

基于注入锁定法布里-珀罗型激光二极管的超宽带信号产生技术

郭精忠¹ 于晋龙¹ 刘毅¹ 王文睿¹ 吴波¹ 韩丙辰² 罗俊¹ 杨恩泽¹

(¹天津大学电子信息工程学院, 天津 300072
²山西大同大学物理与电子科学学院, 山西 大同 037009)

摘要 提出了一种基于三波长注入法布里-珀罗型激光二极管(FP-LD)产生超宽带(UWB)信号的方案。在 FP-LD 不同激射模式中注入一路信号光和两路直流探测光,实现多波长变换并得到两路反码输出和一路正码输出;再通过光纤进行色散走离,使不同波长信号之间产生时延,形成 UWB 脉冲,最后经过光电转换产生 UWB 信号。对所提出的 UWB 信号产生方案的原理进行分析,并对 UWB 信号的波形以及频谱特性进行了实验研究。在此基础上,进行了 1.25 Gb/s 非归零码(NRZ)信号注入 FP-LD 产生差分编码 UWB 信号的实验。实验产生的 UWB 脉冲信号半峰全宽最小为 83.3 ps, 10 dB 谱宽约为 4.6 GHz,其频宽比为 107%。

关键词 光通信;超宽带信号生成;多波长变换;法布里-珀罗型激光二极管;色散

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.0605006

Ultrawideband Signal Generation Based on Injection Locking of Fabry-Perot Laser Diode

Guo Jingzhong¹ Yu Jinlong¹ Liu Yi¹ Wang Wenrui¹ Wu Bo¹
Han Bingchen² Luo Jun¹ Yang Enze¹

(¹School of Electronic and Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China
²School of Physics and Electronic Science, Shanxi Datong University, Datong, Shanxi 037009, China)

Abstract A novel all-optical ultrawideband (UWB) signal generation scheme is proposed based on injection locking of Fabry-Perot laser diode (FP-LD). By injection locking the FP-LD with one wavelength signal light and two continuous probe light, multi-wavelength conversion is realized with two wavelength inverted signals output and one wavelength non-inverted signal output. After propagating through the fiber with a proper dispersion, time delay between different wavelengths output is introduced and the UWB signal pulse is generated. UWB signal is then obtained after the photo-detection. The operational principle of the proposed scheme is analyzed. Experimental investigation is carried out on the waveform and frequency spectrum characteristics of the UWB pulse. Differential UWB signals generation based on injecting 1.25 Gb/s non-return-to-zero (NRZ) signals to the FP-LD is then demonstrated. The experimental results show that the minimum full-width at half-maximum (FWHM) of the pulse is 83.3 ps, and the 10 dB spectral width is about 4.6 GHz with the fractional bandwidth of 107%.

Key words optical communications; ultrawideband signal generation; multi-wavelength conversion; Fabry-Perot laser diode; dispersion

OCIS codes 060.2330; 260.2030; 200.6105

1 引 言

超宽带(UWB)信号,具有抗多径干扰、脉冲持

续时间短(纳秒~皮秒级)、无需射频(RF)载波以及功率谱密度低等诸多优势^[1],是一种特别适用于短

收稿日期: 2011-12-30; 收到修改稿日期: 2012-03-19

基金项目: 国家 973 计划(2010CB327603, 2012CB315704)资助课题。

作者简介: 郭精忠(1984—),男,博士研究生,主要从事高速光通信和光子微波等方面的研究。

E-mail: xiaobao@tju.edu.cn

导师简介: 于晋龙(1969—),男,博士,教授,主要从事高速光纤通信方面的研究。E-mail: yujinlong@tju.edu.cn

距无线通信和传感网络的技术。UWB 一般定义为频谱宽度大于 500 MHz 或者带宽/中心频率比(频宽比)大于 20% 的脉冲信号^[2], 联邦通信委员会(FCC)规定其可用带宽为 3.1~10.6 GHz^[3]。传统的 UWB 信号只能在几十米的距离内使用, 无法进行长距离传输。因此, 光载 UWB 信号结合了光纤传输高带宽和无线传输灵活的优点^[4], 成为了研究热点。

目前利用光子技术产生 UWB 信号的方案主要是利用整形滤波器或者半导体器件中的交叉增益效应(XGM)。Shilong Pan 等^[5]利用相位调制的高斯脉冲注入至无偏置电流的法布里-珀罗型激光二极管(FP-LD), 利用其无源状态下的滤波特性产生单边带的相调高斯信号从而生成 UWB 信号。Zhefeng Hu 等^[6,7]利用半导体光放大器(SOA)中的 XGM 产生反码的特点, 将正反高斯信号通过叠生成 UWB 信号。但是需要注意的是上述方案均需要先产生高斯脉冲, 再通过光子技术生成 UWB 信号, 并且需要进行二次调制来加载数据或者事先对高斯脉冲信号进行编码, 增加了系统的复杂度。

针对上述问题, 本文提出了一种利用注入 FP-LD 产生多波长变换同时利用色散走离产生 UWB 信号的方案。方案首先利用 FP-LD 中吸收调制将非归零码(NRZ)信号光和两个直流光注入至 FP-LD 进行多波长变换; 波长变换后的 FP-LD 输出信号产生了两个反码和一个正码信号。正反码信号经

过合适的普通单模光纤(SMF)进行色散走离, 再通过光电探测器进行光电转换, 在不同波长的信号上升沿和下降沿叠加产生了 UWB 信号。该方案的特点是结构简单、有集成潜力、可以直接将加载到光纤中的 NRZ 数据流转换为调制的 UWB 信号、无需使用高斯型脉冲进行预先调制。利用这个方案, 进行了 1.25 Gb/s NRZ 基带数据通过注入 FP-LD 产生差分编码 UWB 信号的实验, 得到了半峰全宽最小为 83.3 ps, 频宽比达到 107% 的 UWB 信号。

2 工作原理

基于注入锁定 FP-LD 的 UWB 信号产生原理如图 1 所示, 该方案主要分为两部分: 多波长变换和 UWB 脉冲合成。图 1(a) 为多波长变换原理图^[8], 首先考虑单波长注入, 当抽运光 λ_0 注入至 FP-LD 的模式附近时, FP-LD 模式红移^[9], FP-LD 中增益被注入光占据从而单模起振; 再考虑三波长注入情况, 其中 λ_1 和 λ_2 是探测光, 注入在 λ_0 相邻模式。当 λ_0 注入时, 由于其注入功率较高, 从而使 λ_1 和 λ_2 偏离 FP-LD 的模式增益区, 其自身被 FP-LD 吸收, 在 λ_1 和 λ_2 模式上输出光功率较弱; 当 λ_0 未注入时, FP-LD 模式蓝移, λ_1 和 λ_2 模式重新占据 FP-LD 增益区, 从而输出功率较高。这意味着当抽运光 λ_0 为开关键控(OOK)信号时, FP-LD 的 λ_0 模式输出为正码, 而探测光 λ_1 和 λ_2 输出为反码, λ_0 的信号通过波长变换同时转移到 λ_1 和 λ_2 模式上。

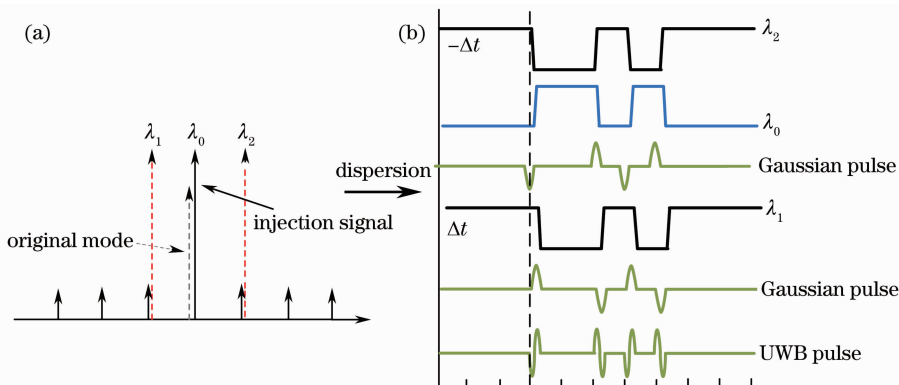


图 1 UWB 信号产生原理图

Fig. 1 Principle drawing of UWB signal generation

图 1(b) 为 UWB 脉冲合成原理图, 其中 λ_0 为正码信号, λ_1 和 λ_2 为反码信号, 并且 λ_1 和 λ_2 波长分别位于抽运光 λ_0 的左右两侧。当 FP-LD 输出信号经过色散介质后, 不同波长的信号会产生一定的相对延时。假设该色散介质为普通单模光纤, 且注入波长皆处于反常色散区(波长大于零色散点) 即蓝快红慢,

则 FP-LD 输出的 3 个波长信号 λ_2 、 λ_0 和 λ_1 之间依次产生了相对延时。当 FP-LD 输出信号通过光电探测器(PIN) 进行光电转换时, λ_2 和 λ_0 的光信号在边沿上叠加; 同时 λ_0 和 λ_1 的光信号也在边沿上叠加。由于此时正反码之间有相对延时, 从而在边沿产生了高斯型脉冲信号, 并且可以看到正反码之间相对时

延的正负决定了高斯脉冲的极性。同理,上述两两波长之间产生的高斯脉冲由于也存在相对时延,所以叠加后最终产生了极性不同的UWB脉冲信号。值得注意的是,该UWB信号为原OOK信号的差分编码信号,在信号中0码和1码跳转变小时,UWB信号的极性反转。

3 实验及结果分析

3.1 实验结构

图2为基于FP-LD注入锁定的UWB信号产生实验装置图,图中TLD为可调谐激光器,PC为偏振控制器,MZM为马赫-曾德尔强度调制器,VOA为可变光衰减器,PPG为伪随机码发生器,OSC为光示波器,OC为光环行器,实验采用的FP-

LD为多量子阱结构,自由光谱区(FSR)为1.34 nm (167 GHz),阈值电流约为10 mA。TLD0作为信号光源,通过MZM将PPG产生的1.25 Gb/s NRZ信号加载到光上,通过PC4和VOA2耦合至光环行器。TLD1和TLD2作为直流探测光源,分别经过PC2和PC3以及VOA1分别调整其偏振态和注入功率,并通过耦合器进入光环行器。PC2-PC4分别用来调整注入FP-LD的直流光和信号光信号的偏振态,因为注入的光信号只有横电磁波(TE)模式对FP-LD注入起作用,所以需要调谐注入光在FP-LD腔内的TE模式上的强度^[10]。FP-LD的输出信号通过环形器3口输出至光纤中进行色散走离,并通过示波器和频谱仪进行观测。

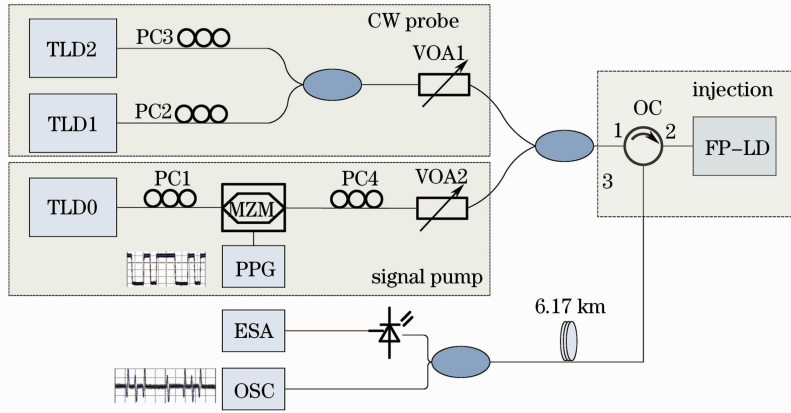


图2 基于FP-LD注入的UWB信号产生实验框图

Fig. 2 Experimental schematic of UWB signal generation based on injection of FP-LD

3.2 多波长变换信号产生

实验中FP-LD的偏置电流为40 mA ($4I_{th}$),输出光功率为1.8 dBm,自由振荡光谱如图3(a)所示,其中心波长为1549.81 nm。实验中所有光谱测试均采用安立的MP1800A光谱仪,分辨率带宽(RBW)为0.05 nm。图3(b)为注入外部信号后FP-LD输出光

谱,其中注入信号光波长为1550.03 nm,注入功率(环形器2口输出)为-0.69 dBm;直流探测光波长分别为1548.56 nm和1551.30 nm,注入功率分别为-6.5 dBm和-3.0 dBm。由图可见,当外部光信号注入后,FP-LD模式整体红移,实际注入信号光波长失谐0.22 nm。由于吸收调制作用,使得注入

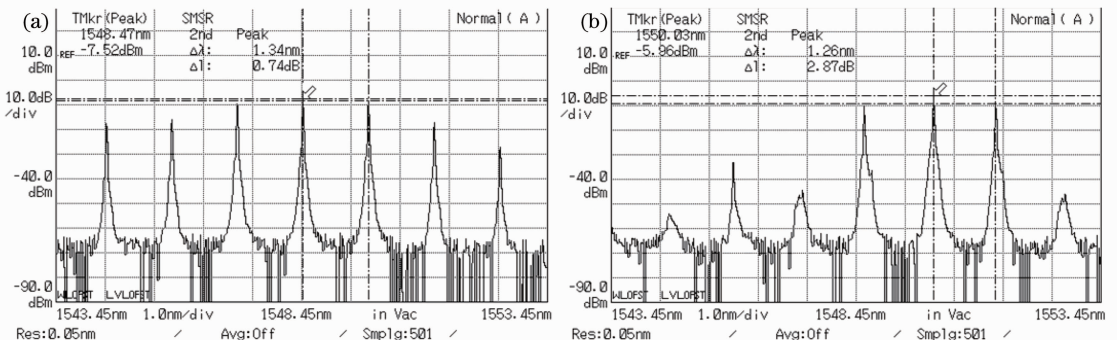


图3 FP-LD输出光谱。(a) FP-LD电流为40 mA时自由振荡光谱;(b)抽运光和探测光注入FP-LD后光谱

Fig. 3 Spectrum of FP-LD output. (a) Spectrum of free-running FP-LD at 40 mA; (b) after injection

的两路探测光波长上得到了抽运光的反码信号,实现了多波长变换。图 4 为多波长变换后 FP-LD 输出通过窄带滤波器滤出的信号波形,其中图 4(b)为

信号光波形,图 4(a)和(c)为探测光输出波形。可以看出,波长变换后信号为原始信号的反码。

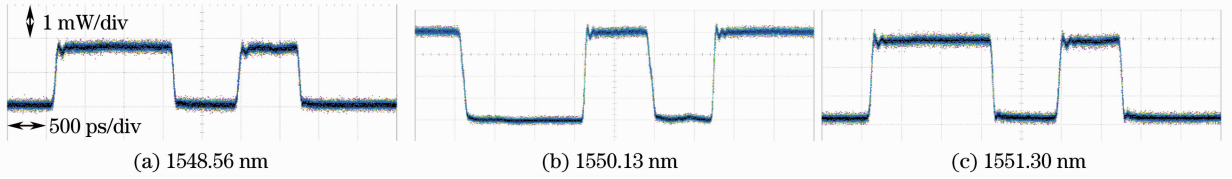


图 4 多波长变换波形

Fig. 4 Waveform of multi-wavelength conversion

3.3 色散走离的 UWB 脉冲信号合成

FP-LD 输出的多波长信号通过 6.17 km 普通单模光纤[1550 nm 处色散系数为 17 ps/(nm·km)]传输后,3 个波长的信号之间产生了相对时延(105 ps),从而在信号的边沿叠加产生了 UWB 脉冲信号,如图 5 所示。其中图 5(a)和(b)为极性相反的单周期

UWB 信号,脉冲半峰全宽(FWHM)如图所示,最大脉宽为 116 ps,最窄脉宽为 83.3 ps。图 5(c)和(d)分别为调制的 UWB 信号眼图和 pattern 波形,可以看出该 UWB 信号为差分编码信号,原 NRZ 信号在 0 码和 1 码之间变化时产生的 UWB 脉冲极性亦发生变化,与前述原理分析一致。

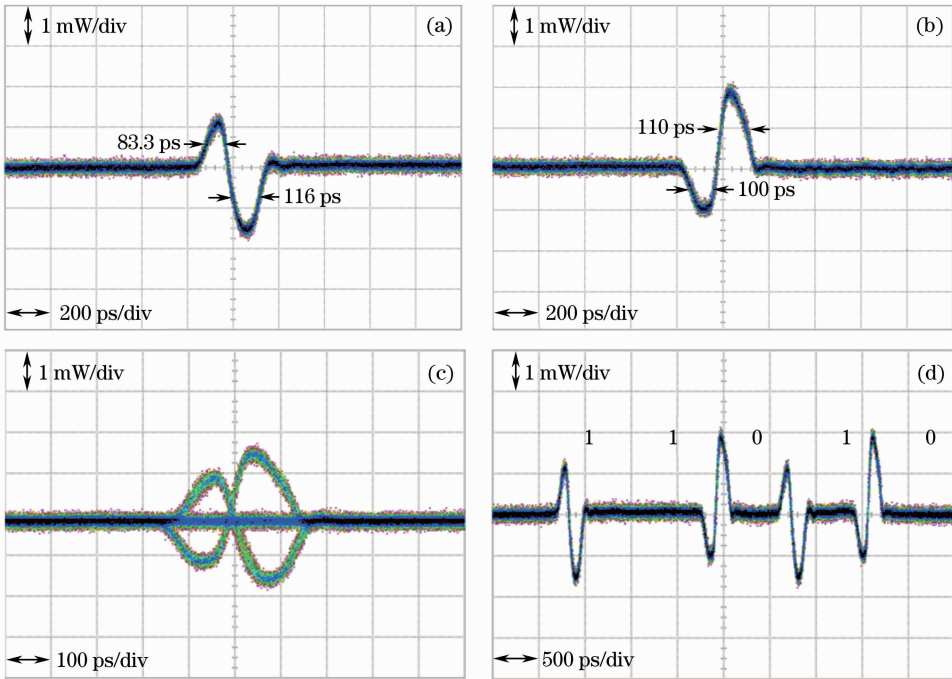
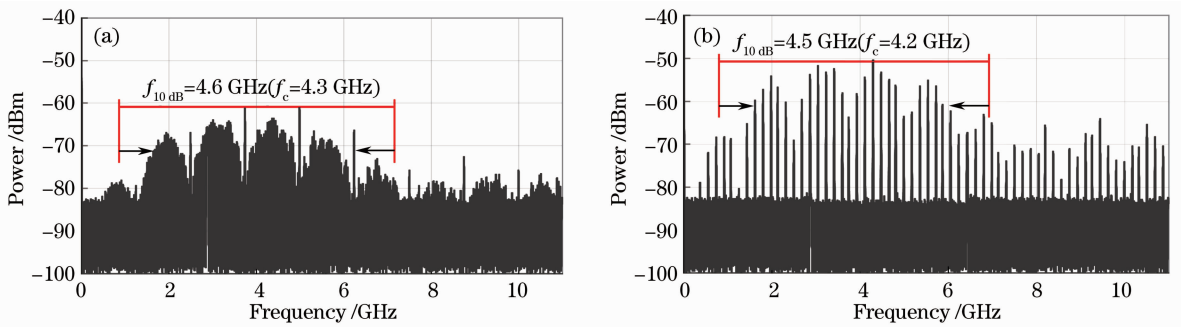


图 5 UWB 信号波形图。(a)正极性信号;(b)负极性信号;(c) UWB 信号眼图;(d)带数据的 UWB pattern 波形
Fig. 5 Waveform for UWB signal. (a) Positive polarity; (b) negative polarity; (c) eye diagram of UWB signal; (d) pattern diagram of UWB signal with data stream

图 6 为 UWB 信号的频谱图,其中图 6(a)调制信号为 7 阶伪随机码,从图中可以看出其中心频率为 4.3 GHz,10 dB 带宽约为 4.6 GHz,频宽比为 107%;图 6(b)调制信号为自定义信号“1110010”,其功率谱较稀疏,频宽比亦约为 107%。由于本方案的时延是通过光纤色散走离,并且 FP-LD 波长变换后信号引入了啁啾,虽然长光纤引入的色散使得

不同波长信号之间产生了时延,但同时也引起了 NRZ 信号的边沿变缓^[11],从而使 UWB 信号的脉冲变宽,高频分量减小。在下一步的方案中,可以采用将 FP-LD 输出的不同波长信号经波分复用(WDM)滤出通过不同时延的方法再合并产生 UWB 信号,避免因为色散引入的脉冲展宽,可产生脉冲更窄、带宽更高的 UWB 脉冲信号。

图6 UWB信号频谱图。(a) 2^7 ; (b) 2^3 Fig. 6 Frequency spectrum of UWB signal. (a) 2^7 ; (b) 2^3

4 结 论

提出了一种基于注入 FP-LD 的 UWB 信号产生方案,实现了 1.25 Gb/s NRZ 基带光信号直接产生差分编码的 UWB 脉冲信号。实验结果表明,产生的 UWB 脉冲信号半峰全宽最小为 83.3 ps,其频宽比为 107%。方案中用于产生多波长信号的部分结构如激光器、调制器和耦合器等可进行光集成,将上述器件集成到同一块基片上减小系统复杂度的同时还可以避免偏振带来的干扰。在以后的工作中可以采用将 FP-LD 输出的不同波长信号通过 WDM 分别滤出,再经过不同时延合成 UWB 的方案,产生频宽比更高的 UWB 脉冲。

参 考 文 献

- Jianping Yao, Fei Zeng, Qing Wang. Photonic generation of ultrawideband signals [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2007, **25**(11): 3219~3235
- Zhang Mingjiang, Liu Tiegeng, Zheng Jianyu *et al.*. Demonstration of ultrawideband chaotic signal generating utilizing external feedback laser diode [J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(4): 0405002
张明江, 刘铁根, 郑建宇等. 利用光反馈半导体激光器产生超宽带混沌脉冲信号[J]. *中国激光*, 2011, **38**(4): 0405002
- F. C. Commission, Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems: first report and order[S]. Tech. Rep., ET-Docket 98-153, FCC02-48. 2002
- Wang Wenrui, Yu Jinlong, Wu Bo *et al.*. Novel radio over fiber frequency up-conversion in millimeter wave band[J]. *Chinese J. Lasers*, 2011, **38**(3): 0305005

- 王文睿, 于晋龙, 吴波等. 新型无本振毫米波光纤无线通信上变频系统[J]. *中国激光*, 2011, **38**(3): 0305005
- Shilong Pan, Jianping Yao. A UWB over fiber system compatible with WDM-PON architecture[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2010, **22**(20): 1500~1502
 - Zhefeng Hu, Junqiang Sun, Jing Shao *et al.*. Filter-free optically switchable and tunable ultrawideband monocycle generation based on wavelength conversion and fiber dispersion[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2010, **22**(1): 42~44
 - Jianji Dong, Songnian Fu, P. Shum *et al.*. Filter-free all-optical UWB monocycle generation based on the semiconductor optical amplifier (SOA) nonlinearities [C]. 2007 6th International Conference on Information, Communications & Signal Processing, 2007, 1-4
 - T. Q. Hoai, C. S. Cho, Y. D. Jeong *et al.*. Utilize absorption modulation of an injection-locked Fabry-Perot laser diode to demonstrate all-optical multi-wavelength conversion[C]. 2008. ICCE 2008. Second International Conference on Communications and Electronics, 2008, 39-41
 - D. Labukhin, C. A. Stolz, N. A. Zakhleniuk *et al.*. Modified Fabry-Perot and rate equation methods for the nonlinear dynamics of an optically injected semiconductor laser[J]. *IEEE Quantum Electron.*, 2009, **45**(7): 863~871
 - Wu Bo, Yu Jinlong, Zhang Zusong *et al.*. A local oscillator-free frequency mixing based on FP-LD injection [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(11): 3140~3147
吴波, 于晋龙, 张祖松等. 基于 FP-LD 注入的无本振光载波全光混频技术[J]. *光学学报*, 2010, **30**(11): 3140~3147
 - Guo Jingzhong, Yu Jinlong, Wang Wenrui *et al.*. Research on all-optical wavelength conversion based on FP-LD mode competition[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(10): 1006004
郭精忠, 于晋龙, 王文睿等. 基于 FP-LD 中模式竞争机理的全光波长变换研究[J]. *光学学报*, 2011, **31**(10): 1006004

栏目编辑:王晓琰