

文章编号: 0258-7025(2008)01-0073-04

采用单个相位调制器产生毫米波

黄诚 陈林 余建军 文双春

(湖南大学计算机与通信学院, 湖南长沙 410012)

摘要 实验研究了采用单个相位调制器(PM)产生毫米波的方案。该方案采用电混频器将射频(RF)信号与基带信号混频后再利用相位调制器产生双边带调制(DSB)信号,经光纤传输到基站后用一个光交叉复用器(IL)分离一阶边带和中心载波,一阶边带经过光电(O/E)检测器拍频产生两倍频于射频频率的毫米波,而中心载波可以作为上行链路载波重新利用。理论分析了该毫米波的传输性能,研究发现由于色散导致两个一阶边带时延不同,码元的占空比会随着传输距离的增加而减小,将限制毫米波的最大传输距离;实验中采用频率为20 GHz射频信号产生频率为40 GHz的毫米波,速率为2.5 Gbit/s的非归零(NRZ)码作为下行链路数据,经过20 km色散光纤传输后下行链路的功率代价为0.2 dBm。

关键词 光通信;光纤无线通信系统;毫米波;光纤色散;交叉复用器

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A

Millimeter-Wave Generation Utilizing One Phase Modulator

Huang Cheng Chen Lin Yu Jianjun Wen Shuangchun

(School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha, Hunan 410012, China)

Abstract A scheme of millimeter (mm)-wave generation utilizing one phase modulator (PM) has been proposed experimentally. To generate a mixing signal, the baseband signal is mixed with the radio frequency (RF) signal using an electric mixer. And the double-sideband (DSB) signal generated from phase modulator which is driven by the mixing signal is transmitted to base station along an optical fiber. The central carrier and the first-order sideband are separated by an optical interleaver (IL) at base station. The first-order sideband signals are beaten to generate the mm-wave with a double repetitive frequency of the RF signal when they are detected by an optical receiver, and the central optical carrier can be reused as carrier for uplink connection. The transmission performance of the mm-wave is analyzed. The duty cycle of the code decreases as the transmission distance increases because of the different delay of the first-order sidebands caused by fiber dispersion. And it limits the largest transmission distance of the mm-wave. In the experiment, the 20 GHz RF signal generates 40 GHz mm-wave and 2.5 Gbit/s non-return-zero (NRZ) is carried by mm-wave. For downlink connection, the power penalty is 0.2 dBm after data transmit over 20 km dispersive fiber.

Key words optical communication; radio-over-fiber system; millimeter-wave; fiber dispersion; interleaver

1 引言

光纤无线通信(ROF)作为未来超宽带无线接入最有前景的技术之一,近年来得到了广泛研究。它利用光纤低损耗、超大带宽以及抗电磁干扰等特

性来传输无线信号,满足用户对无线接入网带宽的需求^[1,2]。毫米波的产生是降低造价和提高光纤无线通信系统性能的关键技术^[3~10]。其中,使用外部调制器产生高频毫米波是最简单、最有效的方法^[5~11]。外部调制器可以通过不同的调制方案产

收稿日期:2007-05-28;收到修改稿日期:2007-08-20

基金项目:国家教育部新世纪优秀人才支持计划和高等学校博士学科点专项科研基金(20040532005),湖南省自然科学基金(06JJ50108)资助项目。

作者简介:黄诚(1983—),男,湖南人,硕士研究生,主要从事光纤无线通信系统方面的研究。

E-mail: huangcheng1983@gmail.com

导师简介:文双春(1966—),男,湖南人,教授,博士生导师,主要从事超高速通信系统、光子材料与光通信器件、强激光技术等方面的研究。E-mail: scwen@hnu.cn

生不同调制格式的毫米波,如双边带调制(DSB)、单边带调制(SSB)、光载波抑制调制(OCS)等,其中光载波抑制调制方式产生的毫米波^[5~11]比双边带调制方式产生的毫米波具有更好的抗色散衰落特性^[9],且频谱效率比单边带调制方式更高。实现光载波抑制调制有许多种方法^[3~11],但是,这些光载波抑制调制技术在中心站都使用了两个调制器,其中一个调制器用于调制基带数据信号,另一个调制器用于调制产生光毫米波信号。

本文提出一种基于单个相位调制器(PM)产生光载毫米波方案,即采用基带信号和射频信号的混频信号驱动相位调制器产生双边带调制信号,然后利用滤波技术分离中心载波和一阶边带,利用一阶边带拍频产生毫米波。理论结合实验分析了该毫米波的传输性能,得到了不同位置的光谱图和光载毫米波的眼图,并测试了系统的误码率特性。

2 毫米波产生方案与理论分析

毫米波产生方案如图 1 所示,分布反馈激光器(DFB)产生一个线宽很窄的连续光波 $E_{in}(t) = \sqrt{P_0} \cos(\omega_c t)$,其中 P_0 为光载波功率, ω_c 为角频率;输入到相位调制器中进行双边带调制,相位调制器的驱动信号由单极性基带信号 $s(t)$ 和幅值很小的射频信号 $V_m(t) = V_m \cos(\omega_{RF} t)$ 混频产生,其中 V_m 和 ω_{RF} 分别为射频信号的幅度和角频率。则调制器输出为

$$E_{out}(t) = \sqrt{P_0} \cos[\omega_c t + \chi \cdot s(t) \cdot \cos(\omega_{RF} t)], \quad (1)$$

式中 $\chi = \pi \cdot (V_m/V_\pi)$ 表示调制深度, V_π 为调制器半波电压。 χ 很小时可忽略高阶边带,式(1)贝赛耳(Bessel)展开后变为

$$E_{out}(t) = \sqrt{P_0} \{ \cos(\omega_c t) J_0[s(t) \cdot \chi] - J_1(\chi) \cdot s(t) [\sin(\omega_c t + \omega_{RF} t) + \sin(\omega_c t - \omega_{RF} t)] \}, \quad (2)$$

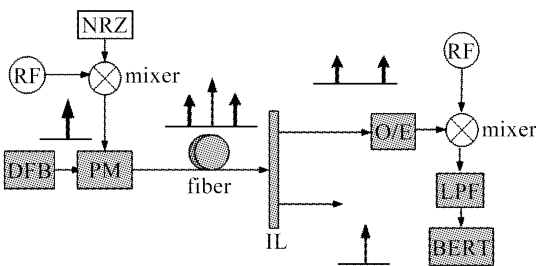


图 1 单调制器产生毫米波的原理图

Fig. 1 Principle of mm-wave generation utilizing one modulator

式中 $J_k(k=0,1)$ 表示第一类 k 阶贝赛耳函数,调制器输出包括中心载波和一阶边带信号。该信号经过色散光纤传输到基站,信号变成

$$E_{out}(t) = \sqrt{P_0} \{ J_0[s(t + \theta_0) \cdot \chi] \cos[\omega_c(t + \theta_0)] - J_1(\chi) [s(t + \theta_{+1}) \sin(\omega_c + \omega_{RF})(t + \theta_{+1}) + s(t + \theta_{-1}) \sin(\omega_c - \omega_{RF})(t + \theta_{-1})] \}, \quad (3)$$

式中 $\theta_i = \beta(\omega_c + i\omega_{RF})L/(\omega_c + i\omega_{RF})$, ($i=0, \pm 1$), 表示由色散引起的时延,其中 L 为传输距离, $\beta(\omega_c + i\omega_{RF})$ 为模传输函数。在基站用一个光交叉复用器(IL)分离一阶边带和中心载波,利用一阶边带拍频产生频率为 $2\omega_{RF}$ 的毫米波。

分离出的一阶边带信号可表示为

$$E_{out}(t) = -\sqrt{P_0} J_1(\chi) \times [s(t + \theta_{+1}) \cdot \sin(\omega_c + \omega_{RF})(t + \theta_{+1}) + s(t + \theta_{-1}) \cdot \sin(\omega_c - \omega_{RF})(t + \theta_{-1})], \quad (4)$$

该信号经过光电(O/E)检测器检测后得到光电流为

$$I(t, L) = 0.5\mu P_0 J_1^2(\chi) [s(t + \theta_{-1}) + s(t + \theta_{+1}) + 2s(t + \theta_{-1}) \cdot s(t + \theta_{+1}) \cos(2\omega_{RF} t + 2\beta'_1)], \quad (5)$$

式中 μ 为光电检测器的灵敏度, $\beta'_1 = \beta'(\omega_c) \cdot \omega_{RF} \cdot L$,表示由一阶色散引起的相移。式(5)中忽略了光信号。光电流主要包含直流分量和射频分量,射频分量即为频率为 $2\omega_{RF}$ 毫米波信号

$$I_{RF1}(t, L) = \mu P_0 J_1^2(\chi) s(t + \theta_{-1}) \cdot s(t + \theta_{+1}) \times \cos(2\omega_{RF} t + 2\beta'_1), \quad (6)$$

从式(6)可以看出,随着传输距离增大,色散引起两个一阶边带的时延不同,导致解调后的基带信号等效于两路时延差为 $\Delta\tau = \theta_{+1} - \theta_{-1}$ 的基带信号的乘积,最后将表现为码元的占空比变小,通过计算可以得到 $\Delta\tau = \frac{2Dc}{f_c^2} f_{RF} L$,其中 D 为光纤色散, c 为真空中的光速, f_{RF} 为射频频率, f_c 为光频。则对于宽度为 τ 的码元,其眼图闭合时的最大传输距离为: $L \leq \frac{\tau f_c^2}{2f_{RF} Dc}$,可以计算出数据速率为 2.5 Gbit/s 的非归

零(NRZ)码在中心波长为 1534.4 nm,标准单模光纤链路的系统中最大传输距离为 76 km。图 2 为仿真得到的光电检测器输出信号的眼图,其中 B-T-B 表示背靠背(Back-to-Back)传输,即传输距离为 0,可以看到随着传输距离的增加,眼图的宽度逐渐变窄,即解调后的基带信号表现为码元占空比变小。

零(NRZ)码在中心波长为 1534.4 nm,标准单模光纤链路的系统中最大传输距离为 76 km。图 2 为仿真得到的光电检测器输出信号的眼图,其中 B-T-B 表示背靠背(Back-to-Back)传输,即传输距离为 0,可以看到随着传输距离的增加,眼图的宽度逐渐变窄,即解调后的基带信号表现为码元占空比变小。

3 实验结果及分析

光载毫米波产生实验装置如图 3 所示。采用 Ando 公司 6317B 的光谱分析仪检测光的频谱,其

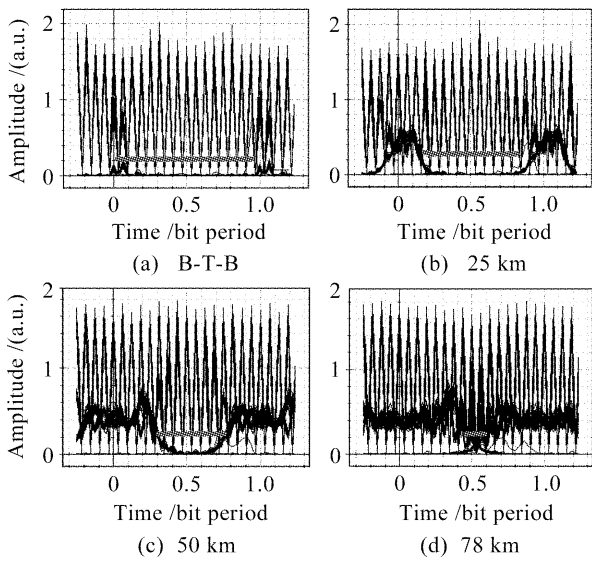


图 2 光电检测器输出信号的眼图

Fig. 2 Eye diagram of electric signals at O/E

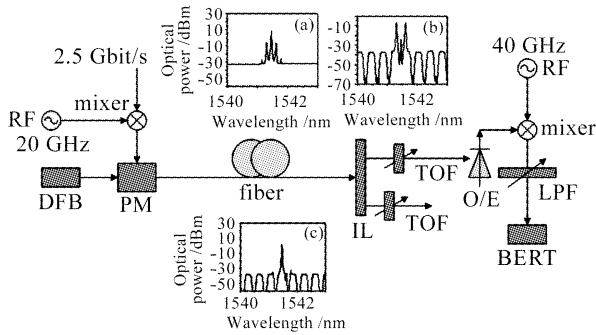


图 3 相位调制器产生光载毫米波的实验装置。(a) 光纤传输 20 km 后的双边带信号的频谱图；(b) 光毫米波频谱图；(c) 分离后的中心载波频谱图

Fig. 3 Experimental setup for optical mm-wave generation by phase modulator. (a) optical spectrum of DSB after 20 km transmission; (b) spectrum of optical millimeter-wave; (c) optical spectrum of central carrier after separated

波长范围为 600 ~ 1700 nm，最小分辨率为 0.01 nm。采用 Agilent 86100C 示波器测量眼图。速率为 2.5 Gbit/s，字长为 $2^{31} - 1$ 的伪随机码作为下行链路的基带数据信号，通过电混频器与幅值为 0.5 V 的 20 GHz 射频信号进行混频得到电毫米波，电毫米波驱动半波电压为 4 V 的 LiNbO_3 相位调制器对由 DFB-LD 激光器产生波长为 1534.4 nm 的连续光波进行调制得到双边带信号，双边带信号的频谱包括中心光载波和一阶边带，其频谱如图 3 中插图(a)所示。双边带信号发送至光纤链路，传输至基站。经过 20 km 光纤链路传输后测得双边带信号的眼图如图 4(a)所示。在基站中，双边带信号由带宽和频率间隔为 50/25 GHz 双端口光交叉复用器

(JDSU 公司生产，型号为 FS501) 分开成为两部分，其插入损耗为 1.17 dB，3 dB 通带宽度为 18.65 GHz。分离出来的一阶边带即为 40 GHz 的光载毫米波，另一部分为中心载波。光载毫米波经过带宽为 0.5 nm 的可调谐光滤波器 (TOF) 后得到纯净的光载毫米波，其频谱如图 3 中插图(b)所示。而光中心载波通过带宽为 0.5 nm 的可调谐滤波器滤波后得到了光载波的频谱如图 3 中插图(c)所示，分离出来的光载波可以作为上行链路的光载波。光载毫米波通过 3 dB 带宽为 50 GHz，型号为 XPDV2040R v42 的高速光检测器变成电毫米波，电毫米波信号与 40 GHz 的射频信号混频后通过低通滤波器 (LPF)，对解调得到的基带数据信号进行误码检测，测量得到解调信号的眼图如图 4(b)所示，测量得到下行链路的误码 (BER) 特性如图 5 所示。可以看到下行链路通过光纤传输 20 km 后，在误码率为 10^{-9} 情况下，功率代价为 0.2 dBm，主要由色散引起。

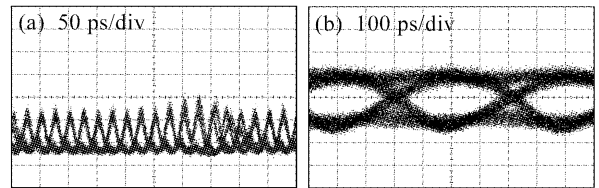


图 4 传输 20 km 后信号眼图

(a) 双边带调制信号；(b) 下传后基带信号

Fig. 4 Eye diagram of signals after transmission 20 km (a) DSB signals; (b) baseband signals after de-modulated

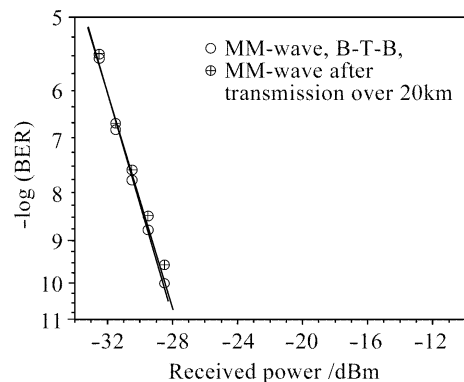


图 5 2.5 Gbit/s 下行链路信号的误码曲线图

Fig. 5 BER curves for downlink data at 2.5 Gbit/s

4 结 论

提出并实验研究了一个基于单个相位调制器产生毫米波方案，分析了该毫米波的传输特性。该方案产生的毫米波虽然会受到色散影响而限制其最大传输距离，但是在小于 20 km 的传输距离内，其功率

代价小于0.2 dBm。采用单个相位调制器加滤波技术产生毫米波可以简化光纤无线通信系统结构,而且相位调制器不需要直流偏置电压,对其线性调制带宽要求低,并且分离出来的中心载波可以作为上行链路载波重新利用,这样可以进一步减少系统的复杂度,降低成本。

参 考 文 献

- 1 Fang Zujie, Ye Qing, Liu Feng *et al.*. Progress of millimeter wave subcarrier optical fiber communication technologies [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(4):481~488
方祖捷,叶青,刘峰等.毫米波副载波光纤通信技术研究进展[J].*中国激光*, 2006, **33**(4):481~488
- 2 Chi Hao, Zhang Xianmin, Shen Linfang. Inter-modulation distortion analysis for single-drive Mach-Zehnder modulator[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(11):1619~1622
池灏,章献民,沈林放.单极型马赫-曾德尔调制器的互调失真分析[J].*光学学报*, 2006, **26**(11):1619~1622
- 3 Zhou Mingtuo, Sharma A. B., Zhang Jianguo *et al.*. A novel configuration for millimeter-wave radio-over-fiber (ROF) transmission systems with remote local-oscillator delivery [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(11):1725~1729
周明拓,Sharma A. B.,张建国等.一个新型的毫米波无线信号光纤传输系统及本振信号远程传送结构[J].*光子学报*, 2006, **35**(11):1725~1729
- 4 Ye Qing, Liu Feng, Qu Ronghui *et al.*. Fiber-communication project of millimeter-wave subcarrier based on fiber grating [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(10):1464~1468
叶青,刘峰,瞿荣辉等.一种基于光纤光栅的毫米波副载波光纤通信方案[J].*光学学报*, 2006, **26**(10):1464~1468
- 5 Lin Chen, Hong Wen, Shuangchun 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
- 6 Lin Chen, Xiaoyan Lei, Shuangchun Wen. A novel radio over fiber system with DWDM mm-wave generation and wavelength reuse for upstream data connection[J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(9):5893~5897
- 7 C.-T. Lin, W.-R. Peng, P.-C. Peng *et al.*. Simultaneous generation of baseband and radio signals using only one single-electrode Mach-Zehnder modulator with enhanced linearity[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(23):2481~2483
- 8 Zhensheng Jia, Jianjun Yu, Gee-Kung Chang. A full-duplex radio-over-fiber system based on optical carrier suppression and reuse [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(16):1726~1728
- 9 Jianjun Yu, Zhensheng Jia, Lilin Yi *et al.*. Optical millimeter-wave generation or up-conversion using external modulators [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(1):265~267
- 10 Jianxin Ma, Chongxiu Yu, Zhen Zhou *et al.*. Optical mm-wave generation by using external modulator based on optical carrier suppression [J]. *Opt. Commun.*, 2006, **268**(1):51~57
- 11 Jianjun Yu, Zhensheng Jia, Ting Wang *et al.*. A novel radio-over-fiber configuration using optical phase modulator to generate an optical mm-wave and centralized lightwave for uplink connection [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2007, **19**(3):140~142