

文章编号: 1001-3806(2008)06-0659-04

一种改进的光载波抑制产生光毫米波的方法

陈罗湘^{1,2}, 黄 诚², 陈 林^{2*}

(1. 湘潭职业技术学院 信息工程系, 湘潭 411102; 2. 湖南大学 计算机与通信学院, 长沙 410082)

摘要: 为了延长光毫米波的传输距离, 提出了一种改进的光载波抑制产生光毫米波的方法。在中心站采用马赫-曾德尔调制器将射频信号调制到光载波上产生光载波抑制调制光信号, 再将产生光信号的 2 个边带分离, 将 2.5 Gbit/s 数据信号调制到其中 1 个边带上, 再与未调信号耦合后产生光毫米波并通过光纤传送至基站。在基站中通过光电转换器产生电毫米波。从理论上分析了这种光毫米波的传输特性并通过实验验证了光毫米波在光纤中可以传输 40 km。仿真和实验结果表明, 这种方式产生的光毫米波具有很好的抗色散能力, 延长了传输距离。

关键词: 光通信; 光纤无线通信系统; 光毫米波产生; 光载波抑制

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A

A modified scheme for optical millimeter-wave generation based on optical carrier suppression modulation

CHEN Luo-xiang^{1,2}, HUANG Cheng², CHEN Lin²

(1. Department of Information Engineering Xiangtan Vocational & Technical College, Xiangtan 411102, China; 2. School of Computer and Communication Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract In order to increase the transmission distance for optical millimeter wave over an optical fiber, a novel scheme for optical millimeter wave generation with optical carrier suppression (OCS) modulation by external modulator in a radio over fiber (ROF) system was proposed. At the central station, a CW wave was intensity modulated by the RF signal to generate OCS signal. After the pure optical carrier was filtered, an optical interleaver was employed to separate the spectrum of the upper sideband and the lower sideband of the generated OCS signal. After the lower sideband signal was modulated with a baseband data at 2.5 Gbit/s, it was recombined with the unmodulated signal to generate optical mm-wave, and then transmitted to the base station over a single mode fiber (SMF). In the base station, the electrical mm-wave signal was generated by optical electrical (O/E) conversion. The dispersion performance of the generated mm-wave was theoretically analyzed. The optical millimeter wave could be transmitted 40 km over a single mode fiber in the experiment. The simulation and experiment results show that it can immune the fading effect and increase the transmission distance for optical millimeter wave over fibers with this method.

Key words optical communication; radio over fiber; generation of optical millimeter wave; optical carrier suppression

引 言

光纤无线通信系统 (radio over fiber, ROF) 将成为未来超宽带无线接入的最理想的通信方式, 人们已对 ROF 研究了多年^[1-13]。光毫米波产生方法是降低 ROF 系统代价的最关键的技术之一。迄今为止, 已提出的光毫米波的产生方法有 3 种: 直接强度调制、外部强度调制和远程外差技术^[1-13]。基于外部调制器的光毫米波产生方案具有较高的可靠性, 可降低代价, 因而最有可能成为 ROF 系统中产生光毫米波的首选技术^[5]。

采用外部调制器产生光毫米波的方法有 3 种: 单边带调制 (single sideband, SSB), 双边带调制 (double sideband, DSB) 以及光载波抑制 (optical carrier suppression, OCS)。ATTYGALLE 等人^[5]比较了这 3 种方法, 其中光载波抑制方法比单边带和双边带调制方法具有更高的光接收机灵敏度、更高的带宽利用率且电器件要求降低、更高的光调制器的带宽要求且要求更容易实现等优点。但是, 目前所研究的光载波抑制产生光毫米波的方法是将数据信号直接调制在 2 个边带上。如果 2 个边带同时加载数据信号, 光纤的色散效应会造成严重的码间干扰, 从而影响光毫米波信号在光纤中的传输。CHEN 等人^[13]研究了一种光载波抑制调制产生光毫米波的 ROF 系统, 当光纤传输 25 km 以后, 由于色散的影响从眼图来看信号的占空比变小了。

作者研究了一种改进的光载波抑制方法, 在中心

作者简介: 陈罗湘 (1965-), 男, 副教授, 硕士研究生, 主要从事光纤通信和电气工程与电力电子技术方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: lilili@sina.com

收稿日期: 2007-09-24 收到修改稿日期: 2008-03-19

站采用马赫-曾德尔调制器 (Mach-Zehnder modulator MZM) 将射频信号调制到光载波上产生光载波抑制调制光信号, 再将产生光信号的 2 个边带分离, 将 2.5 Gbit/s 数据信号调制到其中 1 个边带上, 再与未调制信号耦合后产生光毫米波并通过光纤传送到基站。这样可以在一定程度上抵抗色散引起的码间干扰, 延长传输距离。

1 改进方案原理及理论分析

本文中提出的改进的毫米波产生方案如图 1 所示, 激光器产生连续光载波, 然后再通过 MZM 进行光

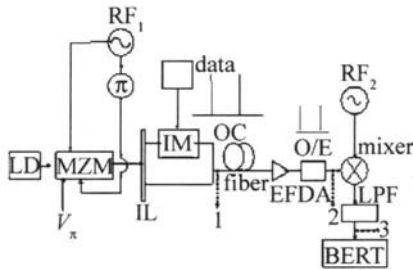


Fig 1 The principle of modified optical carrier suppression method LD—laser diode IL—optical interleaver MZM—Mach-Zehnder modulator IM—intensity modulator OC—optical combiner LPF—low pass filter O/E—optical/electrical conversion EDFA—erbium doped fiber amplifier BERT—bit error rate tester

载波抑制调制, RF_1 (radio frequency RF) 为双臂 MZM 调制器 (dual drive Mach-Zehnder modulator DD-MZM) 驱动信号, 其偏置电压为半波电压 (即 V_π), 这样可产生 2 个边带信号即为光载波抑制调制。2 个边带光信号通过光交错复用器分成 2 路, 其中一路调制数据信号, 另一路不作任何调制, 2 路信号耦合后形成光毫米波信号, 发送至单模光纤进行传输到基站。在基站中, 光毫米波信号通过光电检测器转化为电毫米波信号。为了测试光毫米波传输后数据信号的误码率及眼图, 采用电混频器将频率为 RF_1 2 倍的 RF_2 信号与电毫米波信号进行混频, 从而解调得到基带的数据信号, 测量其眼图的误码率。

激光二极管产生 1 个线宽很窄的连续光波, 表示为 $E_{in}(t) = \sqrt{P_0} \cos(\omega_c t)$, 其中, $E_{in}(t)$ 为激光器产生的光载波的时间变化的电场, P_0 为光载波的功率, ω_c 为光载波的角频率; 输入到直流偏置电压为 V_π 的 DD-MZM 中进行 OCS 调制, 调制器驱动信号为推挽的幅值很小的射频信号, 表示为: $V_{in}(t) = V_{in} \sin(\omega_{RF} t)$, 其中 $V_{in}(t)$ 为调制器输入电压随时间变化的函数, V_{in} 为输入电压的幅值, 则调制器输出为:

$$E_{out}(t) = 0.5 \sqrt{P_0} \{ \cos[\omega_c t + x \cos(\omega_{RF} t) + \pi] + \cos[\omega_c t + x \sin(\omega_{RF} t)] \} \quad (1)$$

式中, $x = \pi(V_{in}/V_\pi)$ 表示调制深度, V_π 是调制器半波

电压, ω_{RF} 是输入 RF 信号的角频率。x 很小时可忽略高阶边带, (1) 式 Bessel 展开后变为:

$$E_{out}(t) = -\sqrt{P_0} J_1(x) [\sin(\omega_c t + \omega_{RF} t) + \sin(\omega_c t - \omega_{RF} t)] \quad (2)$$

然后在 1 阶上边带调制基带数据, 光信号可变为:

$$E_{out}(t) = -\sqrt{P_0} J_1(x) [\sin(\omega_c t + \omega_{RF} t) + s(t) \sin(\omega_c t - \omega_{RF} t)] \quad (3)$$

式中, $s(t)$ 为基带数据信号的时域表达式。

该信号经过光电转换器检测后得到光电流为:

$$I_{out}(t) = 0.5 P_0 J_1^2(x) [1 + s(t) + s(t) \cos(2\omega_{RF} t)] \quad (4)$$

考虑色散的情况下:

$$E_{out}(t) = -\sqrt{P_0} J_1(x) [\sin(\omega_c + \omega_{RF})(t + \theta_{+1}) + \sin(\omega_c - \omega_{RF})(t + \theta_{-1}) s(t + \theta_{-1})] \quad (5)$$

式中, $\theta_i = \beta(\omega_c + i\omega_{RF})L - \beta(\omega_c + i\omega_{RF})$, $i = 0, \pm 1$, 表示由色散引起的时延, 下标 $i = 0, -1, +1$ 分别代表光载波、RF 的 2 个边带, 其中 L 为传输距离, $\beta(\omega_c + i\omega_{RF})$ 为模传输函数。

该信号经过光电检测器检测后得到光电流为:

$$I(t, L) = 0.5 \mu P_0 J_1^2(x) [s(t + \theta_{-1}) + 1 + s(t + \theta_{-1}) \cos(2\omega_{RF} t + 2\beta'_1 L)] \quad (6)$$

式中, μ 为光电转换器的灵敏度, $\beta'_1 = \beta'(\omega_c) \omega_{RF} L$ 表示由 1 阶色散引起的相移。

从 (6) 式可以看出, 基带信号解调后除了有一定的延时外, 没有码间干扰, 因此可以实现远距离传输。

2 系统仿真及实验结果

在 OptSys 环境下建立如图 1 的仿真系统。激光二极管产生 1 个线宽很窄的连续光波信号, 输入到由两个时钟射频 (RF_1) 信号驱动的消光系数为 50dB 的马赫-曾德尔调制器中, 这里采用 RF_1 的频率为 20GHz 因为 OptSys 中没有 IL 器件, 所以用 2 个带通滤波器代替, 分离出来的其中 1 个 1 阶边带被基带数据强度调制, 然后与另一个边带耦合输入到色散为 16.75ps/(nm·km) 的标准单模光纤传输到基站, 光信号输入到光电转换器中转换为电信号; 毫米波信号与 1 个 40GHz 的本地余弦信号 RF_2 进行混频, 最后经过带宽为 0.75 倍数据速率的高斯型低通滤波器得到基带信号。

图 2 为在图 1 所示的仿真系统的第 1 点测试得到的光毫米波的光谱图, 可以看出, 光毫米波包含 2 个频率的边带, 其中 1 个边带调制了数据信号, 另一个边带没有携带数据信号。由于右边的边带信号调制了数据信号而左边的边带是没有调制数据信号, 所以左边的边带信号由于滤波效应而变得陡峭。

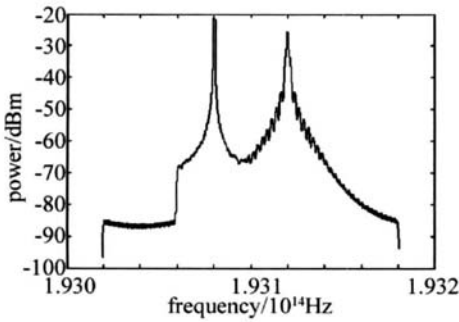


Fig 2 The optical spectrum generated by modified optical carrier suppression method

图 3 为在图 1 所示的仿真系统的第 2 点测试得到光电变换后的电毫米波的频谱图, 可以看出得到的电毫米波的频率为 40GHz 为本振信号 RF_1 频率的 2 倍。

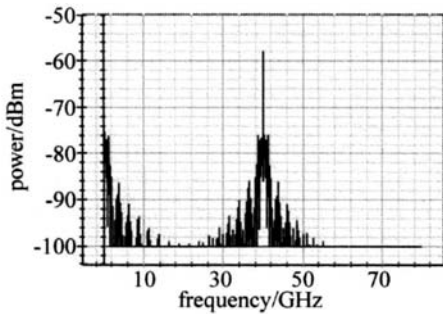


Fig 3 The electrical spectrum of 40GHz millimeter wave

图 4 表示探测器输出的电信号眼图, 可以看到毫米波的幅值没有随着传输距离的增大而衰减。

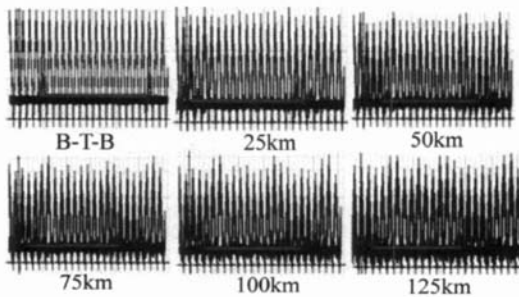


Fig 4 Eye diagram of electrical millimeter wave after optical electrical conversion (back-to-back B-T-B)

图 5 表示从毫米波信号解调出来的基带信号眼图, 可以看出随距离的增大, 眼图宽度的变化不大, 也就是说码元的占空比没有变小, 色散对其影响较小。

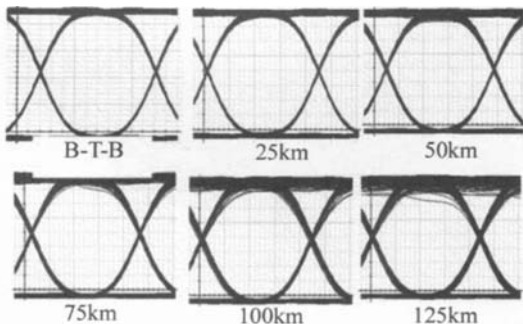


Fig 5 Eye diagram after down-conversion by numerical simulation

图 6 表示下行链路信号在传输数据速率为 2.5Gbit/s 的误码率 (bit error rate, BER) 曲线图, 可以

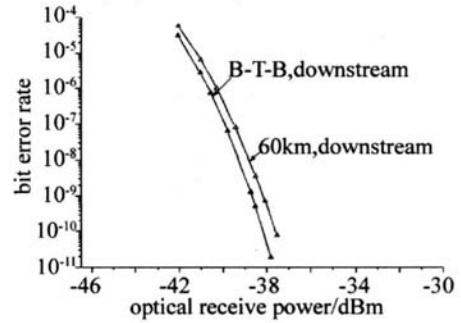


Fig 6 Bit error rate of downstream by modified system

看出, BER 为 10^{-9} 时, 经过 40km 色散光纤传输后, 下行链路数据的功率代价为 1dBm, 功率代价由色散引起, 通过仿真与传统的载波抑制方式进行比较, 色散的影响比传统的方案功率代价小了一半。

为了检验理论分析及模拟的正确性, 测试了光毫米波在光纤中传输 40km 后解调得到的眼图, 如图 7 所示。图 7a 为传统的载波抑制方法产生的光毫米波

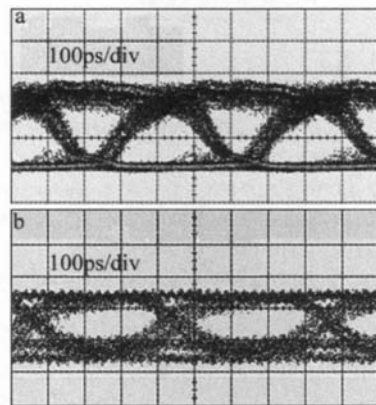


Fig 7 Eye diagram after down-conversion by experiment

a—by optical carrier suppression b—by modified optical carrier suppression
经过光纤传输后解调以后得到的眼图, 图 7b 为改进的光载波抑制方法得到的光毫米波通过光纤传输的眼图。从眼图可以清楚地看出, 经过光纤传输 40km 后, 传统的载波抑制方法通过光纤传输后眼图占空比明显变小。而通过改进后的载波抑制方法通过光纤传输后眼图信号的占空比没有明显的变化。

3 结论

通过理论和仿真分析了一种改进的光载波抑制方式产生光毫米波的方法, 从功率代价和眼图两方面来看, 这种方法较传统的光载波抑制方法能较好地抵抗色散的影响。

参考文献

[1] KASZUBOWSKA A, HU L, BARRY L P, *et al* Remote downconversion with wavelength reuse for the radio/fiber uplink connection [J]. IEEE

- Photonics Technology Letters 2006, 18(4): 562-564.
- [2] W IBERG A, M LLAN P P, ANDRES M V, *et al* Fiber-optic 40GHz mm-wave link with 2.5Gbit/s data transmission [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2005, 17(9): 1938-1940
- [3] MA L L, LI G H. Polarized light expressed by Poincaré sphere [J]. Laser Technology, 2003, 27(4): 302-303(in Chinese).
- [4] WANG G, LI K, KONG F M. Study of characteristics of polarization mode dispersion in single mode fibers with elliptical birefringence [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 465-468(in Chinese).
- [5] ATTYGALLE M, LM C, NIRMALATHAS A, *et al* Extending optical transmission distance in fiber wireless links using passive filtering in conjunction with optimized modulation [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2006, 24(4): 1703-1709
- [6] O'REILLY J J, LANE P M, HEIDEMANN R, *et al* Optical generation of very narrow linewidth millimeter wave signals [J]. Electron Lett 1992, 28(25): 2309-2311.
- [7] YU J, JIA Z, YIL, *et al* Optical millimeter wave generation or up-conversion using external modulators [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2006, 18(1): 265-267
- [8] YU J, JIA Z, XU L, *et al* DWDM optical millimeter-wave generation for radio-over-fiber using an optical phase modulator and an optical interleaver [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2006, 18(13): 1418-1420
- [9] NIRMALATHAS A, NOVAK D, LM C, *et al* Wavelength reuse in the WDM optical interface of a millimeter-wave fiber-wireless antenna base station [J]. IEEE Trans Microwave Theory & Tech, 2001, 49(10): 2006-2009.
- [10] YU J, GU J, JIA Z, *et al* Seamless integration of an 8 × 2.5Gbit/s WDM-PON and radio-over-fiber using all-optical up-conversion based on Raman-assisted FWM [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2005, 17(9): 1986-1988.
- [11] SMITH G H, NOVAK D, AHMED Z, *et al* Overcome chromatic-dispersion effects in fiber-wireless systems incorporating external modulators [J]. IEEE Trans Microwave Theory & Tech 1997, 45(8): 1410-1415
- [12] QI G, YAO J, SEREGELYI J, *et al* Optical generation and distribution of continuously tunable millimeter-wave signals using an optical phase modulator [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 2005, 23(9): 2687-2695
- [13] CHEN L, WEN H, WEN S C. A radio-over-fiber system with a novel scheme for millimeter-wave generation and wavelength reuse for up-link connection [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2006, 18(19): 2056-2058.

(上接第 641页)

- [3] KRUG P A, SCEAT M G, ATKINS G R. Intermediate excited-state absorption in erbium-doped fiber strongly pumped at 980nm [J]. Opt Lett 1991, 16(24): 1976-1978
- [4] YANG L Z, DONG S F, ZHEN Y L, *et al* Green luminescence analysis of ytterbium-doped double-clad silica fiber [J]. Acta Photonica Sinica 2003, 32(8): 911-913(in Chinese).
- [5] XIE C X, FU Y, ZHANG S M, *et al* High power $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ codoped fiber super fluorescent source [J]. Laser Technology, 2006, 30(1): 34-36(in Chinese).
- [6] MA L N, HU Z L, HU Y M, *et al* Study on up-conversion fluorescence of Er^{3+} -doped fiber amplifier pumped at 980nm [J]. Chinese Journal of Lasers 2005, 32(11): 1464-1468(in Chinese).
- [7] BARNES W L, POOLE S B, TOWNSEND J E, *et al* $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ and Er^{3+} doped fiber lasers [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology 1989, 7(10): 1461-1465. [8] MAGNE S, OUERDANE Y, DRUETTA M, *et al* Cooperative luminescence in an ytterbium-doped silica fiber [J]. Opt Commun, 1994, 111: 310-316.
- [9] KRIVANOV A V, MARTNEZ I L, KURKOV A S, *et al* Cooperative luminescence and absorption in ytterbium-doped silica fiber and the fiber-nonlinear transmission coefficient at $\lambda = 980\text{nm}$ with a regard to the ytterbium ion-pairs' effect [J]. Optics Express 2006, 14(9): 3981-3992.