

同时传输多波段信号的 RoF 全双工系统

王 惠¹, 刘开贤², 陈新桥³

(中国传媒大学 理学院, 北京 100024)

摘要:光载无线通信(Radio over Fiber, RoF)系统将载波频率提升至微波和毫米波段,为了充分利用频谱资源,实现大容量、低成本和低损耗的信号传输,提出了一种利用马赫-曾德尔调制器(MZM)抑制偶次边带的双向 RoF 系统。该系统利用单边带调制,可同时传输基带、30GHz 微波和 60GHz 毫米波信号。仿真经过 20km 单模光纤(SMF)传输后得到的光谱图和误码率曲线图验证了该系统的可行性。

关键词:光纤无线传输; 光生毫米波; 全双工

中图分类号: TN929.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)01-0050-03

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.01.014

RoF duplex system for simultaneous transmission of multiband signals

WANG Hui¹, LIU Kaixian², CHEN Xinqiao³

(School of Science, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: Radio over fiber (RoF) system raises the carrier frequency to microwave and millimeter wave band, in order to make full use of spectrum resources and realize the large capacity, low cost, low loss of signal transmission, this paper proposes a bidirectional RoF system using Maher-Zehnder modulator (MZM) to suppress even order sidebands. The system can transmit baseband, 30GHz microwave and 60GHz millimeter wave signals simultaneously using single sideband modulation. The spectra and error rate curves obtained after the transmission of 20km single-mode fiber (SMF) demonstrate the feasibility of the proposed system.

Key words: radio over fiber; optical generation millimeter wave; full duplex

0 引言

光载无线通信(Radio over Fiber, RoF)系统是一种无线通信和光纤通信相结合的系统,近年来该系统以其低损耗、高带宽和可移动的优点成为研究的热点。光生毫米波是 RoF 中的关键技术,国内外对 RoF 系统进行了大量研究,提出了多种光生毫米波的方案^[1-3]。文献[4]首次利用电吸收调制器(EAM)实现了单波长同时调制与传输两种不同的信号,之后能同时提供有线服务和无线服务的混合接入 RoF 系统备受关注^[5-8]。混合接入 RoF 技术不仅能带来多样性的服务,还能充分利用光纤的带宽资源,满足用户对高带宽、高速率的要求。因为电子瓶颈的限制,高频毫米波的处理变得十分困难,所以借助光学办法生成毫米波成为研究热点之一。

本文提出一种能同时传输基带、微波和毫米波信

号的 RoF 全双工系统,不仅避免了电子瓶颈,还利用多个边带同时传输了多路信号,高效利用频谱资源,增大了系统容量。

1 理论分析

本文设计的 RoF 全双工系统框图如图 1 所示。首先,在中心站,激光器(LD)输出的连续光 $E_{in}(t) = E_0 \times \cos(\omega_c t)$, 其中 E_0 为光载波幅度, ω_c 为光载波角频率。采用射频(RF)信号 $V_{RF}(t)$ 作为 MZM 的调制信号,令 $V_{RF1}(t) = V_{DC1} + V_{RF} \cos(\omega_{RF} t)$, $V_{RF2}(t) = V_{DC2} + V_{RF} \cos(\omega_{RF} t + \theta)$, 其中, V_{DC1} 和 V_{DC2} 是马赫-曾德尔调制器(MZM)两臂的直流偏置电压, V_{RF} 和 ω_{RF} 分别为射频信号的幅度和角频率, θ 为两臂的相位差。当 $\theta = \pi$ 、 $V_{DC} = V_{DC1} - V_{DC2} = V_{\pi}$ 时,实现抑制偶次边带调制, V_{π} 是调制器的半波电压, MZM 的输出表达式为:

$$E_{out}(t) = \alpha E_0 \{ J_1(m_{RF}) [\sin(\omega_c t + \omega_{RF} t) + \sin(\omega_c t - \omega_{RF} t)] - J_3(m_{RF}) [\sin(\omega_c t + 3\omega_{RF} t) + \sin(\omega_c t - 3\omega_{RF} t)] \} \quad (1)$$

收稿日期: 2017-09-05。

作者简介: 王惠(1993-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为光通信。

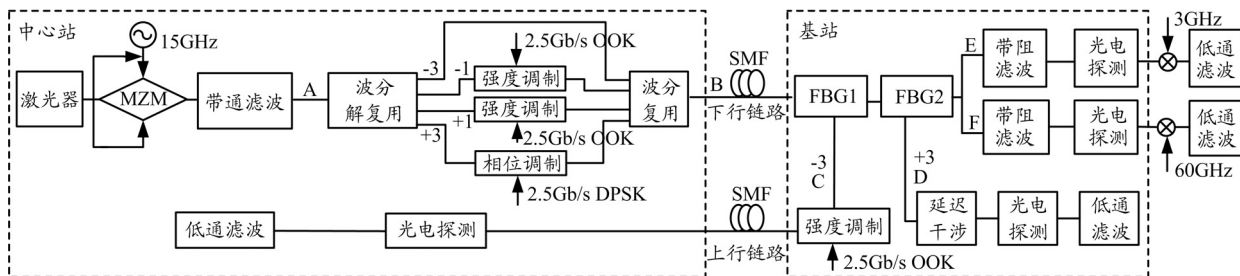


图 1 RoF 全双工系统实验设计图

其中, α 为光插入损耗, $J_n(x)$ 为第一类贝塞尔函数, $m_{RF} = \pi V_{RF}/V_\pi$ 。

然后, 通过一个波分解复用器将 4 个边带分离开, +3 和 ± 1 阶边带上分别调制差分相移键控(DPSK)和开关键控(OOK)调制格式的数据信号。 ± 1 阶边带经过基带信号 $m_1(t)$ 和 $m_2(t)$ 强度调制后, 信号可表示为:

$$E_{-1}(t) = \alpha E_0 m_1(t) J_1(m_{RF}) \sin(\omega_c t - \omega_{RF} t) \quad (2)$$

$$E_{+1}(t) = \alpha E_0 m_2(t) J_1(m_{RF}) \sin(\omega_c t + \omega_{RF} t) \quad (3)$$

最后, 利用一个波分复用器将边带重新耦合, 通过单模光纤(SMF)传输至基站。

在基站, 经过距离为 L 的光纤传输, 色散会导致边带有额外的相位, 此时信号的输出表达式为:

$$E_{out1}(t) = \alpha E_0 \{ J_1(m_{RF}) [m_2(t-t_1) \sin(\omega_c t + \omega_{RF} t + \varphi_1) + m_1(t-t_2) \sin(\omega_c t - \omega_{RF} t + \varphi_2)] - J_3(m_{RF}) \sin(\omega_c t - 3\omega_{RF} t + \varphi_3) \} \quad (4)$$

其中, φ_1 、 φ_2 和 φ_3 分别是 ± 1 阶和 -3 阶边带由于色散产生的额外相位, t_1 和 t_2 分别是光纤传输引入的延时。先让下行信号通过一个光纤光栅(FBG)和环形器提取上行载波, FBG 的反射率为 50%, 中心波长在 -3 阶边带。之后信号通过一个反射率为 100%、中心波长在 $+3$ 阶边带的 FBG, 提取 $+3$ 阶边带用于基带信号的解调。剩下的 -3 和 ± 1 阶边带信号分为两路, 其中一路通过一个抑制 $+1$ 阶边带的带阻滤波器, -3 与 -1 阶边带在光电探测器(PD)中实现拍频, 产生 2 倍 RF 的微波信号, 其电流形式为:

$$I_1(t) \propto m_1(t-t_1) E_0^2 J_1^2(m_{RF}) J_3^2(m_{RF}) \times \sin(2\omega_{RF} t + \varphi_2 - \varphi_3 - \pi/2) \quad (5)$$

另一路通过一个抑制 -1 阶边带的带阻滤波器, -3 与 $+1$ 阶边带在 PD 中拍频产生 4 倍 RF 的毫米波信号, 该信号的电流形式为:

$$I_2(t) \propto m_2(t-t_2) E_0^2 J_1^2(m_{RF}) J_3^2(m_{RF}) \times \sin(4\omega_{RF} t + \varphi_1 - \varphi_3 - \pi/2) \quad (6)$$

从式(6)可以看出, 检测到的电流包含 2 倍 RF 的微波信号和 4 倍 RF 的毫米波信号, 而且都已经携带了基带信号。产生的微波和毫米波信号经过天线发

射, 由用户接收。至此, 本文设计的 RoF 系统实现了同时传输毫米波、微波和基带信号的功能。

2 系统设计与结果分析

本文采用 Optisystem 建立了图 1 所示的 RoF 全双工系统。在中心站, LD 产生 1550.36nm 波长的连续光输入到双臂 MZM 中, 通过频率为 15GHz 的 RF 信号驱动消光比为 30dB 的 MZM。 V_π 为 4V, 两臂的相位差为 π , 偏置电压差等于 V_π , 实现抑制偶次边带的调制, 抑制偶次边带的信号光谱图如图 2(a) 所示。 ± 1 和 $+3$ 这 3 个边带加载数据, 通过波分复用器将这 4 路边带信号合成一路信号, 该信号光谱图如图 2(b) 所示。信号经过 20km 光纤传输到基站。光纤的损耗系数为 0.2dB/km, 色散参数为 16.75ps/nm·km。

在基站, 第一个 FBG 的反射率为 50%, 中心频率与 -3 阶边带一致, 带宽为 0.2nm。经 FBG 反射出来的 -3 阶边带作为上行载波, 其光谱图如图 2(c) 所示。第二个 FBG 的反射率为 100%, 中心频率与 $+3$ 阶边带一致, 带宽为 0.3nm。经第二个 FBG 反射出来的 $+3$ 阶边带光谱图如图 2(d) 所示。剩下的 -3 和 ± 1 阶边带被功分比为 50% 的功分器分成两路。其中一路先通过一个中心频率与 $+1$ 阶边带一致、带宽为 30GHz 的带阻滤波器, 其光谱图如图 2(e) 所示; 再经过 PD 转换为 30GHz 的微波信号, 将其与 30GHz 的本振混频, 通过一个低通滤波器(LPF)恢复出调制在 -1 阶边带上的 2.5Gb/s OOK 信号。另一路先通过一个中心频率与 -1 阶边带一致、带宽为 30GHz 的带阻滤波器, 其光谱图如图 2(f) 所示; 再经过 PD 转换为 60GHz 的毫米波, 将其与 60GHz 的本振混频, 通过一个 LPF, 恢复出调制在 $+1$ 阶边带上的 2.5Gb/s OOK 信号。

为了验证该系统, 我们对背靠背系统和 20km 光纤传输的情况做了对比试验, 得到的误码率曲线如图 3 所示。在背靠背系统中, 误码率为 1×10^{-9} 时, 30GHz 微波、60GHz 毫米波和基带信号的接收光功率分别为 -19.20 dBm、 -20.81 dBm 和 -25.35 dBm。经过

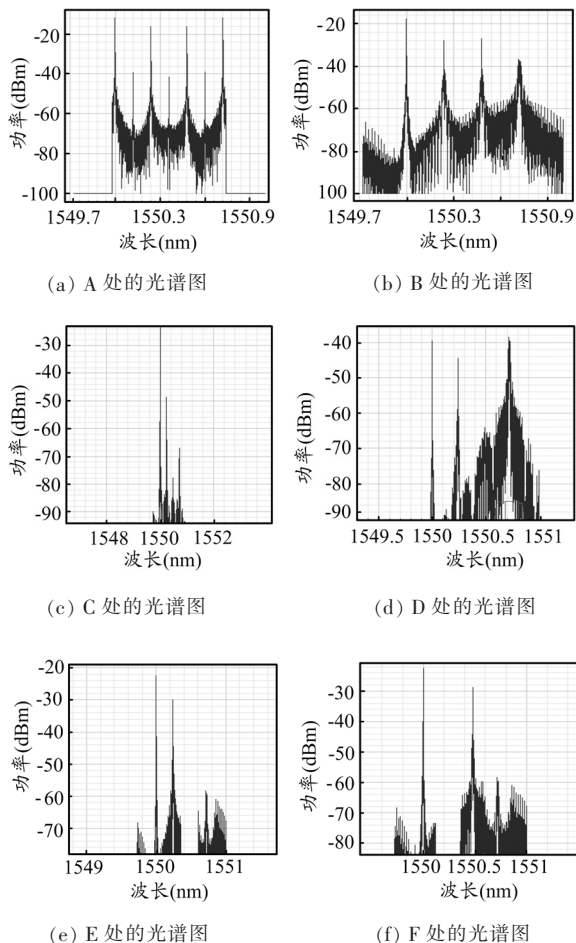


图2 RoF 全双工系统对应点的光谱图

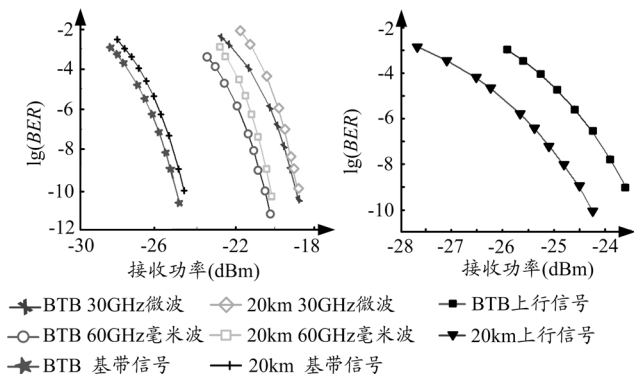


图3 下行信号误码率曲线图

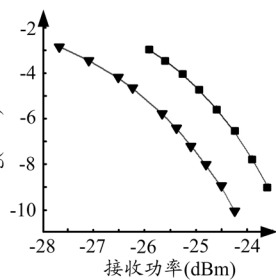


图4 上行信号误码率曲线图

20km 的光纤传输以后,功率代价依次为 0.14dB、0.37dB 和 0.43dB。由此可以看出,下行链路的功率代价很小,满足系统要求并且有着很好的传输性能。上行信号误码率如图 4 所示,在背靠背系统中,误码率为 1×10^{-9} 时,解调上行基带信号的接收光功率为 -24.50dBm,经过 20km 光纤传输后,功率代价为 0.91dB,这表明上行链路的传输性能也较好。

3 结束语

本文建立并验证了一个同时传输基带、30GHz 微波和 60GHz 毫米波的 RoF 全双工系统,利用空闲边带作为上行载波,简化了基站,实现了全双工通信。理论分析和仿真验证的结果较一致。输出 RF 信号只由一个拍频成分组成,避免了周期性衰落的影响。拍频的两个边带中只有一个边带携带下行数据,消除了色散导致的边带走离效应,30GHz 微波、60GHz 毫米波和基带传输信号在数据误码率为 1×10^{-9} 时,功率代价均小于 0.5dB。上行信号功率代价小于 1dB,系统传输性能较好。本系统能同时提供有线和无线的传输服务,充分利用频谱资源,增大通信容量,为同时传输多波段高频信号提供参考。

参考文献:

- [1] YANG T, GAO M, QIAN J. A simple scheme to generate two millimeter-wave signals for radio-over-fiber systems [C]//2016 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), June 4–6, 2016, Beijing, China. Piscataway: IEEE, 2016.
- [2] MA Jianxin, LI Yanjie. A full-duplex multiband access radio-over-fiber link with frequency multiplying millimeter-wave generation and wavelength reuse for upstream signal [J]. Optics Communications, 2015, 334(1): 22–26.
- [3] CHOWDHURY A, CHANG G K, CHIEN H C, et al. Advanced System Technologies and Field Demonstration for In-Building Optical-Wireless Network With Integrated Broadband Services [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27(12): 1920–1927.
- [4] KAMISAK T, KURI T, KITAYAMA K. Simultaneous modulation and fiber-optic transmission of 10Gb/s baseband and 60-GHz-band radio signals on a single wavelength [J]. IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2001, 49(10): 2013–2017.
- [5] IKEDA K, KURI T, KITAYAMA K. Simultaneous three-band modulation and fiber-optic transmission of 2.5Gb/s base-band, microwave and 60-GHz-band signals on a single wavelength [J]. Journal of Lightwave Technology, 2003, 21(12): 3194–3202.
- [6] CHIEN H C, HSUEH Y T, Chowdhury A, et al. Optical Millimeter-Wave Generation and Transmission Without Carrier Suppression for Single and Multi-Band Wireless Over Fiber Applications[J]. Journal of Lightwave Technology, 2010, 28(16): 2230–2237.
- [7] ZHANG L, HU X, CAO P, et al. A bidirectional radio over fiber system with multiband-signal generation using one single-drive MZM [J]. Optics Express, 2011, 19(6): 5196–5201.
- [8] LI C Y, SU H S, CHANG C H, et al. Generation and Transmission of BB/MW/MMW Signals by Cascading PM and MZM [J]. Journal of Lightwave Technology, 2012, 30(3): 298–303.