF 通信系统原理图

Fig. 1 Principle of the ROF system based on 60 GHz mm-wave

3 实验装置及结果

系统实验装置及结果示意图如图 2 所示。实验

装置的照片如图 3 所示。实验中采用 Ando 公司 6317 光谱分析仪检测光谱,其波长范围为 600~

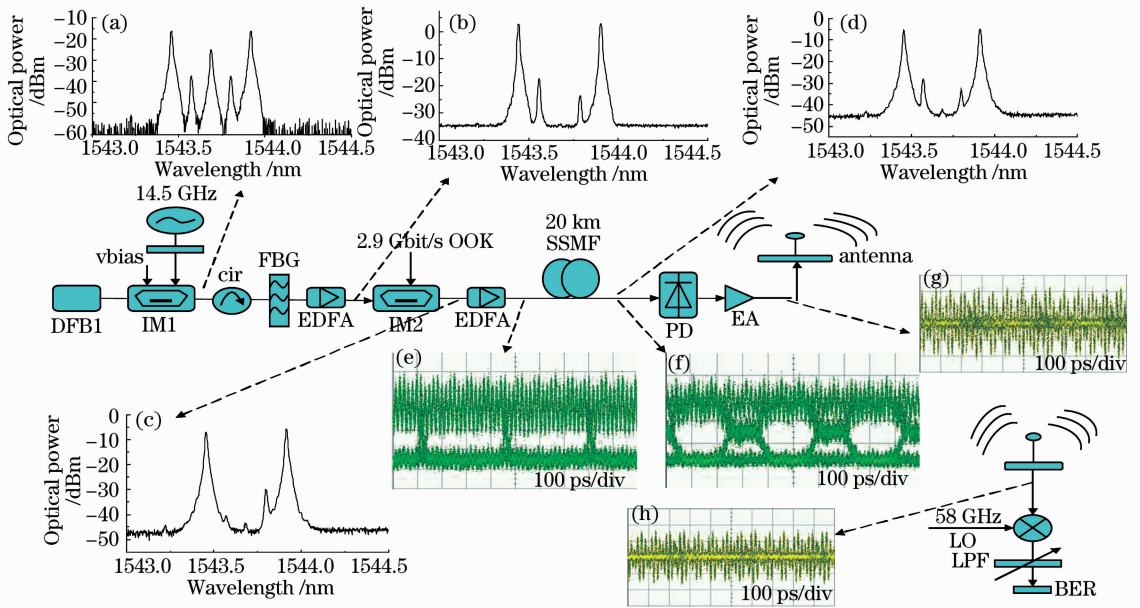


图2 60 GHz 光毫米波 ROF 通信系统实验装置图

Fig. 2 Configuration of experimental setup and results for the 60 GHz ROF system

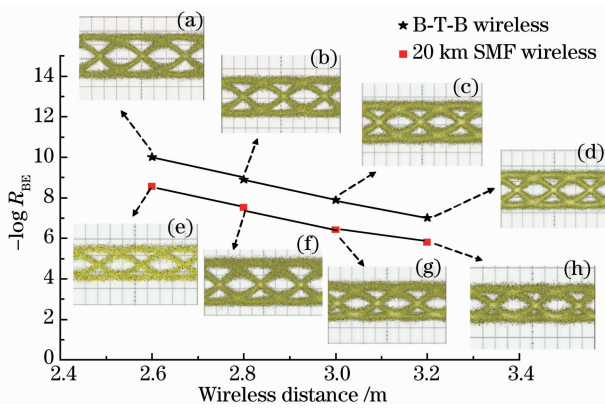


图3 60 GHz 光毫米波误码-无线距离曲线图

Fig. 3 Curves of BER-wireless distance performance

1700 nm, 最小分辨率为 0.01 nm。采用 Agilent 86100C 示波器测量眼图。本实验装置包括中心站、基站和用户单元 3 个模块。中心站主要功能是产生 60 GHz 的下行链路的毫米波信号。实验首先由一个分布反馈式激光器产生波长为 1543.78 nm 连续光载波, 进入 3 dB 带宽大于 20 GHz, 消光比大于 25 dB, 半波电压为 7.8 V 的马赫-曾德尔单臂强度调制器(IM1), 实现光载波抑制调制。实验采用 RF 频率为 14.5 GHz, 采用一个 1×2 倍频器将 RF 频率倍频为 29 GHz 后驱动 IM1, IM1 的偏置电压为 8.0 V。光载波信号经光载波抑制调制后, 光谱的能量主要集中在两个频率间隔为 0.47 nm (58 GHz) 的一阶边带上, 如图 2(a) 所示。为了得到更好的光载波抑制比, 实验采用一个 3 dB 带宽为 0.12 nm, 中心波长为 1543.78 nm 的布拉格光纤光栅 (FBG) 进一

步滤除中心载波, 抑制比达到 30 dB, 如图 2(b) 所示。实验采用一个 EDFA 对光毫米波光功率进行补偿后, 将光信号送至 IM2, 采用 2.9 Gbit/s 的非归零码开关控信号 (OOK-NRZ) 调制光信号, 携带基带数据信号的两个一阶边带拍频后得到 60 GHz 光毫米波信号。其中下行 2.9 Gbit/s 基带链路数据信号为字长 $2^{31} - 1$ 的伪随机码。光毫米波经过光纤链路之前采用一个 EDFA 实现光功率放大, 使其入纤功率为 3 dBm。光毫米波信号经 20 km 标准单模光纤传送到 ROF 基站。其经光纤链路传输前后的光谱图如图 2(c) 和 (d) 所示。基站单元包括高速光电转换器、电放大器和天线。纯净的光毫米波通过 3 dB 带宽为 60 GHz 的高速光检测器 (O/E) 变成电毫米波, 经 3 dB 带宽为 10 GHz, 中心频率为 60 GHz 的电放大器实现功率放大后, 再由发送功率为 19.2 dBm, 响应频率为 38~60 GHz 的天线发送到大气中。其中光纤传输前后的毫米波眼图如图 2(e) 和 (f) 所示。用户单元通过一个与基站单元相同的天线接收电毫米波, 采用一个电混频器 (mixer) 接收和解调基带数据信号。频率为 60 GHz 的本地振荡信号与天线接收的 60 GHz 毫米波信号混频后, 再经过电低通滤波器就可以解调出 2.9 Gbit/s 的 OOK 信号。

实验实现了 60 GHz 无线传输 3.2 m, 经过 20 km 光纤传输后, 无线用户端解调的基带数据信号在接收误码率为 1×10^{-9} 情况下的光接收灵敏度为 -17.8 dBm。60 GHz 毫米波的背后背 (B-T-B)、

经 20 km 标准单模光纤传输后的数据信号误码-无线距离曲线图如图 3 所示,其各个测量点的解调基带数据信号眼图如图 3(a)~(h)所示。随着无线距离的变长,由于衰减效应和多径效应,眼图的幅度逐渐变小,误码率(R_{BE})也逐渐变大。数据信号在误码率小于 1×10^{-9} 情况下,其无线传输最大距离为 2.6 m。由于光纤色散效应的影响,在相同无线传输距离的情况下,经 20 km SMF 传输后数据信号的无线传输误码要高于 B-T-B 的情况。可以看到即使经过 3.2 m 的无线传输,经过解调后的电眼图还是非常清楚。但是采用的误码仪的接收机灵敏度不高。因为电信号功率较小以及天线的方向性问题,误码率随着无线距离的增加下降得比较快。如果在误码仪的前面增加一个低噪声的高功率微波放大器,其无线传输距离能进一步提高。

4 结 论

建立了基于 60 GHz 光毫米波产生的 ROF 系统,携带 2.9 Gbit/s OOK 基带数据信号的光毫米波经 20 km 标准单模光纤传输后在基站实现了无线传输。数据信号在误码率小于 1×10^{-9} 情况下,其无线传输最大距离为 2.6 m。如果在接收机采用低噪声微波电放大器,其最大距离能够进一步延长。

参 考 文 献

- 1 J. Yu, Z. Jia, T. Wang *et al.*. Centralized lightwave radio-over-fiber system with photonic frequency quadrupling for high-frequency millimeter-wave generation [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(19):1499~1501
 - 2 M. Attygalle, C. Lim, G. Pendock *et al.*. Transmission improvement in fiber wireless links using fiber Bragg gratings [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2005, **17**(1):190~192
 - 3 Jiang Tao, Huang Dexiu, Zhang Xinliang *et al.*. A full duplex 60 GHz-band radio over fiber system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(1):36~42
- 江 涛,黄德修,张新亮等. 全双工 60 GHz 的光纤无线通信系统[J]. 光学学报, 2008, **28**(1):36~42

- 4 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
 - 5 Z. Dong, J. Lu, Y. Pi *et al.*. Optical millimeter-wave signal generation and wavelength reuse for upstream connection in radio-over-fiber systems [J]. *Journal of Optical Networking*, 2008, **7**(8):1~7
 - 6 T. Kuri, K. Kitayama, A. Stöhr *et al.*. Fiber-optic millimeter-wave downlink system using 60 GHz-band external modulation [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(5):799~806
 - 7 L. Noël, D. Wake, D. G. Moodie *et al.*. Novel techniques for high-capacity 60-GHz fiber-radio transmission systems [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1997, **45**(8):1416~1623
 - 8 R. P. Braun, G. Grosskopf, D. Rohde *et al.*. Optical millimeter-wave generation and transmission experiments for mobile 60 GHz band communications [J]. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(7):626~628
 - 9 L. Chen, H. Wen, S. C. Wen. A radio-over-fiber system with a novel scheme for millimeter-wave generation and wavelength reuse for up-link connection [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(19):2056~2058
 - 10 A. Kaszubowska, L. Hu, L. P. Barry. Remote downconversion with wavelength reuse for the radio/fiber uplink connection [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(4):562~564
 - 11 M. D. Feuer, J. M. Wiesenfeld, J. S. Perino *et al.*. Single-port laser-amplifier modulators for local access [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(9):1175~1177
 - 12 W. R. Lee, S. H. Cho, J. Park *et al.*. Noise suppression of spectrum-sliced WDM-PON light sources using FP-LD [J]. *ETRI Journal*, 2005, **27**:334~336
 - 13 Chen Lin, Dong Ze, Li Ying *et al.*. Full-duplex radio-over-fiber system with a novel scheme for millimeter-wave generation by single arm modulator [J]. *Journal on Communications*, 2007, **28**(9):85~90
- 陈 林,董 泽,李 瑛等. 采用光电调制器产生光毫米波的全双工通信光纤无线通信系统[J]. 通信学报, 2007, **28**(9):85~90
- 14 J. Yu, M. Huang, D. Qian *et al.*. Centralized lightwave WDM-PON employing 16-QAM intensity modulated OFDM downstream and OOK modulated upstream signals [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2008, **20**(18):1545~1547
 - 15 Chen Lin, Cao Zizheng, Dong Ze *et al.*. Experimental investigation of direct-detection optical orthogonal frequency-division multiplexing transmission system [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(3):554~557
- 陈 林,曹子峥,董 泽等. 直接检测的光正交频分复用信号光纤传输系统实验研究[J]. 中国激光, 2009, **36**(3):554~557