

基于光生编码超宽带信号的多用户通信系统

刘 双 钱祖平 王 荣 蒲 涛

(中国人民解放军理工大学通信工程学院, 江苏 南京 210007)

摘要 提出并验证了一种基于光学方法产生编码超宽带(UWB)信号的多用户通信系统,在发射端通过光纤直接传输用光学方法生成的 UWB 信号,在接收端对编码 UWB 信号进行相关运算,同时完成用户信息和数据信息的判决。系统具有简单扩容、易于接收、远距传输、可调谐性等优点。设计制作的多信道光纤光栅滤波器和色散光纤组合成的鉴频器是系统的核心器件。传输的信号用不同的码片组合来区分各个用户,系统只需调节激光波长来实现用户切换,产生了不同用户的光生编码 UWB 信号,并恢复出不同用户的信息,实现了多用户通信全过程。

关键词 光通信;微波光子学;编码超宽带信号;光纤布拉格光栅;多用户通信

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.0706003

Multi-User Communication System Based on Photonic Generation of Coded Ultrawideband Signal

Liu Shuang Qian Zuping Wang Rong Pu Tao

(*Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210007, China*)

Abstract A multi-user communication system based on photonic generation of coded ultrawideband (UWB) signal is proposed and demonstrated. The optical fiber is used for the transmission of the coded UWB signal generated by an optical method at the transmitter. The receiver calculates the cross correlation of the coded UWB signals and the signature codes to get the user information and data information. The proposed system has advantages such as simple expansion, easy receiving, long distance transmission, and tunability. The core component in the system is the optical frequency discriminator combined by multi-channel fiber Bragg grating (FBG) filter and dispersion fiber. Different chip-combinations in the signals represent different users. It needs only to tune the wavelength of the lasers for user-switching in this system. The coded UWB signals for different users are experimentally generated, and the user information and data information are recovered correctly. The proposed system realizes the whole communication process.

Key words optical communications; microwave photonics; coded ultrawideband signal; fiber Bragg grating; multi-user communications

OCIS codes 060.2330; 350.4010; 060.3735

1 引 言

现代通信的主要需求包含大容量、多用户、远距离、抗干扰、安全性等。多用户通信系统能够实现硬软件资源共享,提高资源利用率和可靠性,并且便于资源的集中管理和维护^[1-2]。自美国联邦通信委员

会批准将 3.1~10.6 GHz 之间的免授权频段分配给超宽带(UWB)信号使用开始,UWB 技术引起了业界广泛关注。在公共安全、军事效能、航空安全、医疗应用以及消费类产品与服务等领域,UWB 技术具有独特的应用价值和广阔的市场前景^[3-5]。

收稿日期: 2014-01-01; **收到修改稿日期**: 2014-02-16

基金项目: 国家自然科学基金(61032005,61371121,61177065)、国家 973 计划(2012CB315603)

作者简介: 刘 双(1985—),男,博士研究生,主要从事光纤光栅与光生微波任意波形方面的研究。

E-mail: youyou_nj@163.com

导师简介: 蒲 涛(1974—),男,博士,教授,主要从事光纤通信系统和微波光子学方面的研究。

E-mail: nj_putao@163.com

因为 UWB 信号通过无线只能在几米到几十米的范围内传输信息,为了拓宽 UWB 无线通信系统的覆盖范围,将 UWB 信号通过光纤传输成为了一条具有许多优势的可行途径。并且在光域产生 UWB 信号,经过光纤直接传输,发射端不再需要电光转换器件,传输的距离也大大增加。

产生 UWB 信号的光学方法有很多种。文献[6]采用基于脉冲时间组合法的方案,将相反极性、不同频率的高斯脉冲在时间上分离,组合生成 monocycle 或 doublet 信号。但此方法要求精度高。文献[7]采用基于光谱整形结合频率时间映射的方案,系统灵活,无需高斯电脉冲信号,但其需要窄脉宽的锁模激光器,系统代价比较高。文献[8]采用基于光纤非线性效应的方案,可以产生复杂脉冲信号,但其需要昂贵的非线性光纤,且光纤的长度、色散系数、非线性系数和输入光功率需要精确设计。众多方案中,基于光域微分操作的方案很有前景,其利用光栅对相位调制高斯信号进行一次与二次微分,产生高斯 monocycle 或者 doublet 脉冲^[9-10]。

本文提出了一种基于光生编码 UWB 信号的多用户通信系统,具有简单扩容、易于接收、远距传输、可调谐性等优点。其原理为:发射端采用光学的方法生成光载 UWB 信号,通过光纤直接传输,而不需要电光转换;接收端光电转换得到电域的编码 UWB 信号,通过计算此信号和预先存在接收端的

用户签名序列的相关运算,判断出此接收信号是哪个用户的信息和信息内容。此方案可以供多用户通信,系统中传输的 UWB 信号用不同的码片组合来区分各个用户,采用了二进制幅度编码承载基带信息,接收端对用户的判别和信息的恢复可以同时完成。设计制作的多信道光纤光栅(MFBG)滤波器和色散光纤组合成的鉴频器很好地满足系统需求,产生了不同用户的光生编码 UWB 信号,实现了多用户通信过程,用户实现随机切换,互无干扰,保密性好。

2 系统原理

所提出的系统实验原理图如图 1 所示。可调二极管激光器(TLD)阵列用于产生不同波长的阵列光,其中每个光源输出的光都经过一个偏振控制器(PC)后被光相位调制器(PM)调制,输入 PM 的电信号是二进制幅度编码的高斯脉冲信号。相位调制的阵列光经过环形器被 MFBG 反射,每个光波长都会产生一个 UWB 码片,经过色散光纤(DF)起到的群时延补偿作用,码片间隔实现精确控制,并且信号便于接收。接收端通过光电探测器(PD)和低通滤波器(LPF)接收到电域的编码 UWB 信号,进而通过相关计算和门限判决恢复出接收信号包含的用户信息和数据信息。

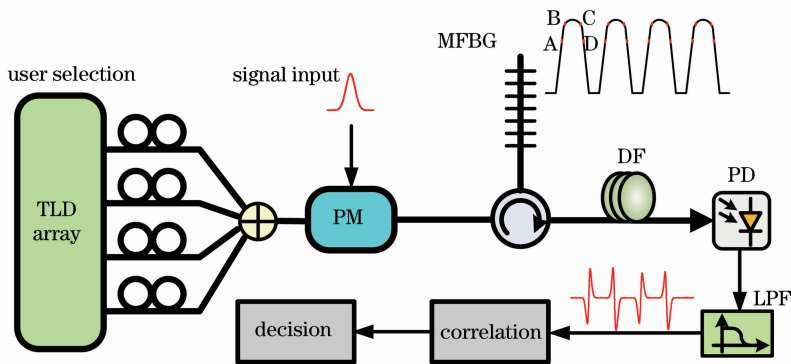


图 1 提出的基于光生编码 UWB 信号的多用户通信系统原理图

Fig. 1 Schematic of the proposed multi-user communication system based on photonic generation of coded UWB signal

把一个相位调制的高斯脉冲输入到光鉴频器中,让光鉴频器起相位调制到强度调制转换的作用,当光载波长位于鉴频器的线性或弦性斜边时,就能产生一个高斯 monocycle 或 doublet 的 UWB 脉冲;而且当光载波位于正负相反斜率的斜边时,生成的 UWB 脉冲的极性正好相反。因此,所提系统对多用户的定义可以选择脉冲波形编码或者脉冲极性

编码。

运用数学表示,当 PM 工作在小信号调制下,一个激光器的波长位于鉴频器的斜边时,最终得到的电域编码 UWB 信号可表示为

$$s(t) \sim PK^2\beta_{PM}f'(t), \quad (1)$$

式中 P 为 PD 输入端的光功率, K 为鉴频器的斜边斜率, β_{PM} 为相位调制率, $f(t)$ 为调制信号,而 $f'(t)$

为调制信号的一阶导数^[11]。(1)式可以得出,此编码 UWB 信号与调制信号的一阶导数成正比。

另外需指出,图 1 所示的系统采用了 4 个激光源,这只是所提系统的一个特例。由于每个光源将产生一个码片,所以图 1 实验最终产生的信号中每个比特将包含 4 个码片,这 4 个码片不同形状和极性的组合表征不同的用户。要想增加系统能承载的用户数,只需增加每比特所含码片的数量,也就是增加光源的数量。当然,这也受到 MFBG 的可用信道数和基带信息比特率的共同限制。

3 鉴频器设计

所提系统中采用了 MFBG 滤波器来实现鉴频器的功能,设计采样啁啾光纤光栅(FBG)制作了一个 MFBG 滤波器^[12-15],其反射谱和群时延如图 2 所示。图中显示了 11 个可用信道,信道间隔为 0.53 nm,每个信道的 3 dB 带宽大约为 0.3 nm,信道内的群时延与波长呈线性关系。这些可用信道的反射谱和群时延外形都几乎一样,其好处是不同光波长对应产生的 UWB 脉冲码片的形状都一样且群时延补偿方便。对于每个信道,实验中选取了 4 个波长点作为激光波长可选点,如图 1 中 MFBG 旁边的小图所示。但是,如果系统中环形器直接连接 PD 产生 UWB 信号的话,多个光波长对应产生的各个码片会在时域上重叠,码片信号会相互干扰而无法恢复,所以需要 MFBG 滤波器进行群时延补偿,使得各个码片相互时域分离。

个信道通带上群时延是一条水平线,所有台阶的高低都一样,约为 720 ps。这样如果选择了相邻的信道或间隔相等的信道,生成的 UWB 脉冲的码片在时域上间隔相等,码片周期为 720 ps 或其整数倍,这给系统扩容和解调都带来了方便。

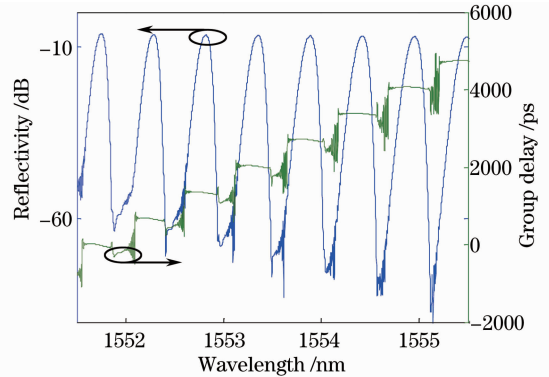


图 3 多信道鉴频器的频响

Fig. 3 Frequency response of the multi-channel frequency discriminator

需要强调的是,所提系统采用的是一段色散光纤来补偿群时延,而不是利用单模光纤。使用的色散光纤的色散系数为 117 ps/(nm·km),长度为 10.6 km。因为如果使用单模光纤来完成系统要求的群时延补偿,会需要很长一段光纤,例如本实验制作的 MFBG 滤波器需要 78 km 的色散系数为 16 ps/(nm·km)的单模光纤,这么长的距离会使得系统体积十分庞大,而且损耗也大。另外,如果考虑发射端和接收端存在实际传输距离,传输光纤引入的色散量需要根据实际传输距离从色散光纤中相应地减少。

4 结果与讨论

系统中用户的转换是通过调节各个激光器波长大小实现的。所用可调激光阵列产生的每路激光的线宽大约为 100 kHz,发射功率范围为 8~10 dBm。高斯脉冲的数码率为 312.5 Mb/s 时,一个比特刚好对应 3.2 ns。当 PM 的初始相位值为零,给 PM 只输入一个高斯脉冲,也即只输入一个比特基带信息时,可以观测到对于不同的用户,每比特 UWB 信号包含不同的码片形状或极性,如图 4 所示。图 4 分别显示了 6 个用户的码片信息,其码长为 4,其中左列是 monocycle 型码片,右列是 doublet 型码片。其中 4 种码片正好与图 1 中 MFBG 旁边的小图所选择的 4 个波长点一一对应,其中 A 和 D 为极性相反的 monocycle 信号,B 和 C 为极性相反的双峰型

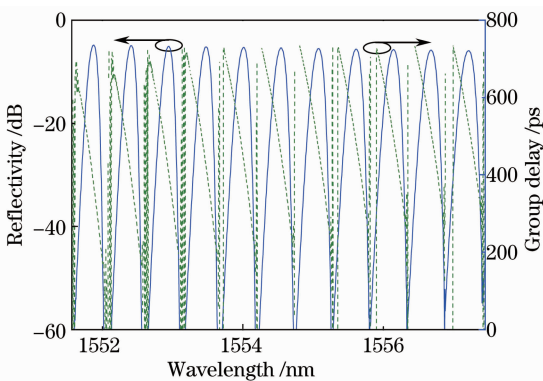


图 2 MFBG 的反射谱和群时延谱

Fig. 2 Reflectivity and group-delay responses of the MFBG

系统采用了一段色散光纤来补偿各个信道的群时延,光栅和光纤一起组合成的鉴频器的频率响应如图 3 所示,可以看出群时延变成了满足系统需求的阶梯型,并且每个信道对应一个群时延台阶,在每

信号。由于选择的是 MFBG 的相邻信道,所以码片的间隔正好是 720 ps,图 4 结果与鉴频器参数吻合。

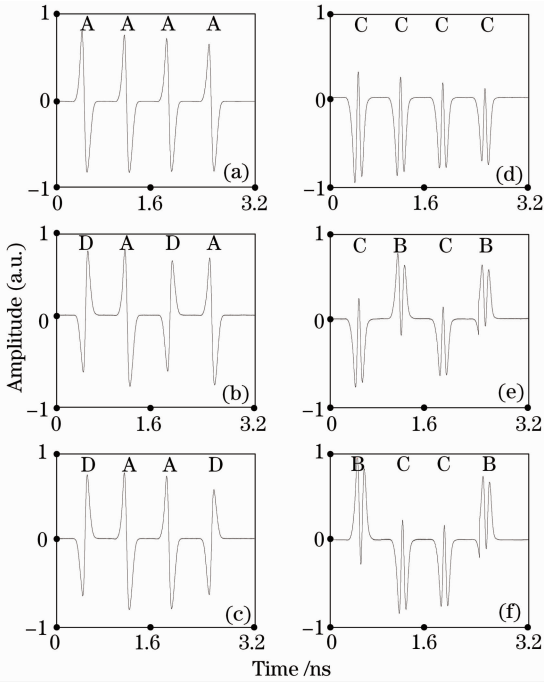


图 4 不同用户的 UWB 码片时域波形。(a)用户 1; (b)用户 2; (c)用户 3;(d)用户 4;(e)用户 5;(f)用户 6
Fig. 4 Waveforms of the UWB-chips for different users. (a) User1; (b) user2; (c) user3; (d) user4; (e) user5; (f) user6

为了接收端更好地解调,需尽可能增大用户之间码字的差异,故一般选择正交码,图 4 中的码性选择就满足这个条件。需要说明的是,图 4 中码片幅度之间的细微差异是由于调谐中各个激光器波长与各个信道波长选择点对准存在一定误差,以及制作 MFBG 的各个信道反射谱幅度存在差异所导致。

实验系统在接收端经过 PD 和带宽 5 GHz 的 LPF 产生的完整的光生编码 UWB 信号如图 5 所示,图中分别显示了两个用户生成的两段长度为 8 bit 的编码 UWB 信号数据。从图中可以清楚地看出,系统对不同的用户使用了不同的 UWB 码片组合,并且基带信息调制采用的是二进制幅度调制。

为了验证此系统可以满足多用户使用,在发射端,只需调节激光器阵列的波长,就可用特定的码片组合来表征不同的用户,如图 5 所示,实验采用了两种 UWB 码片组合来分别表征两个用户 user1 和 user2,并且为了更接近实际让它们传输的基带信息也不相同,分别为 data1 和 data2。在接收端,需要从码片的组合来判断是哪个用户的信息,并且解调判决出二进制幅度编码承载的基带信息。

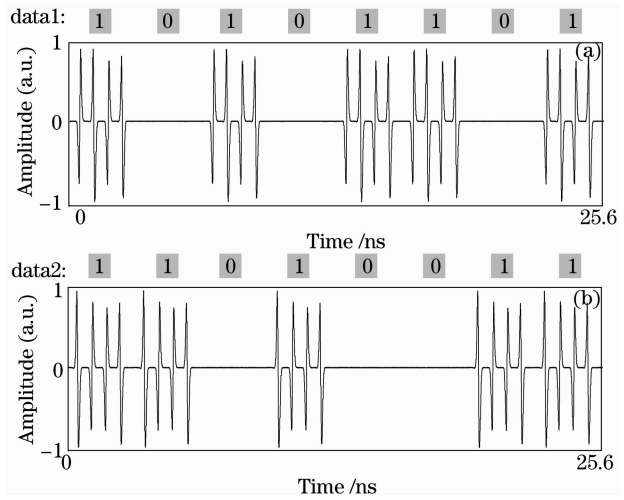


图 5 不同用户的编码 UWB 信号时域波形。(a)用户 1; (b)用户 2

Fig. 5 Waveforms of the coded UWB signals for different users. (a) User1; (b) user2

当接收端接收到编码 UWB 信号,通过滤波和信号处理后输入计算机计算此信号和预先存在接收端的用户签名序列的相关运算,可以从结果中判断此接收信号是哪个用户的信息。实验结果如图 6 所示,其中 user1 的相关值超过判决门限,从而说明此信号为 user1 传输的数据,同时根据门限判决恢复出 user1 的数据,数据结果与图 5 中的 data1 完全匹配。而 user2 的相关值都低于判决门限,从而说明此信号与 user2 无关。这充分说明只有当使用与接收信号相同的码片时,数据信息才能够被恢复。所以,此方案的确可以供多用户通信,且用户的判别和信息的恢复可以同时完成。需要强调的是,此方案码片的组合对应一组通信用户,在一个时间点上只能供一个用户单独使用,而用户对系统的占用在时间上是可以随机切换的。

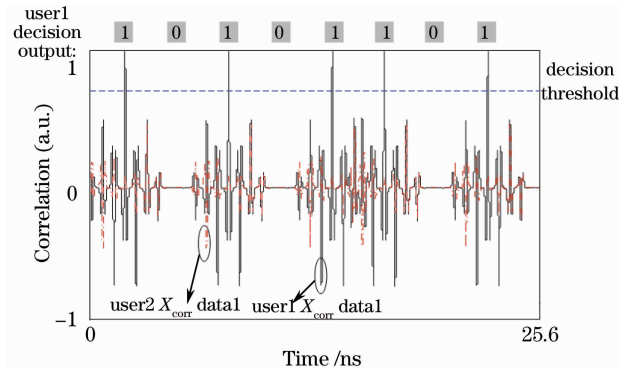


图 6 归一化相关和判决结果
Fig. 6 Normalized cross-correlation and decision results

5 结 论

本文提出了一种基于光学方法产生编码 UWB 信号的多用户通信系统。发射端采用光学方法生成的光载 UWB 信号通过光纤直接传输,接收端光电转换得到电域的编码 UWB 信号,通过计算此信号和预先存在接收端的用户签名序列的相关运算,判断出此接收信号是哪个用户的信息和信息内容。设计制作的 MFBG 滤波器和色散光纤组合成的鉴频器是系统中的核心器件,产生了不同用户的光生编码 UWB 信号,实现了多用户通信过程,用户实现随机切换,互无干扰,保密性好。系统中传输的 UWB 信号用不同的码片组合来区分各个用户,采用了二进制幅度编码承载基带信息,接收端对用户的判别和信息的恢复同时完成。并且在 MFBG 的可用信道数和基带信息比特率允许的条件下,增加光源的数量就能扩充此多用户系统的用户数量,方法简单,结构可扩展。可以展望,如果光子集成技术能运用到本实验系统中,系统的稳定性和系统用户的切换速率将大大提高。

参 考 文 献

- 1 I Kaminow, T Y Li. Optical Fiber Telecommunications IV-B [M]. Salt Lake: Academic Press, 2002. 3—15.
- 2 Zheng Jilin, Wang Rong, Pu Tao, *et al.*. Multi-user 10 Gb/s optical code division multiple access experiment [J]. Chinese J Lasers, 2011, 38(s1): s105007.
郑吉林, 王 荣, 蒲 涛, 等. 光码分多址系统 10 Gb/s 多用户系统实验 [J]. 中国激光, 2011, 38(s1): s105007.
- 3 Z F Hu, J Q Sun, J Shao, *et al.*. Filter-free optically switchable and tunable ultrawideband monocycle generation based on wavelength conversion and fiber dispersion [J]. Photon Technol Lett, 2010, 11(1): 42—44.
- 4 M Abtahi, J Magne, M Mirshafiei, *et al.*. Generation of power-efficient FCC-compliant UWB waveforms using FBGs: analysis

- and experiment [J]. J Lightwave Technol, 2008, 26(5): 628—635.
- 5 T Erdogan. Fiber grating spectra [J]. J Lightwave Technol, 1997, 15(8): 1277—1294.
- 6 X L Zhang, J J Dong, J Xu, *et al.*. SOA-based filter-free scheme for optical ultrawideband monocycle generation [C]. Optic fiber Communication Conference, 2008, JThA72.
- 7 M Abtahi, M Dastmalchi, S LaRochelle, *et al.*. Generation of arbitrary UWB waveforms by spectral pulse shaping and thermally-controlled apodized FBGs [J]. J Lightwave Technol, 2009, 27(3): 5276—5282.
- 8 A Zadok, J Sendowski. Photonic generation of ultra-wideband signals via pulse compression in a highly nonlinear fiber [J]. Photon Technol Lett, 2010, 22(4): 239—241.
- 9 Q Wang, J P Yao. Switchable optical UWB monocycle and doublet generation using a reconfigurable photonic microwave delay-line filter [J]. Opt Express, 2007, 15(22): 14667—14672.
- 10 X H Feng, Z H-Li, B Guan, *et al.*. Switchable UWB pulse generation using a polarization maintaining fiber Bragg grating as frequency discriminator [J]. Opt Express, 2010, 18(4): 3643—3648.
- 11 J P Yao, F Zeng, Q Wang. Photonic generation of ultrawideband signals [J]. J Lightwave Technol, 2007, 25(11): 3219—3235.
- 12 Liu Shuang, Qian Zuping, Wang Rong, *et al.*. Photonic generation of phase-coded microwave signal with large frequency tunability [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(4): 0406004.
刘 双, 钱祖平, 王 荣, 等. 光生频率大范围可调的相位编码微波信号[J]. 光学学报, 2013, 33(4): 0406004.
- 13 Pu Tao, Wang Rong, Li Yuquan. Non-Gaussian approximation method for phase encoding optical code division multi-access system [J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(1): 10—14.
蒲 涛, 王 荣, 李玉权. 相位编码光码分多址系统中的非高斯分析方法[J]. 光学学报, 2007, 27(1): 10—14.
- 14 Pei Li, Ning Tigang, Qi Chunhui, *et al.*. Research on PMD compensation of CFBG in high speed optical communication system [J]. Chinese J Lasers, 2010, 37(1): 142—146.
裴 丽, 宁提纲, 祁春慧, 等. 高速光通信系统光纤光栅色散补偿的偏振模色散研究[J]. 中国激光, 2010, 37(1): 142—146.
- 15 Y T Dai, J P Yao. Optical generation of binary phase-coded direct-sequence UWB signals using a multichannel chirped fiber Bragg grating [J]. J Lightwave Technol, 2008, 26(15): 2513—2520.

栏目编辑: 王晓球