

## 基于 PM 的多功能超宽带调制技术的研究

马晓璐<sup>1</sup>, 黄世杰<sup>1</sup>, 张一<sup>1</sup>, 朱天阳<sup>1</sup>, 曹凤娇<sup>1</sup>, 赵猛<sup>2</sup>, 李培丽<sup>1</sup>

(1. 南京邮电大学 光电工程学院, 江苏 南京 210003;  
2. 中国移动通信集团山东有限公司, 山东 泰安 271000)

**摘要:** 基于相位调制器(PM)级联高斯带通滤波器,提出了一种超宽带(UWB)多功能调制方案,可以实现通断键控(OOK)、脉冲极性调制(PBM)和脉冲形状调制(PSM)。该方案结构简单,只需单个光源,利用率较高,仅改变比特序列发生器(BSG)的编码就可实现三种 UWB 调制格式间的灵活切换;产生的三种信号只包含一个波长,在光纤中传输时无需复杂的非线性控制和色散管理。使用光通信软件 Optisystem 进行模拟,研究了光源功率、调制速率以及两支路 PM 和滤波器系统误差的影响,对 OOK、PBM 和 PSM 信号的传输性能进行了分析。结果表明,光源功率和调制速率在一定范围内变化时,可以获得性能最佳的 UWB 调制信号。

**关键词:** 超宽带(UWB); 通断键控(OOK); 脉冲极性调制(PBM); 脉冲形状调制(PSM); 相位调制器(PM)

**中图分类号:** TN911.74 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)08-2423-06

## Research of UWB multifunctional modulation based on phase modulator

Ma Xiaolu<sup>1</sup>, Huang Shijie<sup>1</sup>, Zhang Yi<sup>1</sup>, Zhu Tianyang<sup>1</sup>, Cao Fengjiao<sup>1</sup>, Zhao Meng<sup>2</sup>, Li Peili<sup>1</sup>

(1. College of Optoelectronic Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;  
2. China Mobile Group Shandong CO., LTD, Taian 271000, China)

**Abstract:** A UWB multi-functional modulator scheme based on cascade of phase modulation (PM) and filters was presented. This scheme was simple and could switch a variety of UWB modulation format flexibility by simple pre-coding to realize on-off keying (OOK), pulse bi-polar modulation (PBM), and pulse shape modulation (PSM). The generated three kinds of signal contained only a single wavelength, which can be transmitted over optical fiber without complex nonlinear control and dispersion management. By simulating through the software of Optisystem, the impact of light source power, modulation rate, and the system error of two PM modulators and filters on modulated signal was investigated. In addition, the transmission characteristics of modulated signals in single were also discussed. We found that the input power and modulation rate should between a certain range in order to get optimum UWB modulation signals.

**Key words:** ultra-wideband(UWB); on-off keying(OOK); pulse bi-polar modulation(PBM); pulse shape modulation(PSM); phase modulator(PM)

收稿日期:2014-12-06; 修订日期:2015-01-08

基金项目:国家自然科学基金(61275067, 61302026); 国家教育部博士点基金(20123223120005);

江苏省自然科学基金(BK2012830, BK2012432); 江苏省普通高校研究生科研创新计划(CXLX13\_448)

作者简介:马晓璐(1990-),女,硕士生,主要从事光通信和光信号处理方面的研究。Email:775150670@qq.com

导师简介:李培丽(1972-),女,教授,博士,主要从事光通信和光信号处理方面的研究。Email:lip1@njupt.edu.cn

## 0 引言

超宽带(UWB)<sup>[1-2]</sup>是一种无载波通信技术,兼容性好、复杂度低、功耗低,并且具有较强的抗干扰能力。但是较低的功率导致 UWB 信号的有效传输距离只有 10 m 左右。针对这个缺陷,UWB-over-Fiber 技术应运而生。该技术是突破技术瓶颈的方法之一,实现了光纤通信技术和 UWB 技术的优势互补,而 UWB 调制技术是实现 UWB-over-Fiber 的关键。

目前已有多种产生 UWB 调制信号的方案,主要有:利用马赫曾德尔调制器(MZM)实现脉冲(双)极性调制(PBM)和脉冲幅度调制(PAM)<sup>[3-4]</sup>;基于非线性光环境(NOLM)的全光脉冲形状调制(PSM)技术<sup>[5]</sup>;基于 MZM 级联半导体光放大器(SOA),在 MZM 的射频端口注入不归零(NRZ)信号,实现 PBM<sup>[6]</sup>;基于多通道密集光波复用技术(DWDM)的鉴频器级联 SOA 实现 PBM 和 PSM<sup>[7-8]</sup>;基于相位调制器(PM)级联滤波器,产生 PBM 和 PSM 信号<sup>[9-11]</sup>等。只有少数方案可以实现多功能 UWB 调制技术<sup>[12-13]</sup>。

文中基于 PM 级联光学带通滤波器(OBF),提出了一种可以产生通断键控(OOK)、PBM 和 PSM 信号的多功能 UWB 调制方案。该方案结构简单,利用率高,仅改变比特序列发生器(BSG)的编码就可实现超宽带 OOK、PBM 和 PSM 之间的灵活切换;产生的三种信号只包含一个波长,在光纤中传输时无需复杂的非线性控制和色散管理。利用 OptiSystem 软件进行模拟,研究了输入光功率、调制速率以及两支路 PM 调制器和滤波器系统误差的影响,分析了 OOK、PBM 和 PSM 信号在单模光纤中的传输特性。

## 1 工作原理

图 1 给出了基于 PM 级联 OBF 实现 OOK、PBM 和 PSM 的 UWB 调制技术的原理图。激光器(LD)发出的连续光经过耦合器(OC)分成两束功率相等的光,分别输入到两个完全相同的 PM 中,光信号的相位将会受到调制。随后信号光进入两个中心频率不同的 OBF 进行滤波,实现相位调制到强度调制的转换。当比特序列发生器(BSG)输入的信号为“1”时,上支路的光信号波长处在 OBF1 传输函数的负极性区,经过滤波后产生负极性的 monocycle 脉冲,下支路的光信号波长处在

于 OBF2 传输函数的正极性区,滤波后产生正极性的 monocycle 脉冲;当输入的信号为“0”时,经过两个 OBF 后不产生信号。PM 调制后的信号分别输入到偏振控制器(PC)中进行相应的偏振控制,防止两支路信号叠加后出现偏振相关的拍频干扰<sup>[14]</sup>。

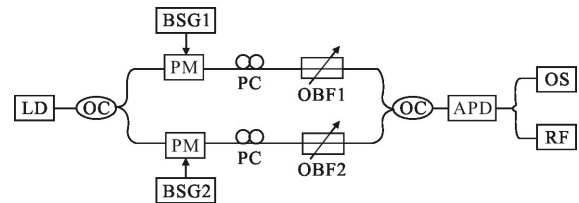


图 1 基于 PM 级联 OBF 产生超宽带多功能调制信号的原理图  
Fig.1 Schematic diagram of UWB multifunctional modulation based on phase modulation cascades OBF

将 BSG1 编码设为 0000 0000 0000 0000,BSG2 编码设为 1000 0000 0000 0000,取 16 位代表一个码元。当输入码元为“1”时,产生 monocycle 脉冲;当输入码元为“0”时,不产生信号。从而实现 OOK 调制,如图 2(a)所示。

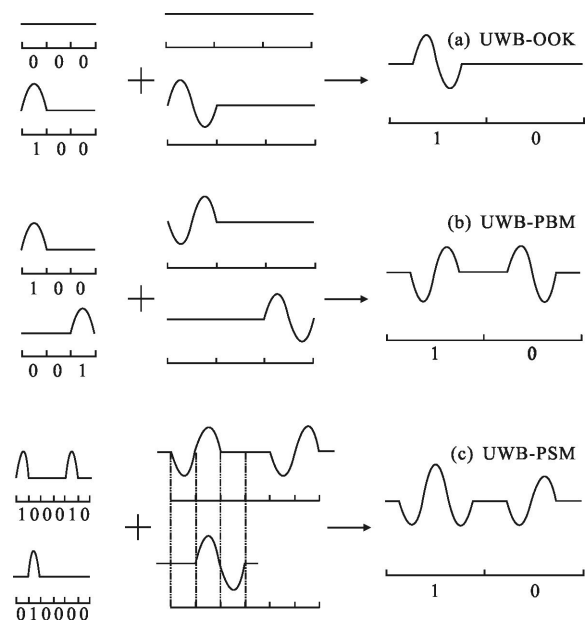


图 2 正负极性 monocycle 信号叠加实现超宽带调制的原理图  
Fig.2 Schematic diagram of modulated UWB pulse superimposed by the positive and negative polarity monocycle signal

将 BSG1 编码设为 0000 0000 0000 0000 1000 0000 0000 0000,BSG2 编码设为 1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000。在上支路,当输入码元为“1”时,产生负极性的 monocycle 脉冲;下支路输入

的码元为“1”时,产生正极性的 monocycle 脉冲,实现了 PBM 调制,如图 2(b)所示。

将 BSG1 编码设为 1000 0000 0000 0000 1000 0000 0000 0000,BSG2 编码设为 0100 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000。正极性的 monocycle 脉冲和负极性的 monocycle 脉冲之间有一个 bit 的延时,叠加后产生 doublet 脉冲,因此实现了 PSM 调制,如图 2(c)所示。

### 2 结果和分析

利用 Optisystem 软件,对基于 PM 产生 OOK、PBM 和 PSM 信号的多功能调制方案进行模拟。在仿真中,LD 功率为 6 dBm,波长为 1 552 nm;PM 的相位偏移为 90°;OBF1 和 OBF2 的中心频率分别为 1 551.85 nm 和 1 552.15 nm,带宽均为 0.3 nm。如无特别说明,系统参数均采用上面的值。

图 3 给出了产生的 OOK、PBM 和 PSM 信号的波形及频谱。图 3(a1)中的超宽带 OOK 信号中有 monocycle 脉冲时传输信息“1”,没有 monocycle 脉冲时传输信息“0”;图 3(a2)中输出的信号由正极性的 monocycle 脉冲和负极性的 monocycle 脉冲构成,实现了 PBM 调制;图 3(a3)显示了由 doublet 和 monocycle 脉冲构成的超宽带 PSM 信号。图 3(b1)~(b3)显示三种 UWB 调制信号的频谱均符合 FCC 的要求。因此,文中方案实现了产生 OOK、PBM 和 PSM 信号的多功能 UWB 调制技术。

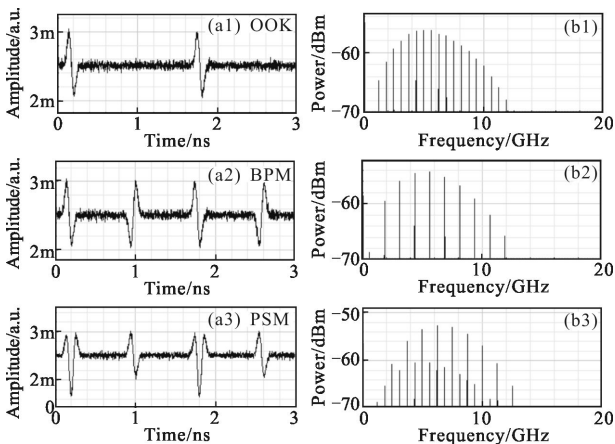


图 3 产生的 OOK、PBM 和 PSM 信号及其频谱

Fig.3 Waveforms and RF spectra for UWB modulation signals

#### 2.1 光源功率的影响

图 4~图 6 为光功率设为 0 dBm、5 dBm 和 10 dBm

时,输出的超宽带 OOK、PBM 和 PSM 信号的波形及频谱。

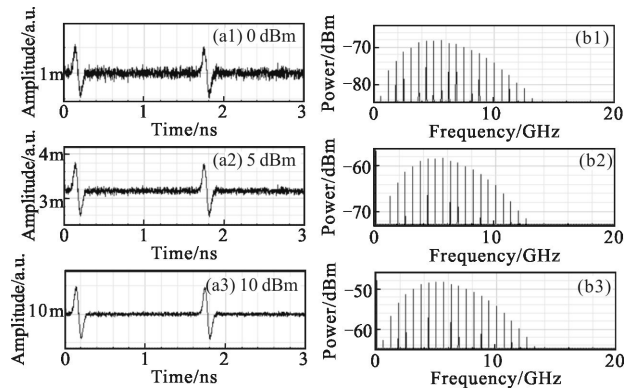


图 4 光源功率为 0 dBm、5 dBm 和 10 dBm 时,超宽带 OOK 信号波形及其频谱

Fig.4 Waveforms and spectra for UWB OOK signal with power values of 0 dBm, 5 dBm, 10 dBm

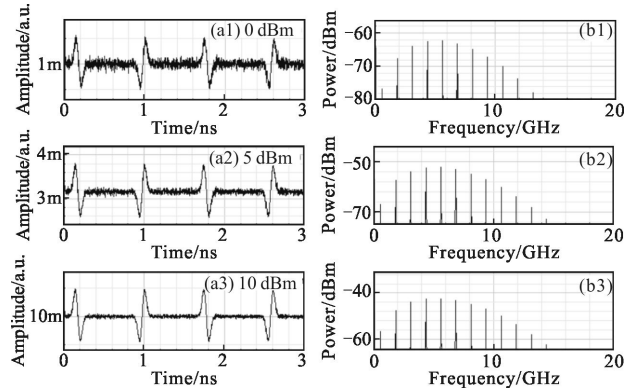


图 5 光源功率为 0 dBm、5 dBm 和 10 dBm 时,超宽带 PBM 信号波形及其频谱

Fig.5 Waveforms and spectra for UWB PBM signal with power values of 0 dBm, 5 dBm, 10 dBm

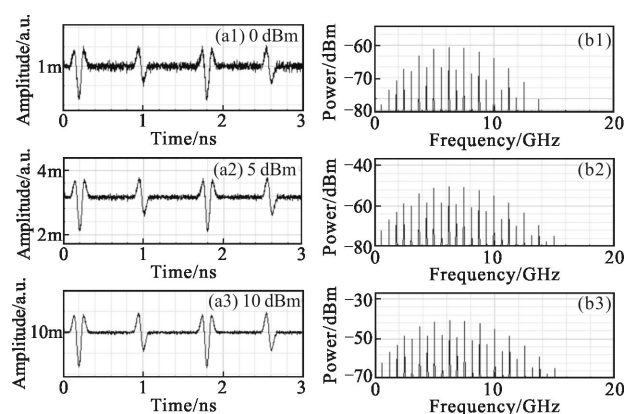


图 6 光源功率为 0 dBm、5 dBm 和 10 dBm 时,超宽带 PSM 信号波形及其频谱

Fig.6 Waveforms and spectra for UWB PSM signal with power values of 0 dBm, 5 dBm, 10 dBm

图 4~图 6 显示,光源功率越大,超宽带 OOK、PBM 和 PSM 信号的平均功率越大,频谱的幅值也越大。输入光功率过大时,超宽带 PBM 和 PSM 信号的功率谱密度大于  $-41.3 \text{ dBm/Hz}$ ,不再符合要求。因此,为了获得质量较好的 UWB 信号,选择的光源功率应在  $0\sim 8 \text{ dBm}$  之间。

## 2.2 调制速率的影响

图 7~图 9 为调制速率分别为  $15 \text{ GHz}$ 、 $20 \text{ GHz}$  和  $25 \text{ GHz}$  时,产生的 OOK、PBM 和 PSM 信号的波形及频谱。

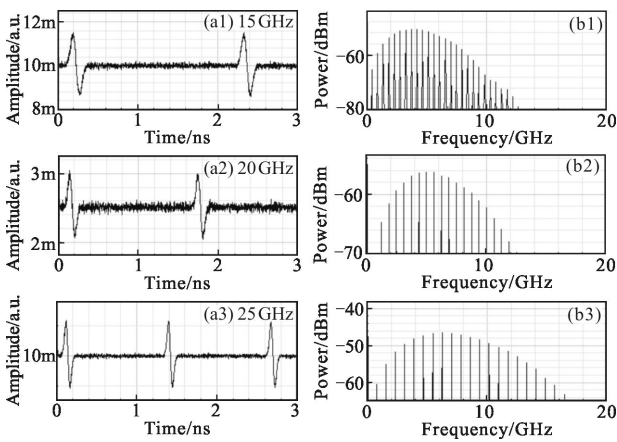


图 7 调制速率分别为  $15 \text{ GHz}$ 、 $20 \text{ GHz}$  和  $25 \text{ GHz}$  时,超宽带 OOK 信号波形及其频谱

Fig.7 Waveforms and spectra for UWB OOK signal with modulation rates of  $15 \text{ GHz}$ 、 $20 \text{ GHz}$ 、 $25 \text{ GHz}$

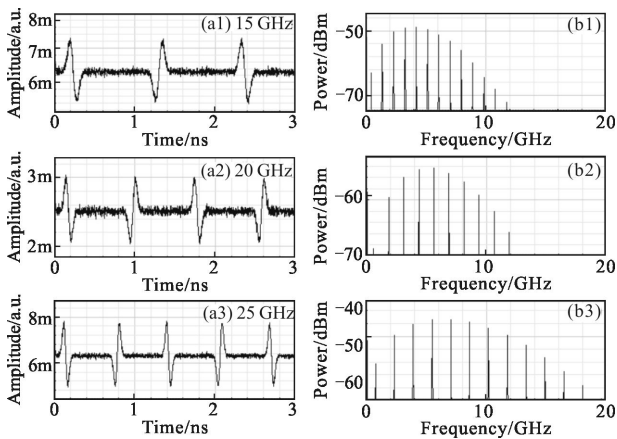


图 8 调制速率分别为  $15 \text{ GHz}$ 、 $20 \text{ GHz}$  和  $25 \text{ GHz}$  时,超宽带 PBM 信号波形及其频谱

Fig.8 Waveforms and spectra for UWB PBM signal with modulation rates of  $15 \text{ GHz}$ 、 $20 \text{ GHz}$ 、 $25 \text{ GHz}$

如图 7(a1)~(a3)所示,调制速率越大,时域波形包络基本保持不变,超宽带 OOK 信号的脉宽越小。

图 8(a1)~(a3)和图 9(a1)~(a3)显示,调制速率越大,超宽带 PBM 信号和 PSM 信号的幅度越大。这是因为调制速率越大,高斯脉冲的周期越小,啁啾越大,所以产生的 monocycle 信号的幅度增大。

在图 7(b1)~(b3)、图 8(b1)~(b3)和图 9(b1)~(b3)中,调制速率增加时,OOK、PBM 和 PSM 信号的频谱均向高频方向移动,逐渐展宽。这是由于随着调制速率的提高,单位比特脉冲脉宽逐渐变窄,频谱不断变宽。调制速率过大时,频谱将会不满足要求。因此,在进行调制时应该选择适当的调制速率。

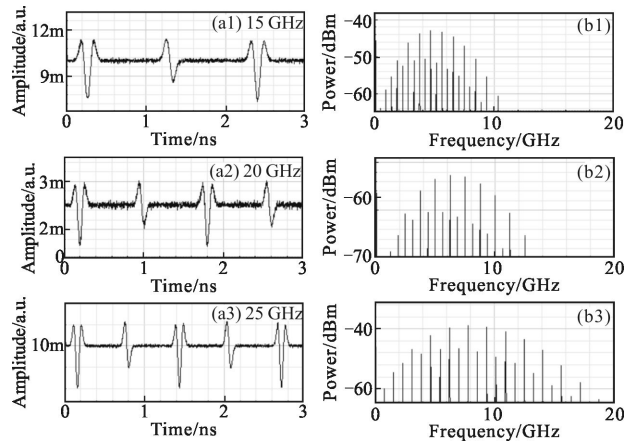


图 9 调制速率分别为  $15 \text{ GHz}$ 、 $20 \text{ GHz}$  和  $25 \text{ GHz}$  时,超宽带 PSM 信号波形及其频谱

Fig.9 Waveforms and spectra for UWB PSM signal with modulation rates of  $15 \text{ GHz}$ 、 $20 \text{ GHz}$ 、 $25 \text{ GHz}$

## 2.3 超宽带调制信号的传输性能

将三种 UWB 调制信号分别耦合到单模光纤中传输,该光纤损耗为  $0.2 \text{ dB/km}$ ,群速率时延为  $0.2 \text{ ps/km}$ ,色散为  $16.75 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}^{-1})$ 。图 10 为 OOK、PBM 和 PSM 信号经光纤传输后的信号波形。

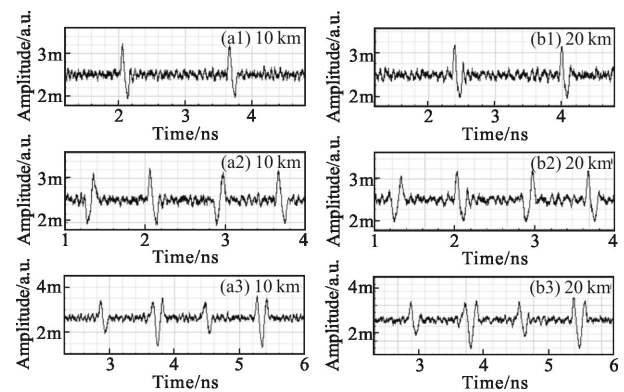


图 10 超宽带调制信号经光纤传输后的波形

Fig.10 Waveforms for UWB modulation signals in case of different transmission distance

由图可以看出,随着传输距离的增加,由于光纤的色散和损耗,三种 UWB 调制信号的平均功率和幅度均逐渐减小。但是经过 20 km 的光纤传输后,信号波形质量没有明显下降,系统抽样判决后能正确地恢复出信息。因此,文中方案产生的超宽带 OOK、PBM 和 PSM 信号均具有良好的传输性能。

### 2.4 两支路系统误差的影响

研究了当系统中两支路的 PM 调制器和滤波器存在差异时,其系统误差对 UWB 调制信号的影响。以 PSM 信号为例,图 11 给出了上支路的 PM 调制器的偏置角度分别为  $80^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $100^\circ$  时,超宽带 PSM 信号的波形及其频谱。图 11(a1)和图 11(a3)显示,当两支路的 PM 不同时,PSM 信号中的 doublet 脉冲的对称性变差。这是因为上下支路 PM 的角度偏振不同时,产生的 monocycle 脉冲的幅度不同,导致叠加后产生的 doublet 脉冲对称性变差。从图 11(b1)~(b3)可以看出,PSM 信号的频谱依然满足 FCC 的规定。

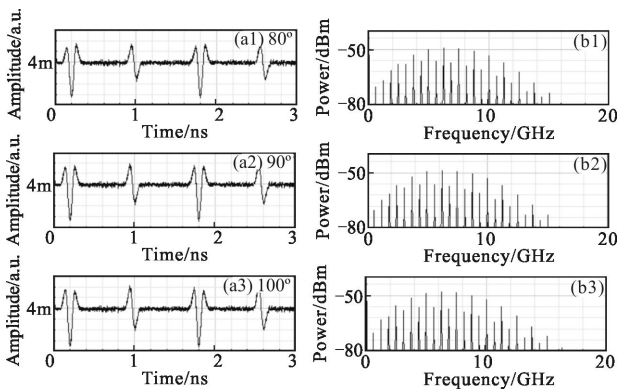


图 11 上支路的 PM 调制器的偏置角度分别为  $80^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $100^\circ$  时,超宽带 PSM 信号的波形及其频谱

Fig.11 Waveforms and spectra for UWB PSM signal in case of different phase deviations of PM modulator

图 12 显示了上支路的滤波器带宽分别为 0.2 nm、0.3 nm 和 0.4 nm 时,超宽带 PSM 信号波形及其频谱。从图 12(a1)和图 12(a3)可以看出,当两支路的滤波器不同时,PSM 信号中的 doublet 脉冲的对称性变差,平均功率变大。从图 12(b1)~(b3)可以看出,PSM 信号的频谱依然满足 FCC 的规定。系统误差对 OOK 和 PSM 信号的影响是一样的。

由于两支路中 PM 调制器和滤波器的系统误差只影响 UWB 脉冲的对称性,不影响接收端对 UWB 调制信号的判决,因此 PM 调制器和滤波器的系统

误差对结果没有影响。

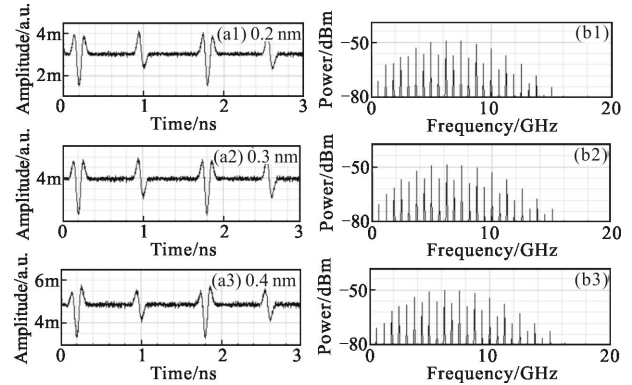


图 12 上支路的滤波器带宽分别为 0.2 nm、0.3 nm 和 0.4 nm 时,超宽带 PSM 信号波形及其频谱

Fig.12 Waveforms and spectra for UWB PSM signal in case of different bandwidths of the filter

### 3 结论

基于 PM 和 OBF 的级联结构,提出一种实现多功能 UWB 调制技术的方案。该方案可以产生超宽带 OOK、PBM 和 PSM 信号,通过改变 BSG 的编码来实现三种 UWB 调制信号之间的切换。利用 Optisystem 软件进行模拟,讨论了光源功率、调制速率和两支路 PM 和滤波器的系统误差对 OOK、PBM 和 PSM 信号的影响。结果表明,光源功率和调制速率在一定范围内变化时,产生的信号符合要求;两支路 PM 和滤波器的系统误差虽然对信号脉冲形状有影响,但对信号判决没有影响;三种 UWB 调制信号均可经过 20 km 的光纤传输而不畸变,因此文中方案可用于长距离通信系统。

### 参考文献:

- [1] Ge Lijia, Zeng Fanxin, Liu Yulin, et al. Ultra Wideband Impulse Radio[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2006: 5-6. (in Chinese)  
葛利嘉,曾凡鑫,刘郁林,等.超宽带无线通信[M].北京:国防工业出版社,2006: 5-6.
- [2] Aiello G R, Rogerson G D. Ultra-wideband wireless systems [J]. *IEEE Microw Mag*, 2003, 4(2): 36-47.
- [3] Li Wangzhe, Yao Jianping. Edge-triggered bi-phase modulation for the generation and modulation of UWB pulses [J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2008, 20 (20): 1691-1693.
- [4] Shen Danhong, Li Peili, Zheng Jiabin, et al. Research of

- ultra-wideband pulse amplitude modulation based on LiNbO<sub>3</sub> Mach-Zehnder modulator [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2013, 24(1): 79–86. (in Chinese)
- 沈丹鸿, 李培丽, 郑加金, 等. 基于 LiNbO<sub>3</sub> 马赫曾德尔调制器的 UWB 信号 PAM 调制技术研究 [J]. *光电子·激光*, 2013, 24(1): 79–86.
- [5] Huang Hao, Xu Kun, Li Jianqiang, et al. All-optical UWB pulse generation and pulse shape modulation based on XPM in NOLM [C]//OFC/NFOEC, 2008, JThA70.
- [6] Yu Y, Dong J, Li X, et al. UWB monocycle generation and bi-phase modulation based on Mach-Zehnder modulator and semiconductor optical amplifier[J]. *Photonics Journal, IEEE*, 2012, 4(2): 327–339.
- [7] Wang Fei, Dong Jianji, Xu Enming, et al. All-optical UWB generation and modulation using SOA –XPM effect and DWDM –based multi-channel frequency discrimination [J]. *Optics Express*, 2010, 18(24): 24588–24594.
- [8] Wang Fei, Zhang Xinliang, Xu Enming, et al. All-optical UWB generation and modulation for multiuser UWB –over – fiber system[J]. *IEEE Photonics Journal*, 2010, 4(2): 168–169.
- [9] Wang shiguang. Photonic generation and modulation research for ultra-wideband signals [D]. Beijing: Tsinghua University, 2010.
- [10] Wang Shiguang. Photonic generation and modulation research for ultra-wideband signals [D]. Beijing: Tsinghua University, 2010. (in Chinese)
- 王世光. 超宽带信号的光学产生和调制研究[D]. 北京: 清华大学, 2010.
- [11] Wang Shiguang, Chen Hongwei, Xin Ming, et al. Optical ultra-wide-band pulse bipolar and shape modulation based on a symmetric PM –IM conversion architecture [J]. *Optics Letters*, 2009, 34(20): 3092–3094.
- [12] Sun Guodan, Wang Rong, Pu Tao, et al. Generation and transmission of ultra-wideband signals based on FBG [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2011, 22(11): 1633–1637. (in Chinese)
- 孙帼丹, 王荣, 蒲涛, 等. 基于光纤光栅的超宽带信号产生与传输[J]. *光电子·激光*, 2011, 22(11): 1633–1637.
- [13] Zhao Meng, Li Peili, Zheng Jiajin, et al. Research of multi-functional ultra-wideband modulation based on semiconductor optical amplifier[J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2013, 24(7): 1328–1337. (in Chinese)
- 赵猛, 李培丽, 郑加金, 等. 基于半导体放大器实现多功能超宽带调制的研究[J]. *光电子·激光*, 2013, 24(7): 1328–1337.
- [14] Huang Shijie. Research of all-optical ultra-wideband signal generation and modulation [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2012. (in Chinese)
- 黄世杰. 超宽带信号的全光产生和调制技术研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2012.