

归零码信号注入 FP-LD 实现无本振光子上变频系统

韩丙辰^{1,2}, 于晋龙², 王文睿², 郭精忠², 王 菊², 杨恩泽²

(1. 山西大同大学 物理与电子科学学院, 山西 大同 037009;

2. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

摘要: 提出了一种低速率归零码(RZ-OOK)信号注入法布里-珀罗腔激光二极管(FP-LD)的无本振光子上变频系统。利用外部注入信号光对 FP-LD 的一个自由振荡模式进行锁定从而得到一个微波的高频振荡, 基于注入锁定机理进行了上变频原理分析, 并通过实验方式验证了方案的可行性。实验中, 2 Gb/s 的 RZ-OOK 信号分别被上变频到 12 GHz、14.28 GHz 成为副载波信号。

关键词: 光载无线通信; 上变频; 注入锁定; FP-LD

中图分类号: TN929.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)12-3265-05

Photon up-conversion system without local oscillator by RZ-OOK signals injected into FP-LD

Han Bingchen^{1,2}, Yu Jinlong², Wang Wenrui², Guo Jingzhong², Wang Ju², Yang En'ze²

(1. School of Physics and Electronic Science, Shanxi Datong University, Datong 037009, China;

2. School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A photon up-conversion system was proposed based on low-rate RZ-OOK signal injected into the Fabry-Perot cavity laser diode(FP-LD) without local oscillator. External injected optical signal locked one of FP-LD free oscillation mode, a high-frequency microwave oscillation was generated, and the injection locking mechanism of the up-conversion principle was analyzed, and experimentally verified the feasibility of the scheme. In the experiments, the 2 Gb/s RZ-OOK signal was respectively converted into 12 GHz and 14.28 GHz subcarrier signals.

Key words: RoF communication; up-conversion; injection locking; FP-LD

收稿日期: 2013-04-11; 修订日期: 2013-05-13

基金项目: 国家“973”计划(2012CB315704); 山西省青年科技研究基金(2011021018); 国家自然科学基金(61205061)

作者简介: 韩丙辰(1976-), 男, 副教授, 博士后, 主要从事光纤通信方面的研究。Email: han_bchen@126.com

0 引言

无论对固定或移动终端而言，宽带电信最终用户可以即时访问高容量的信息服务都呈现出不断增长的需求。而无线光纤(RoF)技术以提供无线连通由于其低传输损耗和光纤的高带宽等优点，已经吸引了越来越多的关注。为此，国内外研究者们提出了一系列基于 RoF 的技术^[1-4]，在光域里直接实现毫米波载波的上变频方案^[5-15]，其中包括：基于光调制器的边带控制法^[9-10]、半导体光放大器(SOA)中的交叉增益调制效应(XGM)^[11]和非线性偏振旋转效应(NPR)^[12]、电吸收调制器(EAM)中的交叉吸收调制效应(XAM)^[13]、利用两束激光光束在光电二极管中差频产生微波毫米波信号^[14]等。

文中针对此问题提出了一种通过光注入法布里-珀罗腔激光二极管的一周期振荡(P1)效应^[16]的无本振光子上变频技术，在没有微波/毫米波本振源的情况下，把低速率的信号光注入到法布里-珀罗腔激光二极管实现了无本振光子上变频效果。实验中采用的外部信号为 RZ-OOK 信号，主要是由于 RZ-OOK 信号在长距离传输中具有较好的色散容限，注入的 RZ-OOK 信号为 2 Gb/s，可以上变频到 12 GHz、14.28 GHz，获得了适用于无线接入的 RoF 副载波信号。

1 基于注入锁定的无本振光子上变频原理

无本振上变频实现原理图如图 1 所示，为简化分析，分析的时候假设 FP-LD 外部注入光与其自身的某一个纵模的频率失谐量为零，即外部的注入光波频率必须对准 FP-LD 的某一个模式。FP-LD 在无外部光注入状态下处于自由振荡模式（验证实验中所用 FP-LD 的自由光谱区为 166 GHz），光增益区主要为激光器腔长决定的纵模 f_0 提供增益，如图 1(a) 所示；通过调整外部注入光的光强度使得 FP-LD 处于周期一(P1)振荡状态，此刻输出光场 $S(t)$ 以 P1 的振荡频率呈现出振荡状态，如图 1(b) 所示，P1 振荡频率假设为 f_r ，则对应频域的光频 f_0 处的上下两个边带；与此同时，外部光注入情况下，大部分光增益被注入光所获得，但仍有一部分增益提供给 LD 腔长决定的纵模，导致载流子在外光注入下浓度减小，谐振腔有效折射率变大，使得原激励增益区纵模

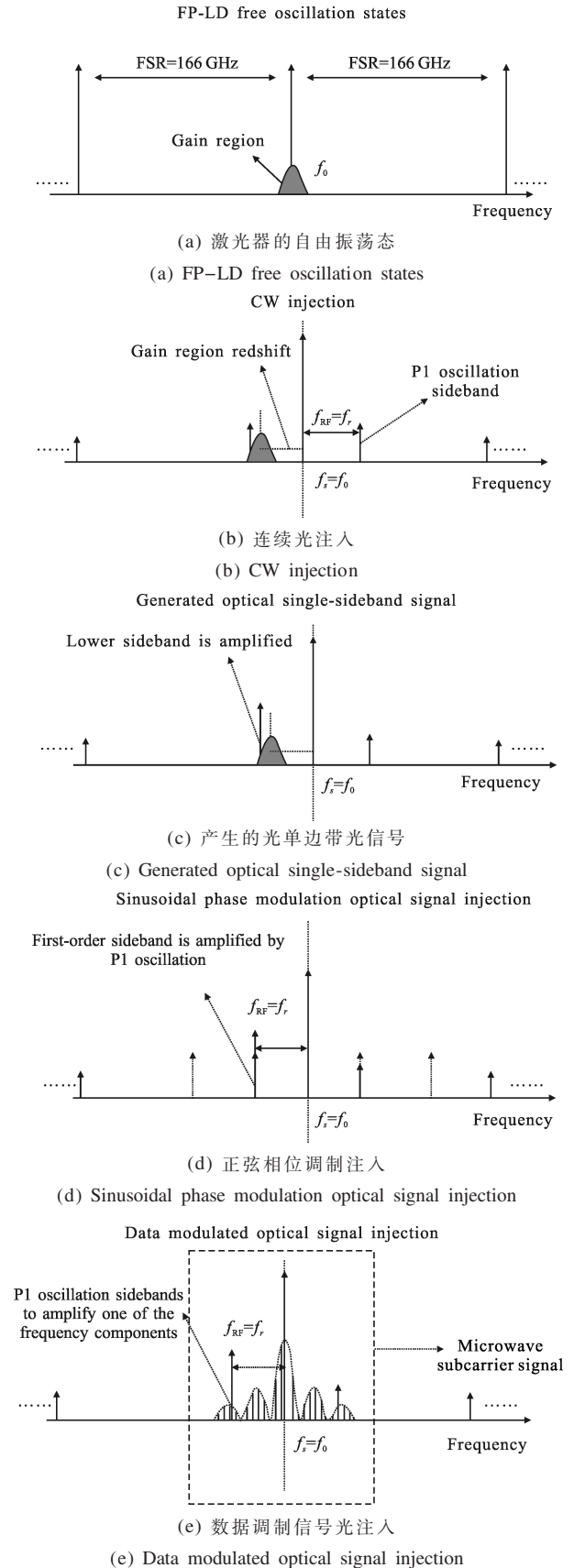


图 1 无本振的光子上变频方案原理图
Fig.1 Up-conversion schematic diagram without local oscillator

波长发生红移,导致 P1 振荡的下边带区域被放大,上下边带的不对称性使得光载单边带 RoF 信号产生^[7],如图 1(c)所示。假设外部注入光经正弦信号调制时,可以调整注入光强度,使得 P1 振荡频率与外部调制频率相同时,从而可以放大调制分量的一阶边带。需要强调的是如果光波的相位被正弦信号调制时,原来相位调制信号光波在时域上是等幅的,但是经过 P1 振荡放大后,得到的却是光域上的副载波调制信号,即一个光正弦相调信号通过注入 FP-LD 被转换为副载波调相、调频信号,如图 1(d)所示;假设外部注入光波被数据信号调制,P1 振荡边带则会放大其中一个弱的调制分量,得到 RoF 信号,如图 1(e)所示,RoF 信号的副载波频率 f_{RF} 等于 P1 态的振荡频率 f_1 ,此时数据信息被完全加载到新产生的副载波频率 f_{RF} 上,完成光子上变频过程。

2 将 RZ-OOK 信号注入 FP-LD 后的无本振光子上变频实验和分析

在波分复用系统中,RZ-OOK 码型和 NRZ-OOK 码型使用较为普遍。在前者中,RZ 码型技术可有效降低传输系统的 OSNR 要求,通常是首选的。而在后者中,NRZ 脉冲形状受到普遍青睐的是其较窄的频谱和增加的抖动容限。文中主要以 RZ-OOK 码型信号为代表,将其注入到 FP-LD 中实现无本振的光子上变频物理实验,从而验证所提出实验方案对 RZ-OOK 信号上变频能力的可行性。

图 2 所示为 RZ-OOK 信号注入 FP-LD 的无本

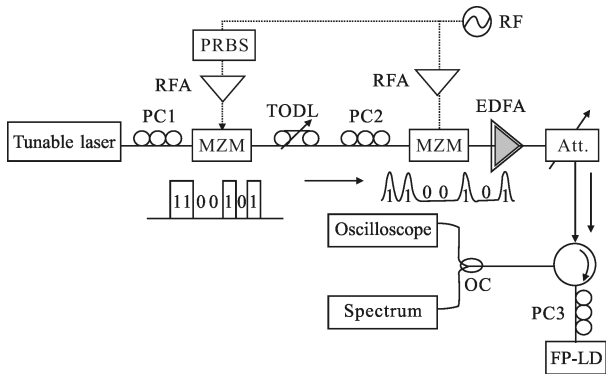
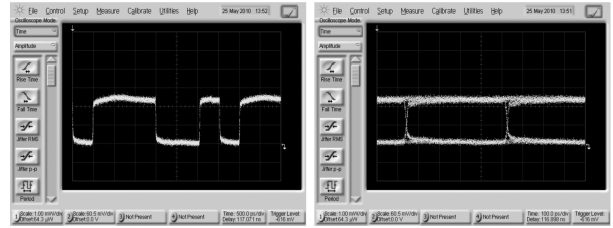


图 2 系统实验框图

Fig.2 Block diagram of system test

振光子上变频实验原理图,可调激光器产生的光源经过第一级马赫曾德(MZM)调制器被 PPG 模块产生的伪随机(PRBS)码调制成非归零(NRZ)码,NRZ 码经过第二级 MZM 调制器生成归零(RZ-OOK)信

号,波形通过示波器(Agilent-86100A)观测如图 3 所示。图 3(a)、(b)分别为 2 Gb/s-NRZ-OOK 码的 pattern 和眼图模式,图 3(c)、(d)为 2 Gb/s-RZ-OOK 码的 pattern 图和眼图。

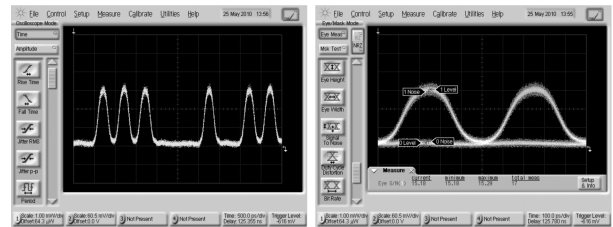


(a) 2 Gb/s 的 NRZ 码 pattern 波形

(b) 2 Gb/s 的 NRZ 码眼图

(a) 2 Gb/s NRZ pattern

(b) 2 Gb/s NRZ eyes diagram



(c) 2 Gb/s 的 RZ-OOK 码 pattern 波形

(d) 2 Gb/s 的 RZ-OOK 码眼图

波形

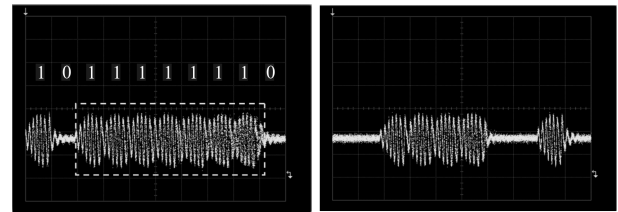
(c) 2 Gb/s RZ-OOK pattern

(d) 2 Gb/s RZ-OOK eyes diagram

图 3 注入 2 Gb/s 的 NRZ-OOK 和 RZ-OOK 信号

Fig.3 2 Gb/s NRZ-OOK and RZ-OOK signals

注入信号波长 $\lambda_s=1551.1\text{ nm}$,频率失谐量为 +4 GHz,注入光功率为 3.6 dBm 时,信号为字长 2^7-1 的 PRBS 信号时,得到的 P1 振荡频率为 12 GHz,波形如图 4(a)~(c)所示;改变注入功率为 5 dBm 时,

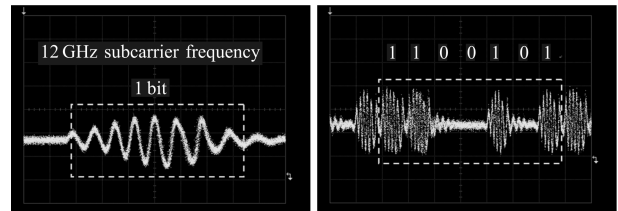


(a) 12 GHz 副载波信号

(b) 5 ns 窗口内波形

(a) 12 GHz subcarrier

(b) Waveform in 5 ns window

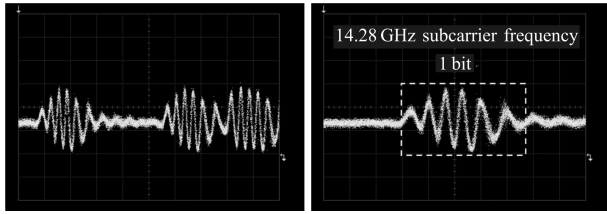


(c) 2 bit 窗口内 12 GHz 副载波信号

(d) 14.28 GHz 副载波信号

(c) 12 GHz subcarrier in 2 bit window

(d) 14.28 GHz subcarrier



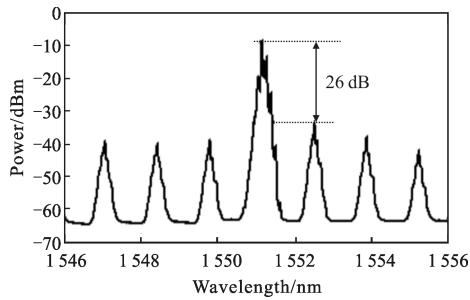
(e) 2 ns 窗口内波形 (f) 2 bit 窗口内 14.28 GHz 副载波信号
 (e) Waveform in 2 ns window (f) 14.28 GHz subcarrier in 2 bit window

图 4 注入 2 Gb/s 的 RZ-OOK 得到的 12 GHz 和 14.28 GHz 的副载波信号

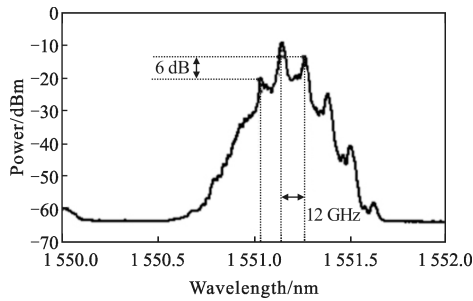
Fig.4 Subcarrier signal of 12 GHz and 14.28 GHz by inputting 2 Gb/s RZ-OOK

改变编码为自定义格式‘1100101’时,得到的频率为 14.28 GHz 副载波信号波形图通过示波器观测如图 4(d)~(f)所示。

图 5 所示为光谱仪(Aglient-86142B)上不同量程



(a) 10 nm-SPAN 光谱
 (a) 10 nm-SPAN spectrum



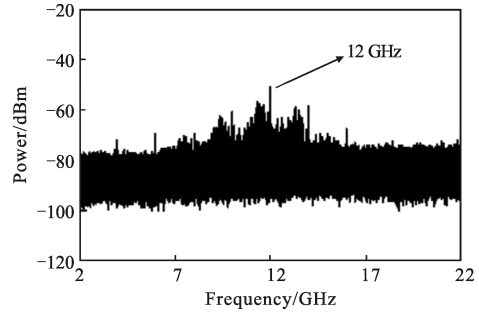
(b) 2 nm-SPAN 光谱
 (b) 2 nm-SPAN spectrum

图 5 注入 2 Gb/s 的 RZ-OOK 得到的 12 GHz 副载波信号光谱

Fig.5 12 GHz subcarrier signal spectrum by inputting 2 Gb/s RZ-OOK

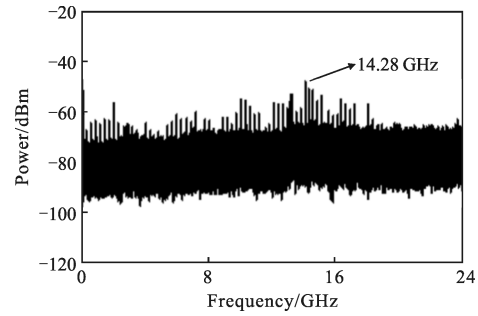
下得到的 12GHz 副载波信号光谱,图 5(a)为 10 nm 量程下处于 P1 振荡态的 FP-LD 的 SMSR 为 26 dB, 而图 5(b)为 2 nm 量程下观测到 P1 振荡的上、下两

个边带之差为 6 dB。图 6 所示为通过电频谱仪 (Agilent-8564EC) 观测到两个副载波信号的电谱分量,14.28 GHz 由于是 10 个码元周期的自编码格式,离散谱间隔大约为 200 MHz,而 PRBS 码离散谱分量间隔小: $2000/127 \approx 15.8$ MHz。



(a) 12 GHz 副载波信号电谱

(a) 12 GHz subcarrier electric spectrum



(b) 14.28 GHz 副载波信号电谱

(b) 14.28 GHz subcarrier electric spectrum

图 6 注入 2Gb/s 的 RZ-OOK 得到的 12 GHz 和 14.28 GHz 副载波信号电谱

Fig.6 12 GHz and 14.28 GHz subcarrier electric spectrum by inputting 2 Gb/s RZ-OOK

通过实验结果可知,在半导体激光器内进行注入锁定实现上变频的过程中,对于注入的 RZ-OOK 信号亦可获得上变频的微波信号,但是由于正弦调制生成的 RZ-OOK 信号的上升沿较缓,信号的高频调制分量不丰富,所以 P1 振荡频率即使在大功率注入时,实验中也并没有得到较高的副载波频率,这将是今后实验研究过程中需要解决的问题。

3 结论

提出并验证了一种基于 FP-LD 的“无本振光子上变频”方案,将低频光调制信号注入 FP-LD 中,基于 FP-LD 振荡的一周期(P1)效应,在无需高频本振

信号光的前提下,实现了码型为 RZ-OOK 的基带信号的无本振光子上变频过程。首先阐明了利用 P1 效应实现无本振光子上变频的实验原理,在实验中验证了 2 Gb/s 的 RZ-OOK 信号上变频到 12 GHz、14.28 GHz 成为副载波信号。该无本振光子上变频系统的结构简单,核心单元为商用的 FP-LD,通过调整注入信号光的波长和光功率即可改变上变频产生的副载波频率。

参考文献:

- [1] Seeds A J, Williams K J. Microwave photonics[J]. *J Lightw Technol*, 2006, 24(12): 4628-4641.
- [2] Sauer M, Kobayakov A, George J. Radio-over-fiber for picocel-lular network architectures [J]. *J Lightw Technol*, 2007, 25(11): 3301-3320.
- [3] Yu Xianbin, Jesper Bevensee Jensen, Darko Zibar, et al. Converged wireless and wireline access system based on optical phase modulation for both radio-over-fiber and baseband signals [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2008, 20(21): 1814-1816
- [4] Zhu Jiangbo, Hou Chunling, Liu Xiao, et al. Performance analysis of THz signal over fiber generating system based on dual-stage single sideband modulation [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(6): 1014-1019. (in Chinese)
- [5] Fang Zujie, Ye Qing, Liu Feng, et al. Progress of millimeter wave subcarrier optical fiber communication technologies[J]. *Chinese J Lasers*, 2006, 33(4): 481-488. (in Chinese)
- [6] Zhang Dapeng, Yu Chongxiu, Xin Xiangjun, et al. Design of upconversion system based on millimeter sub carrier ROF technique[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(1): 31-35. (in Chinese)
- [7] Hu Liliang, Chen Lin, Yu Jianjun, et al. A novel scheme for optical millimeter wave generation based on double sideband modulation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(2): 238-242. (in Chinese)
- [8] Ye Qing, Liu Feng, Qu Ronghui, et al. Fiber communication project of millimeter wave sub carrier based on fiber grating [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 26(10): 1464-1468. (in Chinese)
- [9] Nguyen G H, Cabon B, Guennec Y. Generation of 60 GHz MBOFDM signal over fiber by upconversion using cascaded external modulators[J]. *J Lightwave Technol*, 2009, 27(11): 1496-1502.
- [10] Yang Xusheng, Huang Xuguang, Xie Jinling, et al. Investigation of generation and transmission performance of milli-meter wave based on single sideband modulation [J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2011, 22(5): 706-710. (in Chinese)
- [11] Fu S, Zhong W, Shum P, et al. Simultaneous multichannel photonic up conversion based on nonlinear polarization rotation of an SOA for radio over fiber systems [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2009, 21(9): 563-565.
- [12] Seo Y, Choi C, Choi W. All optical signal upconversion for radio on fiber applications using cross gain modulation in semiconductor optical amplifiers [J]. *IEEE Photonics Technology Letter*, 2002, 14(10): 1448-1450.
- [13] Chul S P, Guo Y, Yoe Y. Fiber optic 60 GHz wireless downlink using cross absorption modulation in an EAM[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2008, 20(8): 557-559.
- [14] Hong Lei, Su Jue, Yang Li, et al. Frequency tunable microwave and millimeter wave sources with photonic generation[J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2011, 22(1): 64-66. (in Chinese)
- [15] Li Tao, Rong Jian, Zhong Xiaochun. OFDM-ROF system simulation based on OptiSystem [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(6): 1154-1159. (in Chinese)
- [16] Chan S C, Hwang S K, Liu T M. Period-one oscillation for photonic microwave transmission using an optically injected semiconductor laser[J]. *Optics Express*, 2007, 15(22): 14921-14935.
- [17] Sung H K, Lau E K, Wu M C. Optical single sideband modulation using strong optical injection-locked semiconductor lasers[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2007, 19(13): 1005-1007.