

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.02.017

MZI产生光载毫米波的ROF系统

文 鸿, 彭生奇, 景琴琴, 胡永祥, 石洪金

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412008)

摘要: 提出一种采用马赫增德尔干涉仪(MZI)产生光载毫米波的光纤无线通信(ROF)系统。该系统采用基带信号与本振信号的混频信号驱动光相位调制器,以产生多边带光信号,用MZI将多边带光信号的重复频率增至2倍。建立了产生光载毫米波的理论模型,并通过仿真试验验证了系统的可行性。结果表明:用40 GHz光载毫米波调制2.5 Gbit/s基带信号,经60 km光纤传输后,眼图清晰可见,功率代价为4.2 dB。

关键词: 光纤无线通信系统;光载毫米波;马赫增德尔干涉仪;光相位调制器

中图分类号: TN929.11

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)02-0078-04

The Radio-over-Fiber System through MZI Generating Optical mm-Wave

Wen Hong, Peng Shengqi, Jing Qinqin, Hu Yongxiang, Shi Hongjin

(School of Computer and Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: Proposes a radio-over-fiber system through MIZ generating optical mm-wave. The system applies the mixed-frequency signals with base-band signals and LO signals to drive an optical phase modulator for generating multiple sidebands optical signal. Uses MZI to increase the optical signal with double frequency. Establishes the theoretical model for producing optical mm-wave and verifies the feasibility of the system through simulation test. The result shows that the 2.5 Gb/s base-band signal modulated by 40GHz optical mm-wave is visible on eye diagram after 60 km fiber transmission with 4.2dB power penalty.

Keywords: radio over fiber system; optical mm-wave; MZI; optical phase modulator

0 引言

随着移动用户数量的不断增加,现有无线通信资源已经不能满足宽带业务的要求,未来的无线通信需要往更高频率段发展。而另一方面,目前铺设的光纤通信链路带宽并未得到有效地实际利用。光纤无线通信(radio over fiber, ROF)技术采用光纤传输毫米波段无线信号,可很好地解决这些问题。ROF系统有机结合了光纤通信的大容量、低损耗和无线

通信高度灵活的优点,得到了广泛地研究^[1]。

高质量光载毫米波信号的产生是实现ROF系统的关键技术之一。国内外研究者围绕这一关键技术开展了许多有益工作,提出了多种光载毫米波的产生方法。根据使用的光学器件特性不同主要分为3类:第一类使用射频信号直接调制激光器^[2],这类方法简单、经济、容易实现,但由于激光器的弛豫振荡和频率啁啾特性,一般只应用于低频系统。第二类利用频率差等于射频信号的两束光波进行远程外

收稿日期:2011-01-15

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(11JJ3002),湖南省教育厅科研基金资助项目(09C330,11C0424)

作者简介:文 鸿(1981-),男,湖南邵阳人,湖南工业大学教师,博士,主要从事光通信和新一代宽带无线网络等方面的研究, E-mail: niubihwen@yahoo.com.cn

差^[3], 这类方法可以产生高频的光载毫米波信号, 但激光器存在直接随机相位噪声, 对系统性能影响较大。第三类方法采用射频信号驱动宽带外部调制器调制光载波, 包括强度调制器、电吸收调制器和光相位调制器等^[4-6], 这类方法具有稳定、可调性好的优点。本文将马赫增德尔干涉仪 (MZI) 的光波干涉特性^[7]应用于相位调制中, 提出一种新的光载毫米波产生系统, 建立了理论分析模型并进行仿真实验。

1 系统理论模型

采用光相位调制器结合 MZI 产生光载毫米波的系统模型如图 1 所示。

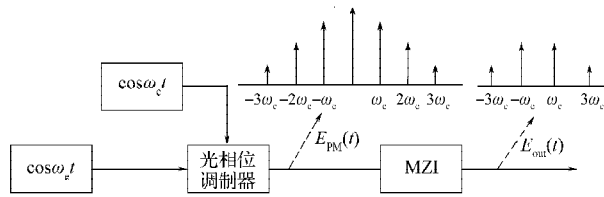


图1 基于MZI的光载毫米波产生原理

Fig. 1 The MZI-based optical mm-wave generation principle

角频率为 ω_c 的余弦信号 $\cos\omega_c t$ 通过光相位调制器调制激光器输出的连续光载波 $\cos\omega_c t$, 为简化分析, 归一化光相位调制器的频率响应, 则光相位调制器的输出光信号 $E_{PM}(t)$ 对应的频域表达式 $E_{PM}(\omega)$ 为

$$E_{PM}(\omega) = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} j^k J_k(\xi) \delta(\omega - k\omega_c), \quad (1)$$

式中: ξ 为相位调制系数;

$J_k(\cdot)$ 为第一类 k 阶 Bessel 函数。

MZI 的传递函数由下式给出:

$$\begin{bmatrix} E_{out1}(\omega) \\ E_{out2}(\omega) \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} e^{j\theta} - 1 \\ j e^{j\theta} + j \end{bmatrix} \times E_{in}(\omega), \quad (2)$$

式中: $\theta = \omega/f_{FSR} = 2\pi f/f_{FSR}$, f_{FSR} 为自由频率范围。

利用信号与系统理论求得 MZI 输出端口的光信号频谱函数为

$$E_{out}(\omega) = \pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \left[\exp\left(jk \frac{\omega_c}{f_{FSR}}\right) - 1 \right] j^k J_k(\xi) \delta(\omega - k\omega_c). \quad (3)$$

对式 (3) 求傅立叶逆变换即得到光信号的时域表达式为

$$E_{out}(t) = \text{IFT}[E_{out}(\omega)] = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \left[\exp\left(jk \frac{2\pi f_c}{f_{FSR}}\right) - 1 \right] j^k J_k(\xi) \exp(jk\omega_c t), \quad (4)$$

式中 f_c 为正弦信号频率。

从式 (4) 可以看到, MZI 的输出端光信号与调制系数 ξ 和调制频率与自由频谱范围比 (即 f_c/f_{FSR}) 有关, 并且输出光信号包络的有无 (取“0”或“1”) 由 f_c/f_{FSR} 决定。当 $f_c/f_{FSR} = 1/2$, 即 MZI 的自由频谱范围设为调制信号频率的 2 倍时, 式 (4) 可进一步简化为

$$E_{out1}(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} j^{2k+1} J_{2k-1}(\xi) \exp[j(2k-1)\omega_c t]. \quad (5)$$

从式 (5) 可观察到, 此时 MZI 的输出光信号由 $\pm 1, \pm 3$ 阶边带等奇数边带组成, 各阶边带间的频率间隔为 $2f_c$ 。将上述光信号通过响应度为 \mathfrak{R} 的光电探测器进行光电转换, 产生的电信号为

$$I_{out} = \mathfrak{R} |E_{out1}(t)|^2 = \mathfrak{R} \sum_{k=1}^{+\infty} \sum_{n=1}^{+\infty} [J_k^2(\xi) + J_{2n-1}(\xi) J_{2n-1+2k}(\xi)] \cos(2k\omega_c t). \quad (6)$$

不难看出式 (6) 只包含偶数谐波 $\cos(2k\omega_c t)$, 这说明通过光电转换后只产生频率为调制信号频率偶数倍的毫米波电信号。其原因在于 MZI 输出光信号为 $\pm 1, \pm 3$ 阶等奇数边带, 相互拍频时产生的电信号频率为 $2nf_c$, 其中 $2n$ 表示第 $2n$ 次谐波信号。

2 仿真实验与结果分析

图 2 为笔者建立的 ROF 仿真系统。

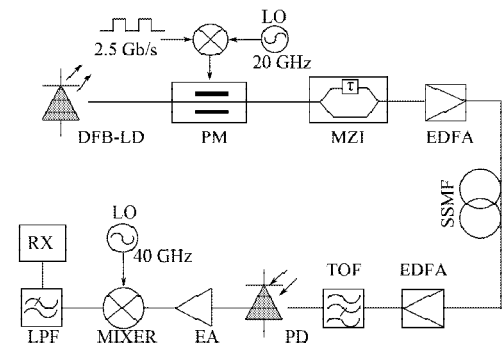


图2 MZI产生光载毫米波的ROF系统

Fig. 2 The ROF system by MZI generating optical mm-wave

分布式反馈激光器 (DFB-LD) 产生线宽 10 MHz、中心频率为 193.1 THz 的连续光载波, 输入到钽酸锂 (LiNO_3) 相位调制器, 相位调制器的半波电压 $V_{\pi} = 5$ V。2.5 Gbit/s 数据速率, 码长 128 bit 的 NRZ 信号与 20 GHz 正弦信号混频产生副载波信号。副载波信号的峰值电压被放大到 4 V 后驱动光相位调制器以调制连续光载波, 相位调制器的输出信号光谱如图 3 a) 所示。不难发现, 相位调制器的输出是重复频率为 20 GHz 的光载毫米波信号, 主要由中心载波及一阶、二阶等频率分量组成, 由于三阶边带功率与一阶边带功率

相差 28 dB 左右, 因此可忽略三阶以上边带功率的影响。由前面的理论分析可知, 当 MZI 的自由频率范围 f_{FSR} 是调制信号频率的 2 倍时, 可输出 $2f_c$ 频率间隔的奇数边带。考虑到调制频率为 20 GHz, 因此在实验中将 MZI 的延时 τ 调节为 $1/(2 \times 20) = 0.025$ ns, 此时测试 MZI 的输出信号光谱如图 3 b)。可以看到主要的频率分量是一阶上/下边带, 信号重复频率增加至 40 GHz。随后, 光载毫米波采用掺铒光纤放大器 (EDFA) 放大后通过标准单模光纤 (SSMF) 传输至基站, SSMF 的损耗为 0.2 dB/km, 色散系数 16 ps/nm · km。前置 EDFA 用于补偿 SSMF 传输中的信号衰减, 光载毫米波信号的入纤光功率为 0 dBm, EDFA 的噪声指数为 4 dB。

在接收端, 首先将光载毫米波信号通过小信号增益为 30 dB 的 EDFA 进行前置放大, 再采用 0.5 nm 带宽的可调谐滤波器 (TOF) 抑制放大噪声, 随后利用灵敏度为 1.0 A/W、热噪声功率谱密度为 10^{-22} W/Hz 的 PIN 光电二极管进行光电转换, 产生 40 GHz 毫米波电信号, 其频谱见图 3d)。实验中不考虑天线的发送和接收, 因此电毫米波信号经电放大器放大后直接与 40 GHz 正弦信号混频, 频谱如图 3e) 所示, 可以看出混频后信号频率搬移到了零频点和 80 GHz 处。随后用截止频率为 2.8 GHz 的低通滤波器 (LPF) 进行低通滤波, 解调出数据基带信号。测得发送端和解调后的基带信号波形分别如图 3 中的 c) 和 f) 所示, 可以看到两者基本吻合。

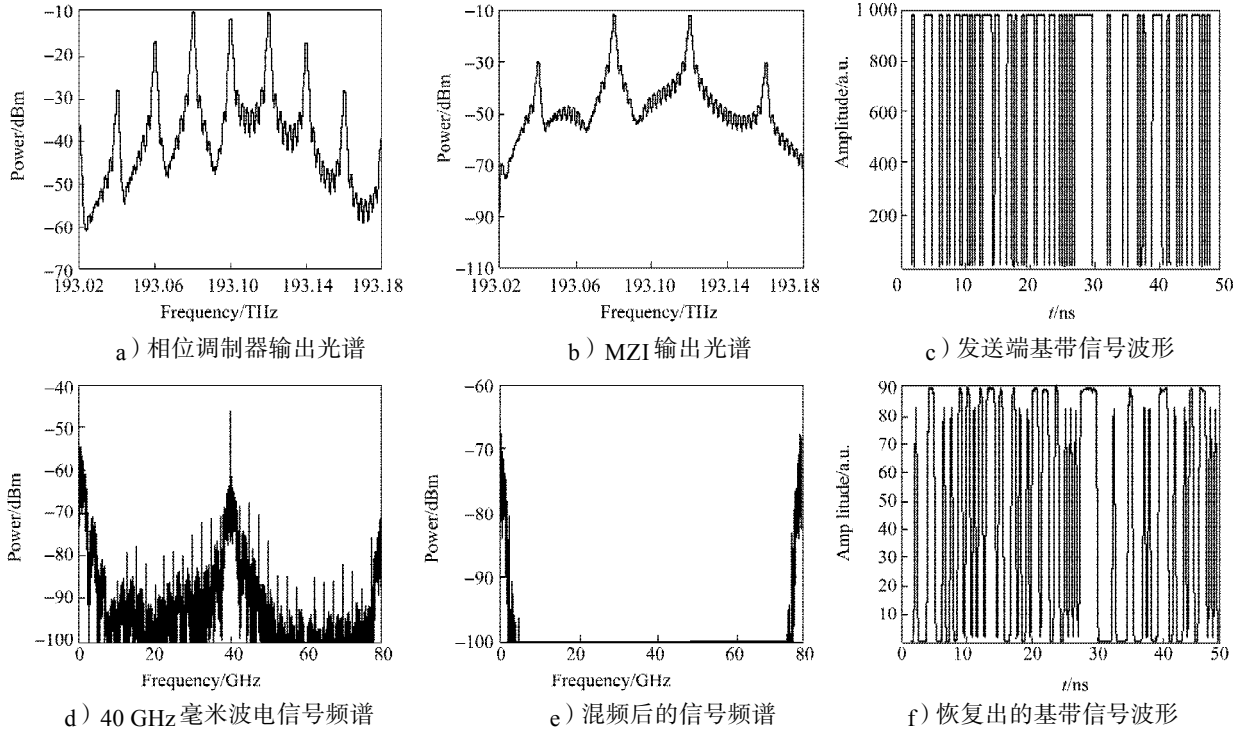


图3 不同测试点的信号频谱和波形

Fig. 3 Spectrum and waveform for different measure nodes

分别测试背靠背 (B-T-B)、40 km 和 60 km 光纤传输后的基带信号眼图, 如图 4 所示。

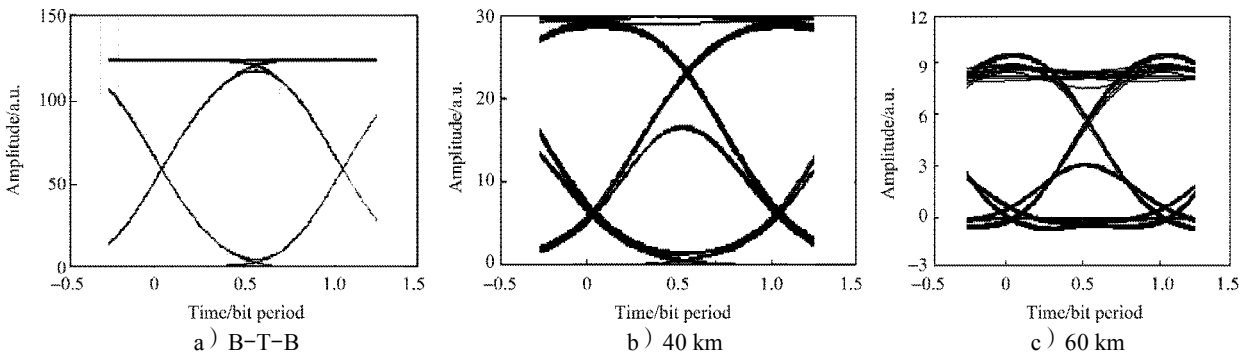


图4 传输不同距离后的基带信号眼图

Fig. 4 Eye diagrams for the base-band signals of various transmission distances

从图4可看出, 尽管随着传输距离的增加眼睛逐渐闭合, 但经过60 km传输后的信号眼图仍然张开。

对基带信号进行误码测试, 其误码曲线结果如图5所示。从图中可看出, 在B-T-B情况下, 误码率为 10^{-9} 时的接收灵敏度为-35.4 dB, 传输60 km后的功率代价为4.2 dB。

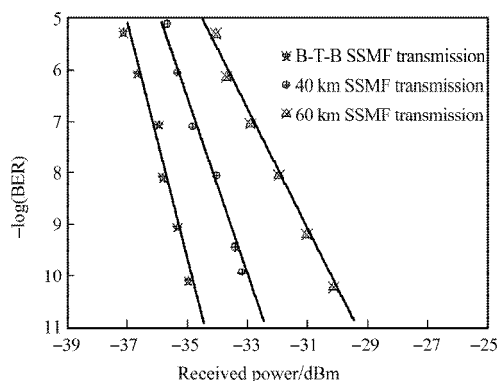


图5 传输距离不同时的误码曲线

Fig. 5 BER curves for SSMF transmission

3 结语

本文提出了采用MZI产生光载毫米波的ROF系统。通过使用MZI将光相位调制器产生的多边带光信号的重复频率增至2倍, 提高了系统的调制带宽。由于采用光相位调制器, 产生的光载毫米波信号稳定。通过理论模型分析和仿真实验证明了系统的有效性。整个ROF系统结构简单, 易于实现。

参考文献:

[1] Ghazisaidi N, Maier M. Fiber-Wireless (FiWi) Access

Networks: Challenges and Opportunities[J]. IEEE Network, 2011, 25(1): 36-42.

- [2] Prince K, Monroy I T. All-Optical Envelope Detection and Fiber Transmission of Wireless Signals by External Injection of a DFB Laser[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2008, 20(15): 1317-1319.
- [3] Wu Y F, Yeh C H, Chow C W, et al. Employing External Injection-Locked Fabry-Perot Laser Scheme for mm-Wave Generation[J]. Laser Physics, 2011, 21(4): 718-721.
- [4] 雷小燕, 董 泽, 皮雅稚, 等. 一种新型的单边带调制技术[J]. 中国激光, 2009, 36(4): 889-894.
Lei Xiaoyan, Dong Ze, Pi Yazhi, et al. Performance of a Novel Scheme to Generate Single-Sideband Millimeter-Wave Signals[J]. Chinese Journal of Lasers, 2009, 36(4): 889-894.
- [5] Palaci J, Villanueva G, Herrera J. EAM-SOA Millimeter-Wave Frequency up-Converter for Radio-over-Fiber Applications[J]. Optics Communications, 2011, 284(1): 98-102.
- [6] 文 鸿, 陈 林, 文双春, 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.
Wen Hong, Chen Lin, Wen Shuangchun, et al. Full-duplex Radio-over-Fiber System with Optical mm-Wave Generation Utilizing Optical Phase Modulator[J]. Chinese Journal of Lasers, 2007, 34(7): 935-939.
- [7] Solmaz M E, Zhou Y F, Madsen C K. Modeling Asymmetric Resonances Using an Optical Filter Approach [J]. Journal of Lightwave Technology, 2010, 28(20): 2951-2955.

(责任编辑: 李玉珍)