

· 光电器件与材料 ·

光生脉冲无线超宽带发生器的研究

李雪楠¹, 闻立群², 宁提纲¹, 李晶¹

(1. 北京交通大学 光波技术研究所, 北京 100044; 2. 工业和信息化部电信研究院, 北京 100083)

摘要: 脉冲无线超宽带(IR-UWB)是超宽带技术(UWB)最经典的实现方式之一,产生脉冲宽度在亚纳秒级别,能利用具有低占空比的基带窄脉冲序列来携带信号。IR-UWB的发生器可以灵活的产生脉冲信号,并且具有体积小、质量轻、噪声小、可调性高和抗电磁干扰等优势。文中具体研究了五种IR-UWB脉冲信号的光学生成方法,分别是利用光脉冲压缩产生IR-UWB脉冲信号、基于相位调制和偏振分束器IR-UWB脉冲信号、基于相位调制和切趾光纤光栅产生IR-UWB脉冲信号、利用光学带通滤波器产生IR-UWB脉冲信号以及基于半导体激光器产生IR-UWB脉冲信号。通过对比国内外在本领域的研究成果,讨论和总结了以上几种IR-UWB的光学生成方法,并比较各种实现方法的优缺点。

关键词: 脉冲无线超宽带; 半导体激光器; 相位调制; PM-IM

中图分类号: TN761.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-01-0014-04

Research on Photonic Generation Impulse Radio Ultra-wideband Generator

LI Xue-nan¹, WEN Li-qun², NING Ti-gang¹, LI Jing¹

(1. Institute of Lightwave Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. China Academy of Telecommunication Research of MIIT, Beijing 100083, China)

Abstract: Impulse radio ultra-wide band (IR-UWB) is one of the most classical ultra-wide band (UWB) implementation schemes. The generated pulse width is at sub-nanosecond level, which can take advantage of baseband narrow pulse sequence with low duty ratio to carry signals. And the IR-UWB generator with the advantages of small volume, light weight, low noise, good tunability and anti-electromagnetic interference may generate pulse signals flexibly. Five IR-UWB pulse signal optical generation methods such as IR-UWB pulse signal generated by optical pulse compression, IR-UWB pulse signal based on phase modulation and polarized beam splitting system (BPS), IR-UWB pulse signal based on phase modulation and generated by apodized fiber Bragg grating (AFBG), IR-UWB pulse signal generated by optical band-pass filter and IR-UWB pulse signal generated by semiconductor laser are researched. By contrasting research results in China and foreign countries in this field, IR-UWB optical generation methods hereinbefore are discussed and summarized and the advantages and disadvantages of the methods are compared.

Key words: pulse radio ultra-wideband; semiconductor laser; phase modulation; pulse modulation-intensity modulation (PM-IM)

超宽带技术(ultra-wideband, UWB)是一种发展迅速的新型无线技术,它在传输信息的时候有占用的带宽大、传输速度快、成本低、抗干扰能力强等优点,是各种短距离高速通信的优良方法。它最先出

现后适用于军用设备,直到20世纪90年代,UWB才逐渐转向民用设备,现在UWB技术在全世界范围内被广泛采纳。在2002年,美国联邦通信委员会(FCC)允许UWB在3.1~10.6 GHz免证频段通信,允

收稿日期: 2014-11-28

基金项目: 国家基础研究计划973项目(2010CB328206)资助

作者简介: 李雪楠(1989-),女,硕士研究生,主要从事光载无线通信(ROF)方面的研究;导师简介:宁提纲(1968-),男,教授,主要从事光通信与移动通信、ROF、光纤通信、光纤激光器、全光网络及其关键器件、光纤传感等方面的研究。

许-41.3 dBm/MHz的EIRP和500 MHz的最小带宽^[1]。超宽带UWB信号分为脉冲无线电、DS-CDMA方案和MBOA方案,其中脉冲无线电超宽带(IR-UWB)通信是最经典的一种方法,因为其高容量、短距离覆盖、低发射功率、共享频谱资源、信号衰减小、穿透力强等优点而受到越来越多的关注。其技术主要用于高容量短程低发射功率电平的无线链路^[2]。

随着UWB over Fiber技术的发展,人们首先面临的的就是UWB脉冲信号产生的问题。由于UWB脉冲信号是直接用来发送数字序列而不需要载波,所以UWB脉冲波形的选择直接影响了整个系统的性能^[3],其中IR-UWB脉冲最容易实现的模型是持续时间纳秒或亚秒级别的高斯脉冲及其各阶导数形式,最常用的是高斯函数的一阶导数和二阶导数这两种函数,即高斯 Monocycle型和高斯 Doublet型两种时域波形^[5]。IR-UWB脉冲的生成方法有电学产生法和光学产生法^[4],光学方法有基于交叉增益调制(XGM)和光纤光栅获得高斯 Monocycle型脉冲、基于半导体光放大器(SOA)的XGM和光滤波器的非线性特性获得具有相反极性的高斯 Monocycle型脉冲等方法,电学方法有基于非线性偏置的马赫增德尔调制器、基于双平行马赫增德尔调制器等方法^[5]。传统的电路方法需要电光转换到光域来进行传输(UWB-over-Fiber),而利用光学方法,IR-UWB脉冲光子发生器能够与模拟光链路天然兼容,避免了电学方法电光转换的麻烦。同时,IR-UWB光子发生器借助光子技术的优势,可以相对灵活地实现信号的产生、调制、传输和解调,并且具有体积小、重量轻、噪声小、可调性高和抗电磁干扰等优势^[5]。文中主要对以下几种IR-UWB脉冲信号的光学生成方法进行总结。

1 IR-UWB脉冲信号的生成方法

1.1 基于光脉冲压缩产生IR-UWB脉冲信号

2011年,YuXianbin等人提出了一种基于光脉冲压缩的方法来产生符合FCC规定的IR-UWB脉冲信号的实验装置图^[6]。

本方案利用了电吸收调制器(EAM)来实现光脉冲压缩^[6]。如图1所示^[6]。将从可调谐激光器发出的偏振控制连续波(CW)发送到由脉冲模式发生器(PPG)的时钟驱动的EAM。随后,接入电延迟线来

同步伪随机二进制序列(PRBS)和时钟,利用放大器(Amp)放大PRBS。掺铒光纤放大器(EDFA)对EAM的吸收和插入损耗进行补偿。之后,用偏置在正交点的马赫-曾德调制器(MZM)来将伪随机二进制序列调制到连续光波上。光信号和二进制随机序列经过MZM的调制后,输出的光信号输入分布式反馈激光器(DFB),再经过光环行器(OC)得到最后需要的IR-UWB脉冲信号。

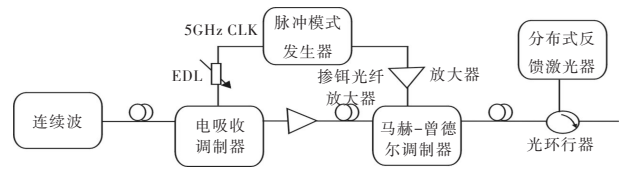


图1 基于光脉冲压缩产生IR-UWB脉冲信号

可调谐脉冲压缩使得本方案不依赖于输入的NRZ脉冲宽度,从而提供了一种产生高比特率的IR-UWB脉冲的有效方法。经过实验可得,PRBS调制产生的IR-UWB频谱完全符合FCC的标准。系统复杂度比较低,能够较稳定的传输,但是有较大的传输损耗。

1.2 基于相位调制和切趾光纤光栅产生IR-UWB脉冲信号

2011年,由Nusayer A介绍了一种基于相位调制器和光纤光栅的方法来产生符合FCC标准的IR-UWB脉冲信号,实验装置如图2所示^[7]。

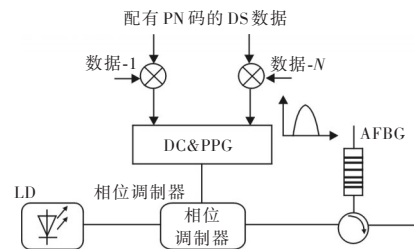


图2 基于相位调制和切趾光纤光栅产生IR-UWB脉冲信号

利用光学滤波器来实现PM-IM转换,通过消除一个边带或具有两个线性斜坡的光学带通滤波器被用作鉴频器^[7]。如图2所示。将从激光器发出的光波和高斯脉冲发生器同时发送到光学相位调制器,高斯脉冲序列是由脉冲码型发生器生成固定的

序列,如果要使用多址接入方案来给不同的用户传输不同的数据,则需要用到要使用数据合成器。经过相位调制后的光信号通过光循环器到达切趾光纤光栅,通过利用切趾光纤光栅作为鉴频器来实现PM-IM转换,从而形成IR-UWB信号^[8]。光鉴频器的理论指出,如果将相位调制高斯脉冲输入到光频率识别器,根据光载波的位置在线性点还是正交斜坡点,可以相对应的产生单峰或双峰的高斯脉冲。

经过验证^[8],实验系统所产生IR-UWB脉冲信号的功率在1千兆赫至10千兆赫之间,即所产生的IR-UWB脉冲信号符合FCC的标准。该实验系统结构简单、复杂度低,但是切趾光纤光栅对带宽利用率有一定的限制,信号的稳定性较差。

1.3 利用光学带通滤波器产生IR-UWB脉冲信号

2012年, LiPengxiao等人介绍了一种基于光学带通滤波器来生成IR-UWB脉冲信号的方法,实验装置如图3所示^[8]。

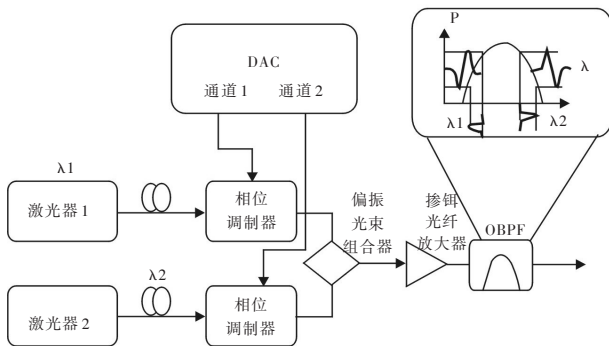


图3 基于PM-IM转换产生IR-UWB脉冲信号

利用了两个激光器,中心频率分是在在1 543.25 nm和1 543.45 nm并且具有相同的输出功率^[8]。如图3所示,将任意波形产生器产生的两列高斯脉冲序列输入到相位调制器(PM1和PM2)上,调制两个激光器输出的光波信号。两个经过相位调制器的光信号经过偏振光束组合器(PBC)合并,之后通过掺铒光纤放大器被放大,再通过光滤波器就可以得到系统生成的IR-UWB脉冲信号^[10],光学带通滤波器具有1 543.35 nm的中心波长和0.25 nm的3 dB带宽,用来为频率鉴别器实现PM-IM的转换。

通过验证,对于多种调制方法,均可产生良好

的IR-UWB脉冲信号,并且功率损失小于1.2 dB,率谱均符合FCC的规则要求。本方案比较稳定、可以灵活产生IR-UWB脉冲信号,但是系统比较复杂,同时容易导致色散和产生噪声。

1.4 基于相位调制和偏振分束器IR-UWB脉冲信号

2013年,由LiPengxiao等人提出一种基于相位调制和偏振分束器产生IR-UWB脉冲信号的方法,实验装置如图4所示^[9]。

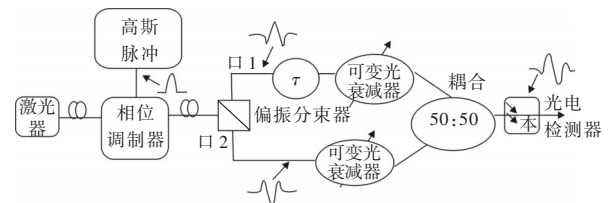


图4 基于相位调制和偏振分束器IR-UWB脉冲信号

偏振分束器(PBS)与电光相位调制(PM)相结合,同时产生一对互补的双峰脉冲,经过延迟和线性组合可以产生完全符合FCC标准的IR-UWB脉冲^[9]。如图4所示,从激光器发出与PM主轴的夹角为45°的线性偏振光波,通过偏振控制器(PC1)输入到相位调制器,与高斯脉冲一起通过相位调制被调制。偏振分束器用来形成基于偏振干涉的脉冲^[10],通过偏振分束器后,其中一个方向的脉冲经过延迟和可变光衰减器(VOA)的脉冲经过50:50耦合器重新结合到一起,之后从耦合器输出光信号,然后由光电检测器(PD)进行检测,最后产生IR-UWB脉冲信号。

本方案可以产生良好的IR-UWB脉冲信号。当施加到PM高斯脉冲偏压的传输函数的线性区域中,只有一个单峰脉冲可以生产;当调制器工作在非线性区域附近时,可以产生极性相反双峰。这种方案的系统比较复杂,产生IR-UWB脉冲信号的方案具有较高的灵活性,但是稳定性不够高。

1.5 基于半导体激光器产生IR-UWB脉冲信号

2013年, Yu Xianbin等人提出了一种利用半导体激光器生成IR-UWB脉冲信号的方法,实验装置如图5所示^[11]。

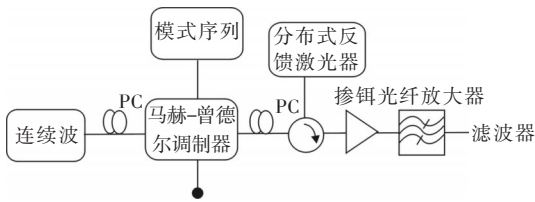


图 5 基于半导体激光器产生 IR-UWB 脉冲信号

输入电流随时间的变化(驱动电脉冲)导致半导体激光器件的载流子浓度的变化,因此激光器有源区内部的载流子和光子的密度随着时间而改变。然而由于松弛振荡,经过调制的光脉冲输出后不会表现出与驱动电脉冲相同的形状。松弛振荡在控制半导体激光器的动态响应中有重要的作用,当分布反馈激光器(DFB)偏压接近激光阈值时,输出脉冲由于松弛的振荡将呈现高的啁啾度。基于松弛振荡的啁啾特性,可以利用它来影响生成的超宽带脉冲。

通过预编码脉冲外部注入 DFB 激光器^[11]。如图 5 所示。连续波激光器(CW)发出光信号,将光信号

输入到马赫曾德尔调制器(MZM),模式序列用来驱动马赫曾德尔调制器(MZM),光循环器(OC)分离出从 DFB 输出的光波信号,掺铒光纤放大器(EDFA)用来提高信号的功率,经过滤波器输出得到 IR-UWB 脉冲信号的方法。为了提高交叉增益调制的效率,连续波的波长应该选择与 DFB 光栅共振波长相对应(CW 波长为 1 553.6 nm,而在 DFB 波长为 1 551.4 nm 处)。

经过验证,系统所产生的脉冲类似的高阶导数的高斯脉冲的形式,其频谱符合 FCC 的要求。利用半导体激光器的松弛振荡特性产生 IR-UWB 信号的方法简单灵活,更易于集成。它可以通过调整序列的速率和模式长度,以实现高的多千兆位的数据速率^[11]。

2 几种 IR-UWB 生成方法的比较

文中提到的五种 IR-UWB 脉冲生成方法均为光学生成方法,每种生成方法都有各自的优势和劣势,表 1 从系统复杂度、稳定性、灵活性等方面对五种方法进行了比较。

表 1 五种 IR-UWB 脉冲信号生成方法优缺点

	方法 1 ^[6] (光脉冲压缩方法)	方法 2 ^[7] (基于相位调制和切趾光纤光栅)	方法 3 ^[8] (光学带通滤波器)	方法 4 ^[9] (相位调制和偏振分束器)	方法 5 ^[11] (半导体激光器)
优点	系统复杂度比较低、稳定性良好	系统复杂度低、易于集成	系统稳定、产生信号灵活	产生信号的灵活性高	系统复杂度低、易于集成、传输损耗小
缺点	传输损耗较大	稳定性较差、信号容易失真	系统较复杂、容易产生色散和噪声	系统较复杂、稳定性不高	容易产生色散和噪声

3 结束语

主要讨论了几种光学产生 IR-UWB 信号的方法:(1)利用光脉冲压缩产生 IR-UWB 脉冲信号;(2)基于相位调制和切趾光纤光栅产生 IR-UWB 脉冲信号;(3)利用光学带通滤波器产生 IR-UWB 脉冲信号;(4)基于相位调制和偏振分束器 IR-UWB 脉冲信号;(5)基于半导体激光器产生 IR-UWB 脉冲信号。这五种方法从结构上来说,第二种和第五种方法实验结构比较简单,而其他三种方法实验结构相对来说比较复杂。第一种方法使用了电吸收调制器来压缩脉冲,使得本方法不依赖于输入的 NRZ 脉冲宽度;第二种方法中切趾光纤光栅对带宽利用率有一定的限制,对生成 IR-UWB 脉冲稳定性有影响;第三种方法虽然也比较复杂但同时也很稳定,缺点是在

实验中使用了 EDFA,比较容易导致色散和产生噪声。第四种方法具有较高灵活性,但是结构比较复杂,而且时延必须要选择合适;第五种方法利用了半导体激光器的松弛振荡特性,这种方法简单,复杂度低并且灵活,便于易于集成,但是容易产生色散和噪声。由于目前的几种研究方法无法兼顾简单及稳定,因此有待学者研究出更加成熟有效的 IR-UWB 光学生成方法。

参考文献

[1] Fernandes J R, Wentzloff D. Recent advances in IR-UWB transceivers: An overview[C]//Circuits and Systems(ISCAS), Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on, 2010:3284-3287.

(下转第 57 页)

软件界面左边专门设计3个小窗口,局部放大目标用来显示其运行姿态,并且每一目标模型旁标注名称。图6a左上角正显示目标从发射到分离的场景,以及目标的运行轨迹。图6b左上角从上到下分别显示为目标1、目标2和目标3的模型,实际运行时,每个目标都是以一定的角度做自旋运动。从软件截图可以看出,软件直观地提供目标飞行轨迹、目标的预计落点、雷达位置和目標相关信息,对用户观察有较大的帮助。

3 结束语

STK作为先进的专业卫星分析工具软件,其中STKX组件为仿真开发提供了有力的技术支持。基于这种技术,通过实际应用表明,可将STK无缝集成在目标识别仿真平台中,成功解决应用程序与STK进行数据交换;利用STKX组件二次开发可适用功能要求相对复杂的目标识别的可视化仿真。该技术对可视化仿真具有重要的现实意义和较高的工程参考价值。

参考文献

- [1] 杨颖,王琦.STK在计算机仿真中的应用[M].北京:国防工业出版社,2006.
 - [2] 鲍猛,潘成胜,冯永新.VC与STK的集成及在导弹数字可视化仿真中的应用[J].沈阳理工大学学报,2009,28(5):5-8.
 - [3] 黄洁,党同心,赵拥军.VC和STK集成的途径及其在仿真中的应用[J].计算机仿真,2007,24(1):291-294.
 - [4] 冯永新,张泽阳,范增,等.基于STK/X的航天器悬停应用仿真技术[J].火力与指挥控制,2014,39(9):156-159.
 - [5] 方冰,张翠侠,刘赟,等.基于STK的分布式仿真系统集成技术[J].指挥信息与技术,2014,5(2):72-76.
 - [6] 孙鑫.VC++深入详解[M].北京:电子工业出版社,2012.
 - [7] 丁溯泉,张波,刘世勇.STK在航天任务仿真分析中的应用[M].北京:国防工业出版社,2011.
 - [8] 张占月,徐艳丽,曾国强.基于STK的航天任务仿真方案分析[J].装备指挥技术学院学报,2006,17(1):48-51.
 - [9] 张云琳,张永生.STK/Connect模块分析与应用[J].测绘学院学报,2010,18:29-32.
 - [10] 杜耀珂.基于STK的卫星实时视景仿真系统设计[J].空间控制技术与应用,2009,35:60-64.
-
- (上接第17页)
- [2] 王俊.脉冲超宽带信号产生、控制与检测[D].合肥:中国科学技术大学,2007.
 - [3] 刘洋,宁提纲,李晶.超宽带脉冲信号的光学生成方法研究[J].半导体光电,2010,31(6):830-833.
 - [4] Lopez R R, Caballero A, Yu X. A comparison of electrical and photonic pulse generation for IR-UWB on fiber links [J]. Photonics Technology Letters, 2010, 22(5): 263- 265.
 - [5] 李晶.微波光子发生器与可调OCSR光单边带调制技术研究[D].北京:北京交通大学,2013.
 - [6] Yu X, Monroy I T. 5 Gbps IR-UWB signal generation and fiber transmission based on optical pulse compression[C]// Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC), 2011 and the National Fiber Optic Engineers Conference, 2011: 1-3.
 - [7] Nusayer A, SA. Analysis of an impulse radio Ultra wideband over fiber scheme based on photonic pulse generation technique[C]//Computer and Information Technology (ICCIT), 2011 14th International Conference on, 2011: 269-273.
 - [8] LI Peng-xiao, CHEN Hong-wei, CHEN Ming-hua, et al. Gigabit photonic generation, modulation, and transmission for a reconfigurable impulse radio UWB over fiber system [J]. Photonics Journal, 2012, 4(3): 805-816.
 - [9] LI Peng-xiao, CHEN Hong-wei, WANG Xu, et al. Photonic generation and transmission of 2-Gbit/s power-efficient IR-UWB signals employing an electro-optic phase modulator [J]. Photonics Technology Letters, 2013, 25(2): 144-146.
 - [10] Xie S, Chen H, Chen M. Photonic generation and wireless transmission of different pulse modulation formats for high speed impulse radio ultra-wideband over fiber systems[C]. Communications and Photonics Conference and Exhibition, 2011.ACP.Asia, 2011: 1-7.
 - [11] Gibbon T B, Rodes R, Pham T, et al. System wide implementation of photonic generated impulse radio Ultra-wideband for Gigabit fiber-wireless Access[J]. Lightwave Technology, 2013, 31(2): 264-275.