

doi:10.13756/j.gtxyj.2016.06.007

光通信系统与网络技术

毫米波、超宽带和基带信号混合传输的光纤系统

黄亚楠, 陈新桥, 柴 佳, 张 薇

(中国传媒大学 信息工程学院, 北京 100024)

摘要:提出了一种 60 GHz 毫米波、UWB(超宽带)信号和基带信号混合传输的光纤通信系统。在中心站采用 10 GHz RF(射频)信号驱动两个并行 PM(相位调制器)产生三阶边带,在基站通过 PD(光检测器)拍频生成 6 倍频的 60 GHz 毫米波;利用高斯电脉冲驱动双极型 MZM(马赫—曾德调制器)生成二阶 UWB 信号;UWB 信号和基带信号通过偏振复用调制在同一光载波上。仿真结果表明,2.5 Gbit/s 的信号经 20 km 单模光纤传输后,眼图清晰;生成的 UWB 信号中心频率为 5.5 GHz,相对带宽达到 98%,符合 FCC(美国联邦通信委员会)标准。

关键词:毫米波;超宽带;并行相位调制器;马赫—曾德调制器;偏振复用

中图分类号:TN915 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2016)06-0026-04

A Optical Fiber Communication System on Simultaneous Transmission of Millimeter-wave, UWB and Baseband Signal

HUANG Ya-nan, CHEN Xin-qiao, CHAI Jia, ZHANG Wei

(College of Information Engineering, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: A optical fiber communication system simultaneous transmitting millimeter-wave, Ultra Wide Band (UWB) signal and baseband signal is proposed. In central station, a 10 GHz radio frequency signal is used to drive two parallel Phase Modulator (PM) to produce third-order sideband. In base station, 60 GHz millimeter wave is generated from the beating of optical detector. Electronic Gaussian pulses are utilized to drive dual Mach-Zehnder Modulator (MZM) to generate the second-order UWB signal. The UWB and baseband signals are modulated on the same optical carrier through polarization multiplexing. Simulation results show that the eye pattern is still clear after the 2.5 Gbit/s signal transmitting over 20 km signal model fiber. The generated UWB signal meets the criterion of the U. S. Federal Communications Commission (FCC), which has a central of 5.5 GHz and a relative bandwidth of 98%.

Key words: millimeter-wave; UWB; parallel PM; MZM; polarization multiplexing

0 引 言

近年来,人们对语音、数据和多媒体业务的需求越来越高,传统的无线传输技术已无法满足日益增长的带宽需求,因此涌现出 ZigBee、UWB(超宽带)无线通信和毫米波等新型的短距通信技术。UWB 通信是一种高速短距无线通信技术,在学术界、工业界都得到了广泛的应用^[1]。FCC(美国联邦通信委员会)规定 UWB 的频段为 3.1~10.6 GHz,功率谱密度小于-41.3 dBm/MHz,其一部分频谱与现有的无线通信共享信道。IR-UWB(脉冲超宽带)由于其低复杂度、低成本和低功率损耗的特点,受到广泛关注。60 GHz 毫米波通信是另外一种短距通信解决方案,采用全球无需许可即可使用的 7~9 GHz 频带宽度,室内传输速率可达数 Gbit/s^[2]。由于 IR-UWB 的功率密度限制以及 60 GHz 波段在自由空间传输时衰减严重,长距离传输时需要用光纤作为载体,即 UWB-over-fiber(光载超宽带)和 RoF

(光载射频)技术,如何在光域生成毫米波信号和 UWB 信号是光载 UWB 和 RoF 的关键。

毫米波光学生成技术大致分为光外差调制技术、上变频和外部调制技术^[3]3 类。目前常用的方法是基于外调制器结构的毫米波光学生成,该方法结构简单、成本较低。使用 MZM(马赫—曾德调制器)或 PM(相位调制器)作为外部调制生成倍频毫米波的方法已经相当成熟^[4-6],相对于 MZM,PM 不需要复杂的电路提供偏置电压,系统结构更加简单^[7]。光域生成 UWB 脉冲信号的方法也有很多,常用的有基于相位调制/强度调制的转换、半导体光放大器的非线性效应^[8]、频谱整形和频域到时域映射以及通过改变 MZM 的调制点来产生一阶或二阶 UWB 脉冲信号^[9]。文献[10]提出了一种时分复用和频分复用相结合的方法共同传输毫米波和 UWB 信号,文献[11]实现了一种毫米波、UWB 和基带信号共同传输的密集波分复用系统。为了更好地利用有限的频谱资源,本文设计了一种在一个波长内,通

过频分复用和偏振复用共同传输 60 GHz 毫米波、UWB 和基带信号的光纤通信系统,并通过 Optisystem 光子仿真软件验证了其可行性。

1 系统设计及原理分析

1.1 系统设计

图 1 所示为本文所提出的系统结构框图。在中心站侧,CWL(连续激光器)产生的光载波通过分光器均分为 3 路,第 1 路和第 2 路光载波分别注入两个并联的 PM,10 GHz 的 RF(射频)信号经过分束器后分别调制这两个 PM,生成的三阶边带间隔为 60 GHz。再经过 MZM 将基带信号调制到边带上。第 3 路光载波通过 PBS(偏振分束器)分成两路偏振态正交的光载波,其中一路光载波由基带信号经 MZM 直接调制,另一路由高斯脉冲调制 MZM,生成二阶高斯脉冲。然后经合波器将 3 路信号合成一路信号,经光纤传输到基站。在基站侧,首先通过反射型 FBG(光纤布拉格光栅)分离出载波和三阶边带。其中分离出的三阶边带经过 PD(光检测器)拍频生成 60 GHz 毫米波信号;分离出的载波经过 PBS 分离出两个偏振态正交的光载波,这两路信号经过 PD 实现光/电转换,分别恢复出基带信号和 UWB 信号。

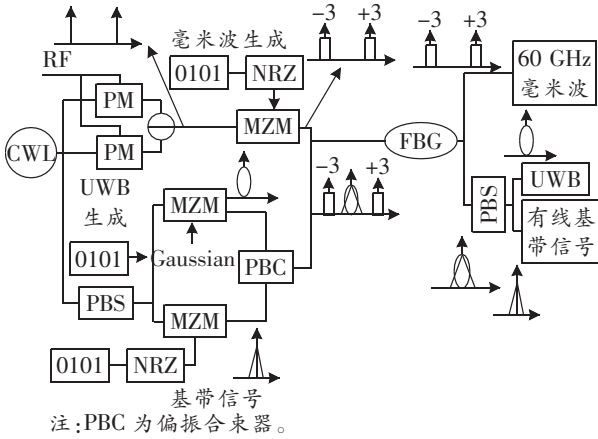


图 1 同时传输 60 GHz 毫米波、UWB 和基带信号的光纤通信系统框图

1.2 60 GHz 毫米波和 UWB 信号生成原理

设 PM 输入光场为 $E_m(t) = E_c \exp(-j\omega_c t)$, RF 信号为 $V(t) = V_{RF} \cos(\omega_m t + \theta)$, 式中, E_c 、 ω_c 分别为光载波振幅和角频率; V_{RF} 、 ω_m 、 θ 分别为 RF 信号的振幅、角频率和初始相位。光载波和 RF 信号注入 PM 后的输出光场为

$$E_{out}(t) = E_c \exp[-j\omega_c t + j\Delta\varphi V_{RF} \cos(\omega_m t + \theta)], \quad (1)$$

式中, $\Delta\varphi$ 为 PM 相移常量。式(1)取实部并根据雅可比-安格尔恒等式可得:

$$E_{out}(t) = E_c \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\Delta\varphi V_{RF}) \cdot \cos(\omega_c t + n\omega_m t + n\theta + \frac{1}{2}n\pi). \quad (2)$$

调节相移常量使 $J_1(\Delta\varphi V_{RF}) = 0$, 即可抑制一阶边带。设置第 1 路 RF 信号的初始相位为 0, 第 2 路 RF 信号的初始相位为 180° , 两路信号经减法器相减, 同时忽略三阶以上边带, 可得:

$$E_{out}(t) = 2E_c [J_3(\Delta\varphi V_{RF}) \cos(\omega_c t + 3\omega_m t + \frac{3}{2}\pi) - J_3(\Delta\varphi V_{RF}) \cos(\omega_c t - 3\omega_m t - \frac{3}{2}\pi)], \quad (3)$$

式(3)只包括上下三阶边带, 如果 RF 信号为 10 GHz, 则上下三阶边带经过 PD 拍频后即可生成 60 GHz 毫米波。

采用电高斯脉冲调制双极型 MZM, 经 MZM 调制后生成的二阶高斯脉冲如图 2 所示, 当 MZM 的偏置点位于最小偏置点略微偏左侧时, 高斯脉冲在上升沿会先经过小段下降, 再上升到最大点, 下降沿则相反。调制后生成类似正极性二阶微分高斯脉冲, 在基站侧经 PD 转换即可恢复出 UWB 信号。

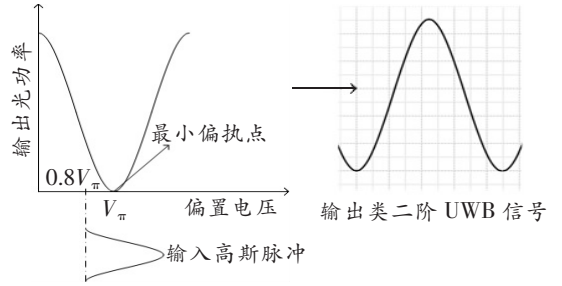


图 2 经 MZM 调制后生成的二阶高斯脉冲

2 仿真实验及分析

2.1 仿真设置

根据图 1 所示的系统框图, 采用 Optisystem 光子模拟软件, 设计出了同时传输 60 GHz 毫米波、二阶 UWB 信号和基带信号的仿真系统。在中心站, 设置 CWL 的输出频率为 193.1 THz, 功率为 0 dBm, 线宽为 10 MHz。设 RF 本振频率为 10 GHz, 加到 PM 上的两路 RF 信号相位差为 180° , PM 相移常量取 439° , 双极型 MZM 的 V_π 设为 5 V, 两臂直流偏置电压分别为 0 和 4 V。基带信号速率为 2.5 Gbit/s。单模光纤衰减量为 0.2 dB/km, 色散为 16.75 ps/(nm·km), PMD(偏振模色散)系

数为 $0.2\text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 。PD 响应率为 1 A/W ，暗电流为 10 nA 。

2.2 仿真结果

在基站侧,通过反射型 FBG 分离出光载波和边带。载波经 PBS 分离出基带信号和 UWB 信号。一路偏振光经光/电转化后恢复出调制在其上的基带信号,基带信号的眼图如图 3 所示。

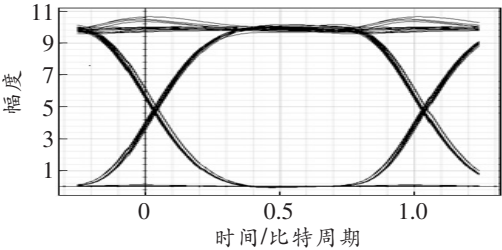


图 3 调制在光载波上的基带信号眼图

另一路偏振光经光/电转换后生成 UWB 信号,其时域和频域图如图 4 所示。可见 UWB 信号的中心频率为 5.5 GHz ,在 -10 dB 带宽时达到 5.4 GHz ,相对带宽达到 98% ,符合 FCC 标准。

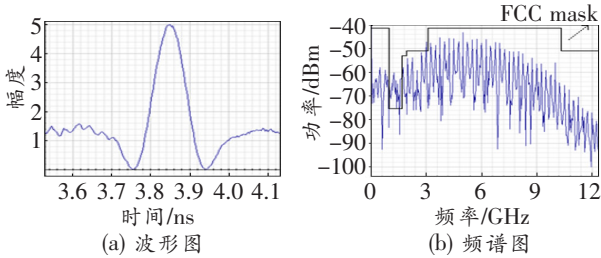


图 4 生成的二阶 UWB 信号时域频域图

图 5 所示为上下三阶边带经 PD 拍频生成的 60 GHz 毫米波频谱图,产生的 60 GHz 毫米波信号峰值为 -10 dBm ,同时还包含载波和其他边带成分,这是由于高阶边带并不能完全忽略,反射型 FBG 无法完全滤除载波的缘故。图 6 所示为解调 60 GHz 毫米波上的数据所得到的眼图。

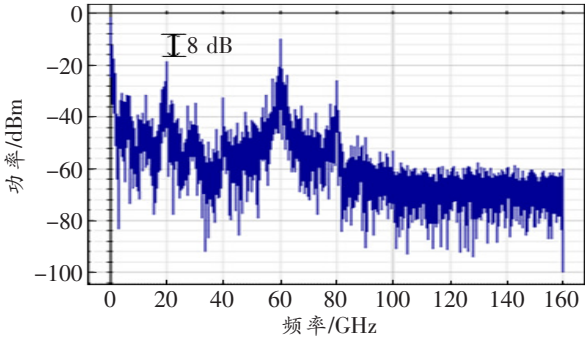


图 5 光生成 60 GHz 毫米波的频谱图

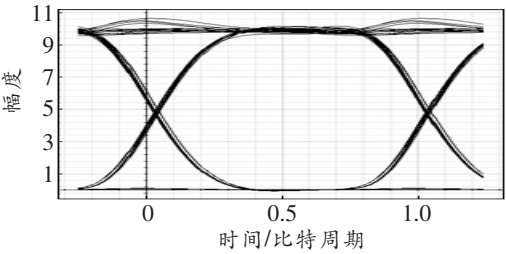


图 6 解调 60 GHz 毫米波上数据得到的眼图

2.3 偏振复用对误码率的影响

图 7 所示为毫米波单独传输、毫米波和 UWB、毫米波和基带信号以及 3 路信号共同传输时的毫米波信号的误码率曲线图。由于前 3 种情况没有加入偏振复用,误码率曲线几乎重合。信号速率为 2.5 Gbit/s ,传输 20 km ,在保证误码率不大于 10^{-9} 时,4 种情况下接收灵敏度分别为 -27.6 、 -27.2 、 -27.5 和 -25.9 dBm 。偏振复用带来的功率代价约为 1.7 dB 。

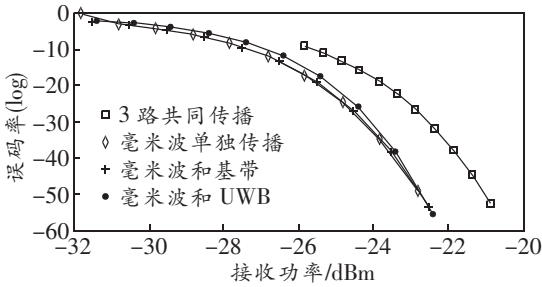


图 7 误码率与接收功率的关系

3 结束语

本文提出了一种单波长共同传输 60 GHz 毫米波、UWB 信号和基带信号的系统方案。采用两个并行 PM 即可生成 6 倍频毫米波,电高斯脉冲调制单个双极型 MZM 生成二阶 UWB 信号,采用偏振复用实现基带信号和 UWB 信号的共同传输。仿真得到 60 GHz 毫米波,中心频率为 5.5 GHz ,相对带宽为 98% 的二阶 UWB。调制在 60 GHz 毫米波和光载波上的 2.5 Gbit/s 基带信号,经 20 km 单模光纤传输后眼图清晰。所提系统方案的特点是系统只采用一个波长,利用高阶边带产生高倍频毫米波,利用偏振复用将基带和 UWB 共同调制在载波上,结构简单,能实现无线信号(毫米波、UWB)和有线信号(基带信号)的混合接入,在未来光接入网中具有广泛的应用前景。

参考文献：

[1] Park C, Rappaport T S. Short-Range Wireless Communications for Next-Generation Networks: UWB, 60 GHz Millimeter-Wave WPAN, And ZigBee [J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(4):70—78.

[2] 卓兰, 郭楠. 60 GHz 毫米波无线通信技术标准研究 [J]. 信息技术与标准化, 2011, (11):40—43.

[3] 吴君钦, 余艳芳. 基于双平行 PM 调制的 60 GHz 光毫米波 RoF 系统研究 [J]. 半导体光电, 2012, 33(5):715—717.

[4] O'Reilly J J, Lane P M. Fibre-supported optical generation and delivery of 60 GHz signals [J]. Electronics Letters, 1994, 30(16):1329—1330.

[5] Qi G, Yao J, Seregelyi J, et al. Generation and distribution of a wide-band continuously tunable millimeter-wave signal with an optical external modulation technique [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2005, 53(10):3090—3097.

[6] Shen Y, Zhang X, Chen K. Optical Carrier-Suppres-

sion of Microwave Signals with Stimulated Brillouin Scattering in Long Fiber Ring [J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2004, 43(3):258—260.

[7] 胡善梅, 陈林. 基于相位调制器产生六倍频光毫米波的 OFDM 信号光传输系统研究 [J]. 光子学报, 2010, 39(4):699—703.

[8] 张震, 陈新桥, 王瑞东, 等. 基于非线性光学环境中 SOA 的 XPM 效应生成 UWB 信号的研究 [J]. 半导体光电, 2013, 34(6):1032—1035.

[9] 李晶, 宁提纲, 裴丽, 等. Optical ultra-wideband pulse generation and distribution using a dual-electrode Mach-Zehnder modulator [J]. Chinese Optics Letters, 2010, 8(2):138—141.

[10] 徐刚. 毫米波与 UWB 信号共同传输的 RoF 系统研究 [D]. 北京:清华大学, 2010.

[11] Shao T, Yao J. Millimeter-Wave and UWB over a Colorless WDM-PON Based on Polarization Multiplexing Using a Polarization Modulator [J]. Journal of Lightwave Technology, 2013, 31(16):2742—2751.

(上接第 8 页)

参考文献：

[1] Farahi F, Pannell C N, Jackson D A. Potential of stimulated Brillouin scattering as sensing mechanism for distributed temperature sensors [J]. Electron Lett, 1989, 25(14):913—914.

[2] Maughan S M, Kee H H, Newson T P. Simultaneous distributed fibre temperature and strain sensor using microwave coherent detection of spontaneous Brillouin backscatter [J]. Meas Sci Technol, 2001, 12(7):834—842.

[3] 阳林, 史尊伟, 黄吉超, 等. 基于 BOTDR 分布式光纤传感技术的架空线路温度检测现场试验研究 [J]. 高电压技术, 2015, 41(3):329—333.

[4] Parker T R, Farhadiroushan M, Handerek V A, et al. A fully distributed simultaneous strain and temperature sensor using spontaneous Brillouin backscatter [J]. IEEE Photonics Technol Lett, 1997, 9(7):979—981.

[5] Kim S, Kwon H, Yang I, et al. Performance of a distributed simultaneous strain and temperature sensor

based on a Fabry-Perot laser diode and a dual-stage FBG optical demultiplexer [J]. Sensors, 2013, 13(11):15452—15464.

[6] Li C L, Lu Y G, Zhang X P. SNR enhancement in Brillouin optical time domain reflectometer using multi-wavelength coherent detection [J]. Electron Lett, 2012, 48(18):1139—1141.

[7] Chang T Y, Kosciwa T E, Li D Y, et al. A novel detection method of Brillouin backscattered light in optical fiber [J]. IEEE Sens J, 2009, 9(4):430—434.

[8] Wood T H, Linke R A, Kasper B L, et al. Observation of coherent Rayleigh noise in single-source bidirectional optical fiber systems [J]. J Lightwave Technol, 1988, 6(2):346—352.

[9] 杨建良, 查开德. 光纤 AM-CATV 外调制传输系统中双频调相抑制 SBS 的理论分析 [J]. 中国激光, 2000, 27(8):724—728.

[10] Agrawal G P. 光纤通信系统[M]. 第 3 版, 北京:清华大学出版社, 2004.