

文章编号:1004-4213(2010)04-0699-5

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*

胡善梅, 陈林

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

摘要:提出了两个并行相位调制器产生六倍频光毫米波并传输正交频分复用信号的全双工光纤无线通信系统. 将 2.5 Gbit/s 的正交频分复用信号调制到 60 GHz 光毫米波上. 从理论上分析了毫米波产生的原理, 并分别模拟了毫米波信号承载 OOK 信号和正交频分复用信号在光纤中的传输性能. 从而验证系统的可行性. 仿真模拟结果表明, 在光纤无线通信系统中, 正交频分复用比非归零码更具有优势.

关键词:相位调制器; 六倍频毫米波; 正交频分复用; 光纤无线通信

中图分类号: TN929.9

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103904.0699

0 引言

光纤无线通信(Radio Over-Fiber, ROF)系统在未来宽带无线通信中具有很大的发展潜力, 已成为目前光纤通信的热点. 与传统的高频无线及同轴电缆相比较, ROF 系统具有低费用, 高性能, 超大带宽, 和长距离传输等优势. 正交频分复用技术以其抗干扰能力强、频谱效率高、传输容量大等特点被公认为现代通信的核心技术^[1]. 在国际上, 从 20 世纪末起, 世界各先进国家都争先恐后的开展了正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技术与 ROF 技术相结合 OFDM-ROF 光无线传输技术的研究,

近年来, 关于 ROF 系统设计方面的研究在国内外已有很多报道了. 人们研究了采用了不同的方法来产生光毫米波^[3-7]. 外部强度调制能产生高频的光毫米波. 但光强度调制器需要复杂的电路来控制偏置电压, 强度调制器越多, 系统结构就越复杂^[8]. 而相位调制器可以弥补这个缺陷, 同时, 相位调制器具有低插入损耗, 只要用相对较小的 RF 信号就能产生光毫米波^[9]. 用两个电光相位调制器实现抑光载波双边带双工传输, 使通信带宽加倍, 而且很好地控制上下行传输信号的误码率^[10]. 为了提高毫米波产生的效率, 也有文章^[11]提出了一种采用二个外部

强度调制器级联产生四倍频的光毫米波的 ROF 系统, 利用 10 GHz 的本振信号作驱动信号, 产生了 40 GHz 的光毫米信号, 并携带 2.5 Gb/s OOK 信号.

本文通过并联两个相位调制器产生六倍频光毫米波的方案. 用相位差为 180°的 10 GHz 的正弦信号分别驱动两个并行的相位调制器产生 60 GHz 的光毫米波信号. 调节 PM 的相移常量使 PM 抑制一阶边带, 耦合相减后只有三阶边带存在. 再将 OFDM 信号调制上去, 然后与光中心载波合成一个双边带信号. 通过光纤传输到基站后, 将边带和中心载波分离开, 边带进行拍频解调, 而中心载波用来传上行数据. 通过仿真验证了用二个相位调制器组联产生 60 GHz 的光毫米波信号并携带 2.4 Gb/s 的 OFDM 信号在光纤中传输了 75 KM 后星座图和眼图仍旧很好. 为了进一步说明此方案的优势, 同时采用 OOK 信进行了比较. 系统中只采用了相位调制器, 降低了插入损耗, 又实现了倍频.

1 理论分析

基于相位调制器产生六倍频产生光毫米波并上传 OFDM 信号的光纤无线通信系统的方案如图 1. 根据 Bessel 函数的曲线特性, 通过调节相位调制器的相移常量, 产生抑制一阶边带信号, 相位调制器输出信号中包含中心、二阶和高阶边带, 然后通过耦合相减后得到两个三阶边带, 中心和二阶边带抵消了, 而高阶边带则忽略不记. 将 OFDM 信号调制在两边带后与加入中心载波通过光纤传输到基站. 在接收端, 中心载波重利用来传输基带信号至中心站, 而两个边带经拍频后解调.

* 国家高科技研究发展计划(2007AA01Z263)、湖南省自然科学基金(06JJ50108)和教育部光通信和光波技术重点实验室开放基金资助

† Tel: 13469451042

Email: huxin7729919@126.com

收稿日期: 2009-05-11

修回日期: 2009-08-27

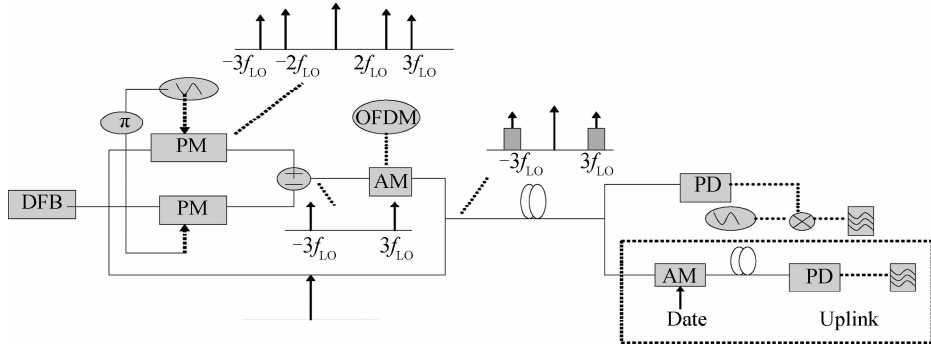


图1 采用并行的相位调制器产生的六倍频传输 OFDM 信号的结构

Fig. 1 Schematic diagram of frequency sextuple optical millimeter-wave generation utilizing phase modulator

下面从理论推导上分析倍频信号的产生原理。

假设:输入信号的表达式为

$$E_{in}(t) = A \exp(j\omega_c t)$$

调制信号的表达式为

$$\text{modulation}(t) = B \cos(\omega_{RF} t + \theta)$$

可以得到调制后的信号表达式

$$E(t) = A \exp\{j[\omega_c t + B\Delta\phi \cos(\omega_{RF} t + \theta)]\} \quad (1)$$

式中 $\Delta\phi$ 是相移常量, A 、 ω_c 、 B 、 ω_{RF} 分别输入信号和调制信号的幅度和角频率。

取实部可得

$$E(t) = A \cos[\omega_c t + B\Delta\phi \cos(\omega_{RF} t + \theta)] \quad (2)$$

Bessel 展开

$$E(t) = A \{ \cos(\omega_c t) J_0(B\Delta\phi) + 2 \cos(\omega_c t) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(B\Delta\phi) \{ \cos[2n(\omega_{RF} t + \theta)] \} + 2 \sin(\omega_c t) \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n-1}(B\Delta\phi) \cdot \{ \cos[(2n-1)(\omega_{RF} t + \theta)] \} \} \quad (3)$$

式(3)中 J_k ($k=0, 1, 2, \dots$) 表示第一类 k 阶 Bessel 函数, 相位调制器输出包括中心载波、一阶边带和高阶边带信号。在相位调制器中, 驱动信号振幅 B 归一化到 $(0 \sim 1)$ 区间。当 $J_1(B\Delta\phi) = 0$ 时, 相位调制器输出信号中不含一阶载波分量, 得到抑制一阶载波信号。根据第一类 Bessel 函数的曲线特性, $J_1(B\Delta\phi) = 0$ 的第一个零点是 $\Delta\phi = 3.8$, 因此, 当相移常量 $\Delta\phi = 1.9$, 相位调制器输出抑制一阶载波信号。

对上、下 PM 调制器的初相分别为 0° 和 180° 可得

$$E_1(t) = A \{ \cos(\omega_c t) J_0(B\Delta\phi) + 2 \cos(\omega_c t) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(B\Delta\phi) [\cos(2n\omega_{RF} t) + 2 \sin(\omega_c t) \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n-1}(B\Delta\phi) \cdot [\cos((2n-1)(\omega_{RF} t + \theta))] \} \\ E_2(t) = A \{ \cos(\omega_c t) J_0(B\Delta\phi) + 2 \cos(\omega_c t) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(B\Delta\phi) [\cos(2n(\omega_{RF} t + \pi))] \cdot + 2 \sin(\omega_c t) \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n-1}(B\Delta\phi) \cdot$$

$$[\cos((2n-1)(\omega_{RF} t + \pi))] \} \quad (4)$$

在式(4)中抑制一阶载波后并忽略三阶以上的高阶边带得式(5)。

$$J_1(B\Delta\phi) = 0$$

$$E'_1(t) = A \{ \cos(\omega_c t) J_0(B\Delta\phi) - 2 \cos(\omega_c t) \cdot$$

$$J_2(B\Delta\phi) [\cos(2\omega_{RF} t)] + 2 \sin(\omega_c t) \cdot$$

$$J_3(B\Delta\phi) [\cos(3\omega_{RF} t)] \}$$

$$E'_2(t) = A \{ \cos(\omega_c t) J_0(B\Delta\phi) + 2 \cos(\omega_c t) \cdot$$

$$J_2(B\Delta\phi) [\cos(2(\omega_{RF} t + \pi))] + 2 \sin(\omega_c t) \cdot$$

$$J_3(B\Delta\phi) [\cos(3(\omega_{RF} t + \pi))] \} =$$

$$A \{ \cos(\omega_c t) J_0(B\Delta\phi) - 2 \cos(\omega_c t) \cdot$$

$$J_2(B\Delta\phi) [\cos(2\omega_{RF} t)] - 2 \sin(\omega_c t) \cdot$$

$$J_3(B\Delta\phi) [\cos(3\omega_{RF} t)] \} \quad (5)$$

耦合后

$$E_{out} = E'_1 - E'_2 = A \{ \cos(\omega_c t) J_0(B\Delta\phi) - 2 \cos(\omega_c t) J_2(B\Delta\phi) [\cos(2\omega_{RF} t)] + 2 \sin(\omega_c t) J_3(B\Delta\phi) [\cos(3\omega_{RF} t)] \} - A \{ \cos(\omega_c t) J_0(B\Delta\phi) + 2 \cos(\omega_c t) J_2(B\Delta\phi) \cdot [\cos(2(\omega_{RF} t + \pi))] + 2 \sin(\omega_c t) J_3(B\Delta\phi) \cdot$$

$$[\cos(3(\omega_{RF} t + \pi))] \} = 4 A \sin(\omega_c t) J_3(B\Delta\phi) \quad (6)$$

由式(6)中可看出, 由于上下 PM 的输出信号中的中心载波和二阶边带同相, 而三阶边带是反向的, 因此在耦合后中心载波和二阶边带被抵消掉, 两个三阶边带则反向相加后留下来了, 其原理如图 2。

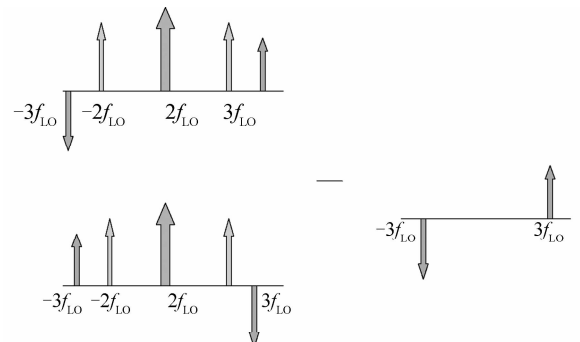


图2 六倍频光信号产生的原理

Fig. 2 Principle of frequency sextuple optical millimeter-wave generation

2 仿真及结果分析

2.1 调制 OOK 信号

如系统图所示,10 GHz 的驱动信号通过两个并行相位调制器后,产生 60 GHz 的毫米波,再将 2.5 Gbit/s 的 OOK 信号调制到这两个边带上,然后

与中心载波耦合通过单模光纤传输到基站.当信号到达基站后,通过一个分离器把边带与中心载波分离开来,携带信号的两个边带由光电检测器解调,而中心载波则用来调制上行数据.我们通过传输不同距离的单模光纤后比较眼图的变化,所得眼图如图 3.

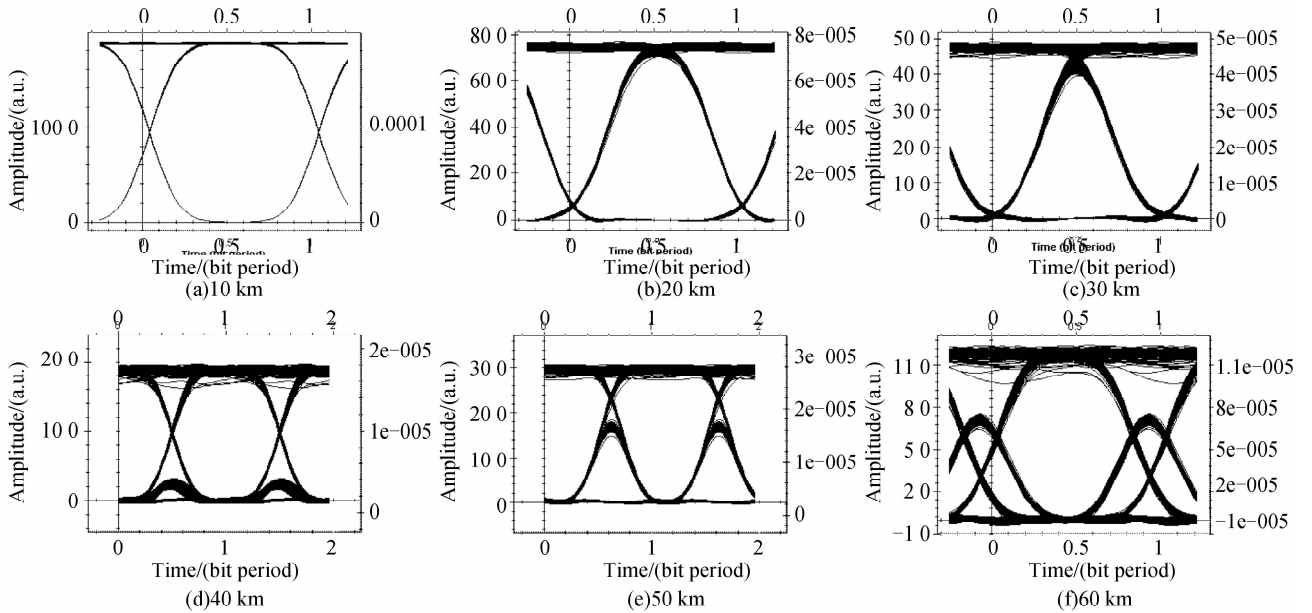


图 3 NRZ 信号传输不同距离光纤后的眼图

Fig. 3 Eye diagrams of NRZ signal after transmission over different distances SMFs

从图 3(a)~(d)可以看出,随着传输距离的增加,眼睛的张开度逐渐变小,这是因为眼睛的张开度与码元时移有关,码元时移越大,眼睛张开的越小,同时码元时移和传输距离 \approx 成正比,因此,随着传输距离的增加,码元时移增大,眼睛的张开度逐渐减小.这与第二部分中式(8)所提到的时移相一致.当传输到 50 km 的时候,码元完全走离,而至 60 km 时,由于色散导致的码间串扰变得十分严重而出现多眼皮重叠.

2.2 传输 OFDM 信号

现在将 2.5 Gbit/s 的 OFDM 信号调制到边带上,同样的在传输不同的长度的单模光纤后,通过分析相应的星座图来讨论一下系统的性能.在分别传输 50 km,60 km,70 km,80 km 后,接收端解调后星座图如图 4.

从图中可以看出,信号的整体幅度没有发生变化,只是随着传输距离的变化,经过光纤传输后由于信噪比降低星座图有一些发散.

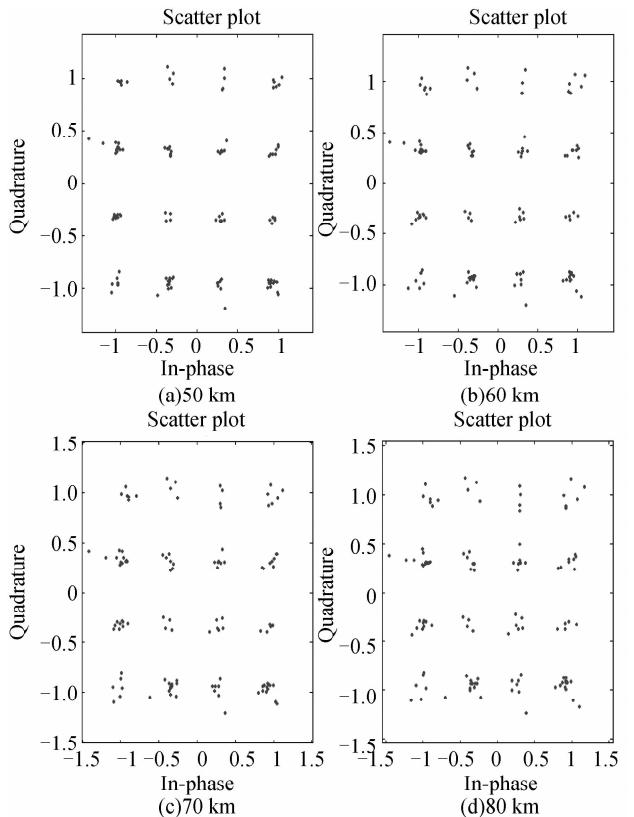


图 4 OFDM 信号传输不同距离的光纤后的星座图

Fig. 4 Diagram of OFDM signal after transmission over different distances SMFs

3 结论

本文提出了一种采用级联的相位调制器产生六倍频毫米波的光纤无线通信系统. 理论分析了毫米波产生的原理, 并仿真分析了分别承载 OOK 与 OFDM 信号时光毫米波在单模光纤中的传输性能. OOK 信号在光纤中传输时易受色散的影响出现时间走离效应, 从而导致信号的失真. 在眼图中表现出多眼皮的重叠. OFDM 信号能够抵抗光纤传输中的时延衰落, 虽然也会受到色散的影响, 但是只是出现幅度上的变化, 基带码元并没有发生相移. 也就是信号的整体幅度和相位没有变化, 只是随传输距离的变化, 信噪比的降低导致星座图有一些发散. 因此, 在 ROF 系统中, OFDM 比 NRZ 更具有优势.

由于相位调制器不需要外置偏压, 这就避免了直流偏置漂移的影响, 省略了控制电路, 而且产生的光毫米波信号稳定可靠. 只需要 10 GHz 的本振射频信号就能产生 60 GHz 的高频毫米波信号.

参考文献

- [1] FANG Zu-jie, YE Qing, LIU Feng, *et al.* Progress of millimeter wave subcarrier optical fiber communication technologies[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2006, **33**(4):481-488.
方祖捷, 叶青, 刘峰, 等. 毫米波副载波光通信技术的进展[J]. *中国激光*, 2006, **33**(4):481-488.
- [2] HUANG Cheng, CHEN Lin, YU Jian-jun, *et al.* Millimeter-wave generation utilizing one phase modulator[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, **35**(1):73-76.
黄诚, 陈林, 余建军, 等. 采用单个相位调制器产生毫米波[J]. *中国激光*, 2008, **35**(1):73-76.
- [3] LIN Chun-ting, SHIH P T, CEHN J, *et al.* Optical millimeter-wave signal generation using frequency quadrupling technique and no optical filtering[J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 2008, **20**(12):1027-1029.
- [4] MA Jian-xin, YU Jian-jun, YU Chong-xiu, *et al.* Transmission performance of the optical mm-wave generated by double sideband intensity-modulation[J]. *Opt Commun*, 2007, **280**(1):317-326.
- [5] JIA Zhen-sheng, YU Jian-jun, CHANG G K. A full-duplex radio-over-fiber system based on optical carrier suppression and reuse[J]. *IEEE Photon Technol Lett*, 2006, **18**(16):1726-1728.
- [6] CHEN Lin, SHAO Yu-feng, LEI Xiao-yan, *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.
- [7] CHEN Lin, WEN Shuang-chun, LI Ying, *et al.* Optical front-ends to generate optical millimeter wave signal in radio-over-fiber system with different architectures [J]. *Light Wave Technol*, 2007, **25**(11):3381-3387.
- [8] CHEN Lin, WEN Hong, WEN Shuang-chun. 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.
- [9] QI G, YAO J, SEREGELYI J, *et al.* Optical generation and distribution of continuously tunable millimeter-wave signals using an optical phase modulator[J]. *Light wave Technol*, 2005, **23**(9):2687-2695.
- [10] LI Guang, HUANG Xu-guang. A bi-directional radio-over-fiber system based on double-sideband with optical carrier suppression[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(5):1153-1157.
李广, 黄旭光. 抑光载波双边带 Radio over Fiber 双工通信系统设计[J]. *光子学报*, 2009, **38**(5):1153-1157.
- [11] WEN Hong, CHEN Lin, PI Ya-zhi, *et al.* Fullduplex radio-over-fiber system with optical millimeter-wave generation utilizing optical phase modulator [J], *Chinese Journal of Lasers*, 2007, **34**(7):935-939.
文鸿, 陈林, 皮雅稚, 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.
- [12] CHEN Luo-xiang, LU Jia, DONG Ze, *et al.* A Radio over fiber system based on two external modulator for optical millimeter generation with photonic frequency quadruple [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2008, **35**(12):1910-1913.
陈罗湘, 卢嘉, 董泽, 等. 采用两个级联外部调制器产生四倍频光载毫米波的光纤无线通信系统. *中国激光*, 2009, **35**(12):1910-1913.

A Radio Over Fiber System with Frequency Sextuple Optical Millimeter-Wave Generation Carrying OFDM Signal Utilizing Phase Modulator

HU Shan-mei, CHEN Lin

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

Abstract: A full-duplex radio-over-fiber system with sextuple optical millimeter-wave generation transmit OFDM signal utilizing two parallel phase modulators is proposed. 2.5 Gbit/s OFDM signal is modulated on the optical millimeter wave with 60 GHz frequency and transmitted to the base station over standard single-mode fiber (SMF). The generation principle and the transmission performance over fiber of optical millimeter wave generation are analyzed by theory and simulation, respectively. The results show that OFDM have more advantage than NRZ in ROF system.

Key words: Phase modulator; Sextuple optical millimeter-wave; Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM); Ratio Over Fiber (ROF)



HU Shan-mei was born in 1983. She is pursuing the M. S. degree, and her research interests focus on system of radio over fiber.



CHEN Lin was born in 1968. He is a professor at Hunan University, and his current research interests focus on polarization mode dispersion compensation, new modulation format techniques, and radio over fiber.