

Research of UWB multifunctional generation and modulation based on dual-filter tuning

SHAO Jing^{1*}, ZHANG Kai¹

1. Department of Optical Information Science and Technology, College of Science, Wuhan Institute of Technology, Wuhan Hubei 430205, P.R.China;

[Abstract] A flexible photonic scheme for the generation and modulation of ultrawideband (UWB) based on dual-filter tuning is proposed and experimentally. The UWB polarity-switch monocycle and doublet pulses are obtained in the system. Meanwhile, with a predefined code pattern and control of the optical path difference, the pulse bipolar modulation and pulse shape modulation can be performed. By simulating through the software of Optisystem, the impact of light source power on modulated signal is investigated. In addition, the transmission characteristics of UWB modulated signals are also discussed. It is found out that the input power should be within a certain range in order to get optimum UWB signals. Only a laser source introduced in the architecture guarantees the excellent dispersion, which has potential application in UWB impulse radio over optical fiber access networks.

[Key words] Ultra-wideband, Optical filter tuning, Pulse bi-polar modulation, Pulse shape modulation

基于双滤波器的多功能 UWB 信号产生和调制器研究

邵静^{1*}, 张凯¹

1. 武汉工程大学理学院, 武汉 430205

摘要 文章利用两个并联的光学滤波器 (OBF) 作为鉴频器, 提出了一种产生超宽带 (UWB) 以及调制的灵活方案。该方案可以产生一对极性反转的 monocycle 和 doublet 信号。同时通过改变比特序列信号发生器 (BPG) 和光延时实现了 UWB 脉冲极性调制 (PBM), 以及 UWB 脉冲形状调制 (PSM) 序列。利用 Optisystem 软件进行仿真, 研究了光源功率对 UWB 信号的影响, 同时研究了 UWB 调制信号的光传输性能。结果表明, 光源功率在一定范围内变化, 可以获得性能较好的 UWB 信号。并且由于方案只包含单一波长, UWB 信号的色散容忍度高, 这在 UWB 光纤传输系统中具有重要的应用意义。

关键词 超宽带 光学滤波器 脉冲极性调制 脉冲形状调制

超宽带 (UWB) 射频技术是一种新型短距离无线通信技术, 由于其速率快、功耗低、保密性好, 以及与已有的射频通信共享带宽等优点被广泛研究^[1,2]。将 UWB 与光纤技术结合, 解决了传输距离短的问题。实现了光域中直接产生符合美国联邦通信委员会 (FCC) 需求的 UWB 信号, 全光 UWB 信号成为近些年的研究热点。

目前, 全光 UWB 的方案已经有许多。我们利用半导体光放大器 (SOA) 以及一段单模光纤 (SMF) 实现了 monocycle 以及 doublet UWB 信号^[3]。Yu 等人提出基于半导体激光器的豫驰振荡的原理得到 UWB 脉冲的方案^[4]。Zhao 等人利用锁模环形光纤激光器产生 UWB 信号并研究其在室内的无线传输^[5]。Wang 等人提出利用 SOA 级联偏振干涉仪 (PI), 基于交叉增益调制 (XGM) 效应产生 UWB monocycle 脉冲^[6]。Yin 等人采用双马赫

泽德调制器 (MZM) 的转移函数, 对驱动调制器的高斯电脉冲进行预编码, 然后调节可调光延时线 (ODL) 得到两种不同 UWB 波形^[7]。YU 等人利用一个 MZM 和单个 SOA 实现 UWB 脉冲极性调制 (PBM)^[8]。Zhang 等人利用光子晶体光纤 (PCF) 中的四波混频 (FWM) 效应产生 UWB monocycle 脉冲^[9]。Zeng 等人利用光纤布拉格光栅 (FBG) 作为鉴频器产生 UWB monocycle 和 doublet 脉冲^[10]。Chen 等人根据交叉偏振调制 (CPM) 原理实现 monocycle 脉冲^[11]。

本文利用相位调制器 (PM) 级联双光学带通滤波器 (OBF), 得到一对极性反转的 UWB monocycle 和 doublet 脉冲。通过调节比特序列信号发生器 (BPG) 的预编码和光学延时 Δt , 实现 PBM 和脉冲形状调制 (PSM)。本方案只采用单一波长, 光纤传输性能好。与[7]相比, 采用 OBF

比 FBG 更灵活和节省成本，得到的功率谱更加符合 FCC 频谱要求。本文先进行理论推导，再利用 Optisystem 软件模拟仿真，研究了光源功率对 UWB 信号的影响，同时分析 UWB 调制序列的传输性能。

1 工作原理

如图 1 所示，连续可调谐激光器 (LD) 产生连续光通过偏振控制器 (PC1) 后经过 PM，由于 BPG 产生高斯脉冲驱动 PM，连续光携带高斯相位信息，在 PM 前插入 PC1 是为了确保连续光与 PM 偏振态保持一致。高斯相位脉冲再经过 3dB 的光学耦合器 (OC) 分为两束光，分别输入 OBF1 和 OBF2 中完成鉴频功能，信号转换成强度型的高斯脉冲的一阶微分信号，也即 UWB monocycle 信号。通过合理设置光源波长、双 OBF 的中心波长三者的相对位置，将信号光源波长分别位于 OBF1 和 OBF2 的正负极性区，在两个 OBF 输出端得到一对极性相反的 UWB monocycle 脉冲。为了保证其偏振态彼此正交，选择插入 PC2 和 PC3。再采用偏振合束器 (PBC)，目的是为了减少干涉引起的拍频干扰。

系统中光源输出的光载波信号设为 $e_0(t) = \exp[j(\omega_0 t)]$ ，其中 ω_0 是光载波的角频率， t 是时间。光载波送入 PM 中进行调制，经由 BPG 高斯脉冲驱动 PM 调制器后，光载波信号变为：

$$e_{PM}(t) = \exp[j(\omega_0 t + \beta f(t))] \quad (1)$$

式 (1) 中， $f(t)$ 为输入到 PM 中的高斯脉冲调制信号， β 为 PM 相位调制指数。再把该信号通过 OBF，其频率响应的理想模型如图 2，具有正负线性斜率区和平坦区。假设调制的信号处于 OBF 的线性斜率的 A 点，将其看作线性鉴频器，其频率响应是： $H(\omega) = K[\omega - (\omega - \Delta\omega)]$ ，其中 ω 为角频率， K 为响应频率的斜率。高斯调制的信号入射到该线性鉴频器后，再进入 PD 中，探测得到信号：

$$i(t) = 2RK^2(\omega_0 - \omega_1 + \Delta\omega)\beta \frac{df(t)}{dt} \quad (2)$$

其中， $i(t)$ 为经过 PD 后的交流成分，也即探测到的信号。 R 是 PD 的响应率。从公式中可知，探测到的信号是高斯相位调制信号 $f(t)$ 的一阶导数。由公式可知，最后输出信号的性能由相位调制系数 β 和 $(\omega_0 - \omega_1 + \Delta\omega)$ 确定。假设 β 大于零，由于 $(\omega_0 - (\omega_1 - \Delta\omega)) > 0$ ，故将光载波 ω_0 设置在 A 点时，探测器输出信号与 $df(t)/dt$ 极性相同。

同理，当相位调制信号设置在 OBF 的线性斜率 B 点时，最后输出的信号与 $df(t)/dt$ 极性相反。本方案输入高斯脉冲，通过 OBF 不同线性区后产生一阶微分，得到与 A 点极性相反的 UWB monocycle 脉冲。

如图 1 中，在 OBF2 输出端插入一个 ODL，调节这对 UWB monocycle 脉冲的相对光延时 Δt ，通过 PBC 后，实现二阶差分，得到 UWB doublet 脉冲。

该实验还利用对 BPG 进行预编码，以及调节 Δt ，灵活的实现 UWB PBM 和 PSM 调制。此外单一波长使得 UWB 信号具有很高的色散容忍度，这在长距离传输中具有很重要的意义。最后利用光电探测器 (PD)，将光信号转换为电信号，采用数字通信分析仪 (DCA) 采集 UWB 时域波形，用电谱分析仪 (ESA) 测试其射频 (RF) 谱线。

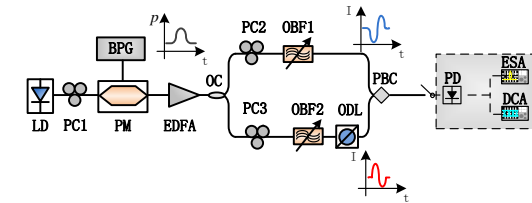


图 1 UWB 信号脉冲产生及调制的原理结构

Fig. 1 Schematic diagram of the proposed UWB pulse generation and modulation.

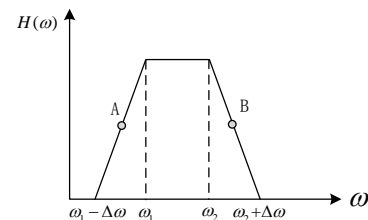


图 2 理想光学滤波器的频谱响应谱

Fig. 2 Frequency response spectrum of an ideal optical filter

3 仿真结果与分析

本文利用光学软件 Optisystem 仿真该方案。通过理论分析，对系统参数进行合理设置：光源功率为 0dBm，波长为 1555nm，高斯脉冲脉宽 0.5bit，OBF1 中心波长为 1555.3nm，带宽取 0.32nm。OBF2 中心波长为 1554.7nm，带宽取 0.32nm。PBC 偏振角度为 45°。

3.1 UWB monocycle 和 doublet 脉冲产生

首先系统实现 UWB monocycle 脉冲的产生，如图 3 (a) 和 (b) 所示，为从 OBF1 的输出端输出的负极性 UWB monocycle 脉冲及其对应频谱，其中心频率约 4.7GHz，-10dB 带宽处下、上限截止频率约 1.2GHz 和 8.2GHz，相

对带宽约为 150%。从 OBF2 输出正向 UWB monocycle 脉冲及其相应频谱如图 3 (c) 和 (d) 所示, 其频谱图与负极性脉冲的频谱非常接近, 这一对 monocycle 脉冲对应的频谱均符合 FCC 模板的需求。特别是在低频分量 1GHz 附近处, 频谱抑制的很好, 可以满足 FCC 模板的需求。调节光延时 Δt , 利用光学差分法, 得到 UWB doublet 高阶信号, 首先设置 Δt 至 0.085ns, 得到极性为负的 UWB doublet 脉冲及频谱如图 4 (a) 和 (b), 其中心频率约为 5.5GHz, -10dB 带宽处下、上限截止频率约 1.1GHz 和 9.9GHz, 相对带宽约为 160%。再设置 Δt 至 1.5ns, 得到极性为正的 UWB doublet 脉冲和频谱如图 4 (c) 和 (d), 其频谱和正向波形的频谱很接近, 这一对 doublet 脉冲的频谱完全符合 FCC 模板需求。

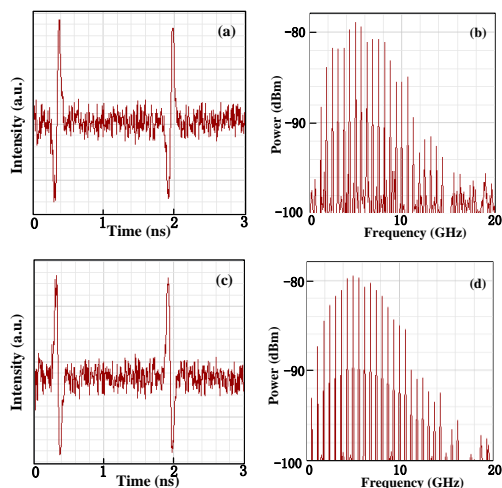


图 3 (a) ~ (b) 负极性的 UWB monocycle 脉冲时域及其 RF 频谱; (c) ~ (d) 正极性的 UWB monocycle 脉冲的时域及其 RF 频谱

Fig. 3(a)~(b) Waveforms and RF spectrum of the negative UWB monocycles; (c)~(d) Waveforms and RF spectrum of the positive monocycles

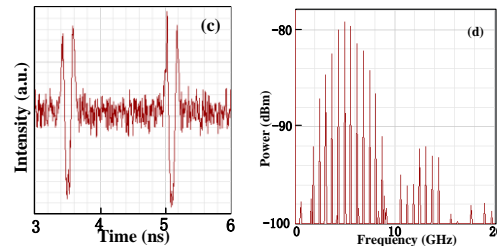
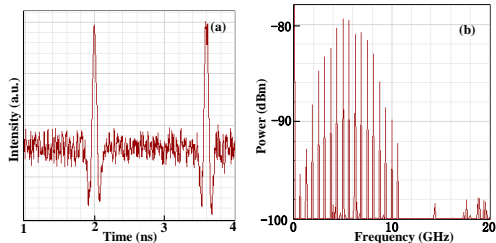


图 4 (a) ~ (b) 负极性的 UWB doublet 脉冲时域及其 RF 频谱; (c) ~ (d) 正极性的 UWB doublet 脉冲的时域及其 RF 频谱

Fig. 4 (a)~(b) Waveforms and RF spectrum of the negative UWB doublets; (c)~(d) Waveforms and RF spectrum of the positive doublets

3.2 光源功率对 UWB 信号的影响

以极性为正的 UWB doublet 脉冲为例, 研究入射光功率对 UWB 脉冲的影响, 其他参数不变, 只调节光源功率为 10dBm 和 20dBm。图 5 (a) ~ (d) 为光源功率分别为 10dBm 和 20dBm 对应的波形和频谱。在一定的功率值范围内, 随着光源功率增加, doublet 脉冲波形幅度逐渐增大, 形状基本维持不变。由其功率谱密度图可知, 随着光功率的增大, 3.1~10.6GHz 之间的功率谱密度增大, 而其低频信号功率基本都维持在很小的范围内, 使得其更加符合 FCC 对 UWB 频谱的要求。继续增大输入光功率, 如图 5 (d) 所示, UWB doublet 的功率谱密度高于 -41.3dBm/MHz, 超过 FCC 对于频谱最大功率谱密度的要求。因此, 为了得到质量较高的 UWB 信号, 光源的功率选择在 0~18dBm 范围之间。

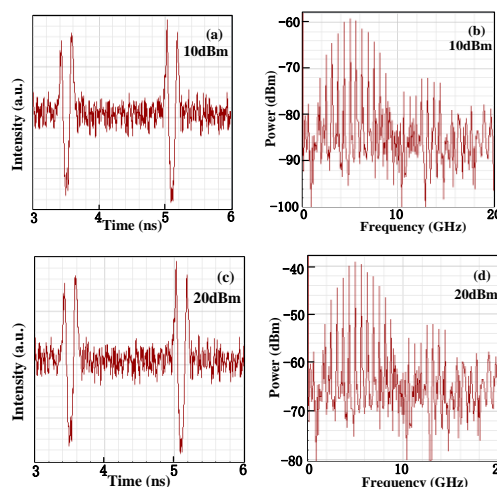


图 5 光源功率分别为 10dBm 和 20dBm, 对应的 UWB doublet 时域波形和 RF 频谱

Fig. 5 Waveforms and RF spectrum of the UWB doublets

when the light powers are 10 dBm and 20 dBm

3.3 UWB 调制序列的产生

研究产生 UWB 脉冲序列, 将编码设置为“1000 0000 0000”将光源功率调节为 0dBm, ODL 设置为 0.6ns, 产生的 UWB PBM 如图 6 (a) 所示, 将正极性的 UWB monocycle 表示为比特“1”, 极性为负的 monocycle 脉冲代表信息为“0”, 由于极性相反的脉冲表示不同的信息, 所以其对信号失真更容易检测。图 6 (b) 可知其对应的频谱满足 FCC 的要求。

将 BPG 预编码设置为“1000 0000 1000 1000”, 调节光延时线 ODL, 使得 $\Delta t=0.5\text{ns}$ 。可以得到 UWB PSM 序列, 如图 7 (a) 所示, 利用不同的脉冲形状代表不同的信息, 其中正向和负向 UWB monocycle 脉冲分别表示“M”和“-M”。而“-D”表示负向 UWB doublet 脉冲, 这种形式的脉冲序列, 避免了直流分量, 得到的脉冲频谱如图 7 (b), 比较好的满足频谱模板要求。

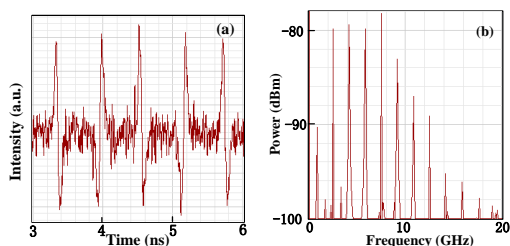


图 6 UWB PBM 序列时域波形和 RF 频谱

Fig. 6 Waveforms and RF spectrum of the UWB PSM code sequence

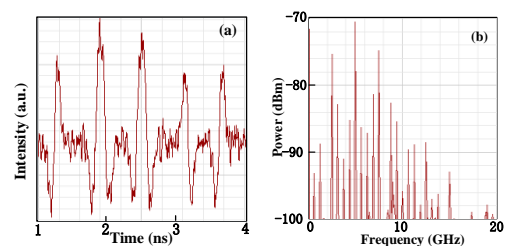


图 7 UWB PSM 序列时域波形和 RF 频谱

Fig. 7 Waveforms and RF spectrum of the UWB PSM code sequence

3.4 UWB 调制序列的传输性能

为了研究 UWB 信号通过光纤的传输性能, 以 UWB PSM 序列为例, 将该序列通过标准的 SMF 传输, 其损耗为 0.2dB/km, SMF 色散是 $16.75 \text{ ps}((\text{nm} \cdot [\text{km}]^{-1}))$, 群延时为 0.2ps/km, 图 8 为 UWB PSM 序列通过 20km SMF 以后的波形和频谱, 对比传输前的图 7,

通过光纤传输后, UWB 脉冲波形有些许瑕疵, 信号的展宽非常小, 几乎可以忽略。由于光纤损耗的影响, 传输后的功率谱密度有所下降。整体而言, 信号通过 20km SMF 后, 可以保持信息的完整性和正确性。因此本方案产生的 UWB 调制序列具有良好的色散容忍度和传输性能。

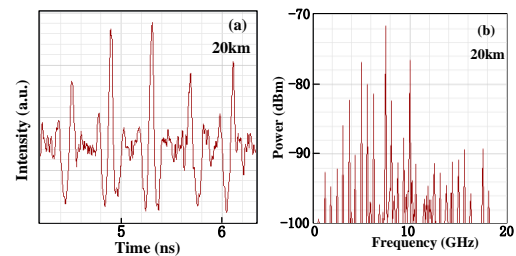


图 8 UWB PSM 脉冲序列通过 20km 光纤传输波形和对应的 RF 频谱

Fig. 8 Waveforms and RF spectrum of the UWB PSM code sequence after transmission in a 20 km SMF

4 结论

- (1) 该方案得到一对极性相反的 UWB
- (2) 该方案得到一对极性相反的 UWB monocycle 脉冲和 doublet 脉冲。频谱满足 FCC 模板要求, 特别是在低频分量 1GHz 处频谱抑制很好。
- (3) 通过预编码以及改变光延时, 实现了 UWB PBM 和 PSM 调制。
- (4) 光源功率在 0dBm~18dBm 范围内输出波形较好。光源功率选择范围广, 对波形影响较小。
- (5) 色散容忍度高, 通过 10km 和 20km 传输后而不产生畸变, 可以进行长距离传输, 这在实际应用中有重要的指导意义。

参考文献

- 1 Aiello G R, Rogerson G D. Ultra-wideband wireless systems. *Microw. Mag., IEEE*, 2003; 4(2):36—47
- 2 Roy S, Foerster J, Somayazulu V, *et al.* Ultrawideband radio design: the romise of high-speed Short-range Wireless connectivity, *Proceedings of IEEE*, 2004; 92(2): 295—311
- 3 Shao Jing, Liu Shuhui, *et al.* Photonic generation of filter-free ultrawideband monocycle and doublet signal using single semiconductor optical amplifier in counter-propagation scheme. *Optics Engineering*, 2016; 55(2):026117-(1~4) (21):3083—3085
- 4 YU Xianbin, Gibbon T B, Pawlik M, *et al.* A photonic ultra-wideband pulse generator based on relaxation oscillations of a semiconductor laser. *Optics Express*, 2009; 17(12):9680—9687
- 5 赵羽, 刘永智, 赵德双. UWB over Fiber 室内无线传输的实验研究. *光电子·激光*, 2009; 20(3): 329—332
- 6 Zhao Yu, Liu Yongzhi, Zhao Deshuang. The experiment research of UWB over Fiber indoor wireless transmission. *Optoelectronics and Laser*, 2009; 20(3): 329—332
- 7 王飞. 半导体光放大器在光网络若干关键功能中的应用研究. 武汉: 华中科技大学, 2010
- 8 Wang Fei. Research on application of semiconductor optical

- amplifier for several key functions in optical networks. Wuhan: Huazhong University of science and technology
- 7 殷杰. 超宽带光载无线系统设计与应用研究. 北京: 北京邮电大学, 2010
Yin Jie. Study of ultra-wideband radio over fiber system's design and application. Beijing: Beijing University of Post and Telecommunications, 2010
 - 8 Yu Yuan, Dong Jianji, Li Xiang, *et al.* UWB monocycle generation and Bi-phase modulation based on Mach-Zehnder modulator and semiconductor optical amplifier. IEEE Photon. Technol. Lett., 2012; 4(2):327—339.
 - 9 Zhang Fangzheng, Wu Jian, Fu Songnian. *et al.* Simultaneous multi-channel CMW-band and MMW-band UWB monocycle pulse generation using FWM effect in a highly nonlinear photonic crystal fiber. Optics Express, 2010; 18(15): 15870—15875
 - 10 Zeng Fei, Wang Qing and Yao Jianping. All-optical UWB impulse generation based on cross-phase modulation and frequency discrimination. Electronics Letters, 2007; 43(2): 121—122
 - 11 Chen Hongwei, Chen Minghua, Wang Tianliang, *et al.* Methods for ultra-wideband pulse generation based on optical cross-polarization modulation. Journal of Lightwave Technology, 2008; 26(15): 2492—2499