

·光电器件与材料·

应用于ROF系统的微波光子发生器研究进展

刘观辉, 裴丽, 高嵩, 张义军

(北京交通大学光波技术研究所, 全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要:介绍了光学生成毫米波技术研究的背景及意义。综述了几种主流的毫米波光学产生技术, 主要包括直接调制法、外部调制法、光外差法, 以及在此基础上的改进方法: 如改进的双边带调制产生光毫米波方案, 新型双均匀光栅结构产生毫米波的方法等。并介绍了2种新型光学生成毫米波方法, 包括采用光纤光栅滤波器获得具有一定间隔双波长成分的光脉冲光谱实现毫米波副载波光信号产生的方法以及光学倍乘法。

关键词: 光纤无线通信; 毫米波生成; 光外差; 光纤光栅

中图分类号: TN253

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)03-0040-05

Progress of Microwave Photonics Generator Used in ROF System

LIU Guan-hui, PEI Li, GAO Song, ZHANG Yi-jun

(*Institute of Lightwave Technology, Key Laboratory of All Optical Network & Advanced Telecommunication Network, Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China*)

Abstract: The background and significance of the research on optical generation technology of millimeter-wave are introduced. Several mainstream optical generation technologies of millimeter-wave are reviewed, including direct-modulation, external-modulation and optical heterodyne; the improved methods are also summarized, including a novel scheme for optical millimeter-wave generation based on double-sideband modulation, and a new double-uniform fiber grating millimeter-wave generator and so on. In addition, two novel optical generation technologies of millimeter-wave are reviewed, including a method to realize millimeter-wave subcarrier optical signal generation by using a double wavelength optical spectrum of a certain distance with fiber grating filter and optical frequency multiplication.

Key words: radio over fiber; generation of millimeter-wave; optical heterodyne; optical fiber grating

当今信息社会对包括声音、数据和图像服务等多媒体通信的需求越来越迫切, 开发利用频率更高的无线电波段, 即微波、毫米波频段, 成为研究的一个热点。与厘米波段的微波相比, 毫米波的传输距离短, 绕过障碍物传输的能力弱, 系统需要架设更多的基站。基站与基站之间、基站与中心站之间的信息传输就必须依赖于具有大容量传输特性的光纤通信技术。因此, 在光纤上传送毫米波副载波信

号(radio over fiber, ROF), 被认为是一个最理想的解决方案。

毫米波生成技术在ROF通信系统中具有本振源和发射源的作用, 毫米波发生器的性能是影响ROF系统能否成功应用的关键因素之一。目前电学毫米波发生器由于成本较高、调谐范围较窄、相位噪声较大的原因不实用, 但是基于光学方法产生的毫米波频率可达到360 GHz, 相位噪声可低到

收稿日期: 2011-02-20

基金项目: 国家自然科学基金(60837002); 教育部博士点基金(200800040002)

作者简介: 刘观辉(1985-), 男, 山东人, 硕士, 研究方向为微波光子通信; 裴丽(1970-), 女, 山西人, 教授, 博士生导师。主要从事光通信、光纤传感、光器件、ROF光网络关键技术等方面的研究。

140 dB/Hz,连续调谐范围可达到90%^[1],所以光生毫米波技术目前已成为国际上ROF技术研究的热点。文中对几种主流的毫米波产生方法进行了总结,并介绍了近年来在这几种主流的毫米波产生方法的基础上的改进方法。

1 直接调制法

直接调制法^[2]是直接将毫米波电信号调制到光载波上,基站用光探测器检测毫米波^[3],属于最简单的调制方式。其原理^[4]如图1所示,首先将数字信号加载到本地振荡信号上以生成低频无线电信号,然后用低频无线电信号调制激光器的驱动电流,通过驱动电流的变化来改变输出的光载波功率,实现光信号的强度调制,从而将数据信息间接地加载到光载波上^[5]。

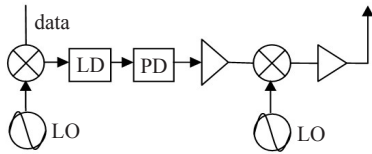


图1 直接调制原理图

直接强度调制产生光学毫米波是最简单的方式,但是由于激光器调制带宽受限,同时光学毫米波的性能受激光器的性能限制,因此不适合产生高速率光毫米波,只适合短距离、低频副载波的传输。

2 外部调制法

在外部调制法^[6]中,激光器工作在连续波模式,使用外部调制器,如马赫-曾德尔(Mach-Zehnder)型调制器、电吸收调制器等,利用电光效应和电场吸收效应调制光强,使输出光的信息随电信号变化。基于Mach-Zehnder调制器的外调制法如图2所示^[7],载有信息的射频信号 $V(t)$ 与偏置电压进行混频,Light为激光器产生连续的光波,该光波在Mach-Zehnder调制器受混频信号的外调制。在该调制方式中,通过设置不同的直流偏置电压和相位差,就可以实现不同的调制格式(双边带调制(DSB)、单边带调制(SSB)、抑制载波调制(OSC))下的毫米波传输,在接收端通过带通滤波器和光电检测器得到微波毫米波。

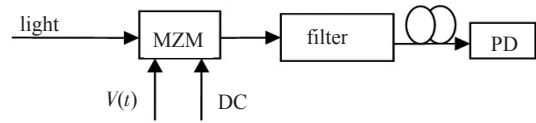


图2 基于Mach-Zehnder调制器的外调制法

DSB、SSB和OCS三种调制方式产生毫米波信号的性能各有优缺点。这三种调制方式中,DSB调制方式配置最简单,但受光纤色散严重的影响,毫米波信号衰减很快、传输距离较短^[8,9];SSB调制方式在传输距离上优于DSB方式,但由于中心波长处的直流分量较高,因此接收机的灵敏度低^[10];OCS调制方式可以产生双倍甚至六倍于驱动信号频率的毫米波信号,而且接收机灵敏度高,但由于色散引起的走离效应导致其加载的数据信号波形退化很快^[11]。

由于DSB调制方式配置比较简单,如果能降低光纤色散对其影响,可以节约很大的经济成本。近年来,人们提出了很多基于DSB调制方式的改进技术。文献[12]提出了一种改进的双边带调制产生光毫米波的方案,其模型如图3所示。马赫-曾德尔干涉型调制器的2个臂长相等,半波电压为 V_{π} 。幅度为 V_{ac} ,角频率为 $\omega_{RF}=2\pi f_{RF}$ 的射频电信号加到相位差为 $\theta=\pi$ 的两个电极上,如果一个电极的直流(DC)偏压为 V_{dc1} ,而另一个直流偏压为 V_{dc2} 。经分析,最后得到的射频分量是一个携带了基带信息,频率为 $2\omega_{RF}$ 的毫米波信号。可以看到,经光纤传输后的毫米波信号,色散的影响仅仅导致载波相位的一些变化,而基带信号只是产生了一定的时延,没有出现传统的上下边带都加载数据情况下的码间干扰。因此可以看出,利用光毫米波的一个边带加载基带信号,而另外一个边带不加载基带信号,可以抵抗色散所带来的影响,功率代价小,增加了基带信号的传输距离。

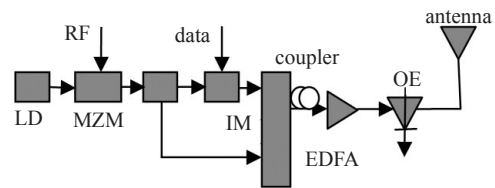


图3 改进的双边带调制产生光毫米波的方案

文献[13]提出了一种采用单个相位调制器产生毫米波的方法,其原理如图4所示。该方案采用电

混频器将射频(RF)信号与基带信号混频后再利用相位调制器产生双边带调制(DSB)信号,经光纤传输到基站后用一个光交叉复用器(IL)分离一阶边带和中心载波,一阶边带经过光电(O/E)检测器拍频产生两倍频于射频频率的毫米波,而中心载波可以作为上行链路载波重新利用。该方案产生的毫米波虽然会受到色散影响而限制其最大传输距离,但是在小于20 km的传输距离内,其功率代价小于0.2 dBm。采用单个相位调制器加滤波技术产生毫米波可以简化光纤无线通信系统结构,而且相位调制器不需要直流偏置电压,对其线性调制带宽要求低,并且分离出来的中心载波可以作为上行链路载波重新利用,这样可以进一步减少系统的复杂度,降低成本。

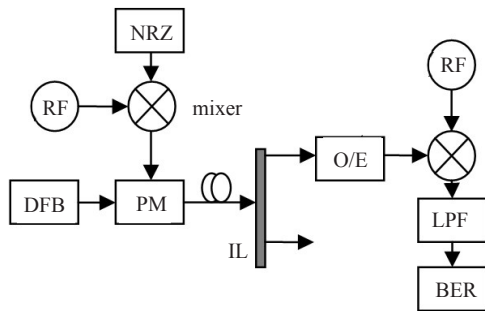


图4 采用单个相位调制器产生毫米波

文献[14]提出了采用电光调制器产生光毫米波的全双工通信光纤无线通信系统。在中心站采用电混频器产生电毫米波,然后再利用电光调制器产生双边带信号。利用光交错复用器将中心载波和双频一阶边带信号分离。双频一阶边带用于产生2倍射频信号的光毫米波,而中心光载波用来作为上行链路的光载波。实验显示采用频率为20 GHz射频信号产生光毫米波的频率为40 GHz,而且将下行链路和上行链路中2.5 Gbit/s的数据在单模光纤中传输距离达20 km,而功率代价均小于0.5 dB。文献[15]提出了一种新型的基于调制边带技术的光生毫米波方法,它主要利用高非线性光纤的四波混频效应将中心站频率较低的信号在基站上转换到毫米波射频信号。

3 光外差方法

光外差方法^[16-19]的原理是指传输两个频率差等于所需要的毫米波频率的窄线宽光波,其中之一

携带了需要传输信息的基带数据,在基站通过外差产生毫米波载波信号。在传输光纤中两光波的光谱都很窄,色散效应很小。因此,光外差方法既可以克服光纤中的色散问题,又可以简化基站的结构和成本,成为近年来ROF发射机研究工作的热点。图5为光外差方法原理图,图5中采用2个半导体激光器(LD1和LD2),把基带信号直接调制到其中一个激光器产生的光波上,与另一个激光器产生的光波耦合进行光纤传输,在光电探测器拍频产生毫米波信号。

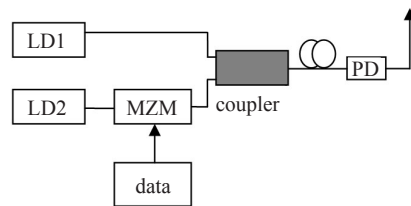


图5 光外差法原理图

因为采用的是2个相互独立的半导体激光器,初始相位不相关,所以产生的毫米波信号带宽很宽,同时伴随着随机的相位噪声;另外,传输过程中外界因素的影响也会对光纤中传输的两束光相位产生影响,使得相位噪声累积变得更加复杂,这将对系统性能造成很大的影响,必须消除。为此,近些年人们提出了光注入锁定法(optical injection locking, OIL)^[20]、光学锁相环法(optical phase locked loops, OPLL)^[21]和光注入锁相环法(optical injection phase lock loop, OIPLL)^[22]等方法以减少激光器的随机相位噪声的影响。

虽然OIL、OPLL、OIPLL能减少相位噪声,但是这几种技术都需要复杂的设备和系统结构,从经济成本来考虑,希望找到既能减少相位噪声又能降低成本的技术。由于光外差方法需要两束用于拍频的光波,可以用特定的器件将一个激光器输出的光波分为两束,由于用于拍频的两束光波是同一激光器发出的,所以相位噪声较小。文献[19]提出了一种新型双均匀光栅结构产生毫米波的方法,原理如图6所示。从连续波激光器到带通滤波器的这一部分起到了产生高频信号源的本地振荡器的作用。激光器发出的连续波经过coupler1分成均匀的两路,通过光纤环形器入射到2个中心频率差为60 GHz的光纤布拉格光栅,并被其反射回到环形器,从环形器的另一个端口输出两束频率差为60 GHz

高功率、高谱纯度和稳定度的光波,在 coupler2 处耦合输出到光电探测器。经光电探测器拍频产生毫米波信号,后用频率 60 GHz,带宽 10 MHz 的四阶贝塞尔带通滤波器滤出 60 GHz 毫米波。并将此 60 GHz 毫米波应用于 ROF 通信系统下行链路,在接收端没有采用去除相位噪声和码元走离措施的情况下,可以传输毫米波副载波信号 30 km。

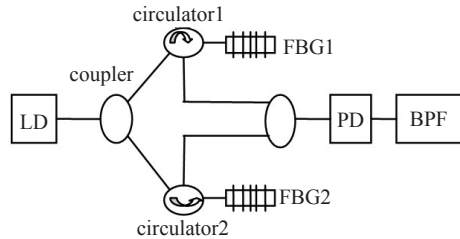


图6 一种新型双均匀光栅结构产生毫米波的方法

文献[23]提出了一种基于扰偏器和保偏光纤的毫米波产生方法,如图7。扰偏器将激光器产生的激光脉冲进行充分扰偏后,激光的2个偏振分量的电场强度大小一样。扰偏器把充分扰偏的激光送入保偏光纤,保偏光纤中光场由基模的2个正交的偏振态构成, X 偏振态的光场和 Y 偏振态的光场分别对应保偏光纤的两个主轴 X 方向和 Y 方向。这两个偏振态分量中每一分量由于光纤的延迟、色散以及非线性效应,光谱会发生相对频移。最后发生相对频移的2个偏振态分量在光电探测器发生拍频产生毫米波。作者通过理论推导和仿真分析了在不考虑光纤非线性和损耗的情况下,系统所产生的微波毫米波频率受光纤色散系数、保偏光纤长度、群时延差、输入脉冲的宽度以及输入脉冲的啁啾系数 C 的影响。适当地调整参数,就可以得到所需要的微波毫米波信号,频率最高可达120 GHz。



图7 基于扰偏器和保偏光纤的毫米波产生

4 其他新型光学生成毫米波方法

文献[24]提出了一种采用光纤光栅滤波器获得具有一定间隔双波长成分的光脉冲光谱实现毫米波副载波光信号产生的方法。其基本思想是利用一个具有双峰值波长的光纤光栅滤波器,将入射的单一峰值、光滑包络的光脉冲,转换为一个以毫米波频率调制的光脉冲。其利用逆工程算法,设计了

一种变迹叠栅光纤光栅滤波器,给出了相应的模拟结果;并在实验上初步制作了相应的光纤光栅滤波器,拍频产生了60 GHz的毫米波,验证其可行性。

2001年,荷兰学者Ton Koonen提出了一种新的毫米波光学生成技术——光学倍乘法^[25]。其主要原理^[26]是用扫频光信号和周期滤波器产生毫米波;在中心站产生一个扫频光波,同时在基站中配置梳状滤波器,基站利用梳状滤波器频率响应的周期起伏特性,将频率变化的光波转变成强度变化的光波,然后通过光探测器得到射频微波电流。

5 结论

文中对作为ROF中关键技术之一的毫米波产生技术进行了总结,主要包括直接强度调制、外部调制、光外差方法,以及在此基础上的改进方法,最后还介绍了一种采用光纤光栅滤波器获得具有一定间隔双波长成分的光脉冲光谱实现毫米波副载波光信号产生的方法以及光学倍乘法。

随着光电子技术的发展,光生毫米波技术成为发展毫米波频段的有效手段。虽然目前对光生毫米波技术的研究已经获得了重大的进展,但是对于产生低成本、低相位噪声、高稳定的窄线宽等高性能的毫米波仍然是光生毫米波技术面临的主要技术难题。

参考文献

- [1] Yifei Li, Amarildo J C Vieira, Samuel M Goldwasser, et al. Rapidly tunable millimeter-wave optical transmitter for lidar-radar[J]. IEEE Transactions on, Microwave Theory and Techniques, 2001, 49(10): 2048–2063.
- [2] Stephens W, Joseph T. System characteristics of direct modulated and externally modulated RF fiber-optic links [J]. Journal of Lightwave Technology, 1987, 5(3): 380–387.
- [3] Lin Chen, Yazhi Pi, Hong Wen, et al. Alloptical mm-wave generation by using direct-modulation DFB laser and external modulator[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 49(6): 1265–1267.
- [4] 裴军, 余重秀, 马建新, 等. ROF系统中毫米波产生方法的研究[J]. 有线电视技术, 2007.9(213): 45–48.
- [5] Ackerman E I, Cox C H. RF fiber-optic link performance[J]. IEEE Microwave Magazine, 2001, 2(4):

- 50-58.
- [6] Smith G H, Novak D, Ahmed Z Overcoming chromatic-dispersion effects in fiber-wireless systems incorporating external modulators[J]. IEEE Transactions on, Microwave Theory and Techniques, 1997, 45 (8) : 1410-1415.
- [7] Guohua Qi, Jianping Ya, Seregelyi J, et al. Generation and Distribution of a Wide-Band Continuously Tunable Millimeter-Wave Signal With an Optical External Modulation Technique[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(10) : 3090-3097.
- [8] Jianjun Yu, Zhensheng Jia, L Yi, et al. Optical millimeter-wave generation or up-conversion using external modulators[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2006, 18 (1) : 265-267.
- [9] Kitayama K. Ultimate performance of optical DSB signal-based millimeter-wave fiber-radio system: effect of laser phase noise[J]. Journal of Lightwave Technology, 1999, 17(10) : 1774-1781.
- [10] Kitayama K, Kuri T, Onohara K, et al. Dispersion effects of FBG filter and optical SSB filtering in DWDM millimeter-wave fiber-radio systems[J]. Journal of Lightwave Technology, 2002, 20(8) : 1397-1407.
- [11] Jianxin Ma, Chongxiu Yu, Zhen Zhou, et al. Optical mm wave generation by using external modulator based on optical carrier suppression[J]. Optics Communications, 2006, 268(1) : 51-57.
- [12] 胡黎亮, 陈林, 余建军, 等. 一种改进的双边带调制产生光毫米波的方案[J]. 光学学报, 2008, 28 (2) , 238-242.
- [13] 黄诚, 陈林, 余建军, 等. 采用单个相位调制器产生毫米波[J]. 中国激光, 2008, 35(1), 73-76.
- [14] 陈林, 董泽, 李瑛, 等. 采用电光调制器产生光毫米波的全双工通信光纤无线通信系统[J]. 通信学报, 2007, 28 (9) : 85-90.
- [15] 刘燕, 陈新桥. 一种基于调制边带技术的光生毫米波新方法[J]. 激光与光电子学进展, 2007, 144(6) : 54-57.
- [16] Xiupu Zhang, Baozhu Liu, Jianping Yao, et al. A millimeter-Wave-band radio-over-fiber system with dense wavelength-division multiplexing bus architecture[J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 2006, 54 (2) : 929-936.
- [17] 陈雪, C R, Lima. 光纤/毫米波系统中 60 GHz 信号的光外差产生[J]. 北京邮电大学学报, 1995, 18(4) : 67-70.
- [18] 方祖捷, 叶青, 刘峰, 等. 毫米波副载波光纤通信技术的研究进展[J]. 中国激光, 2006, 33(4) : 481-488.
- [19] 吴树强, 裴丽, 宁提纲, 等. 新型双均匀光栅结构产生毫米波的光载无线通信下行链路[J]. 中国激光, 2009, 36 (11) : 2945-2951.
- [20] Braun R P, Grosskop G, Rohde D, et al. Low-phase-noise millimeter-wave generation at 64 GHz and data transmission using optical sideband injection locking[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1998, 10 (5) : 728-30.
- [21] Griffin R A, Kitayama K. Optical millimetre-wave generation with high spectral purity using feed-forward optical field modulation[J]. Electronics Letters, 1998, 34 (8) : 795-796.
- [22] Johansson L A, Seeds A J. Millimeter-wave modulated optical signal generation with high spectral purity and wide-locking bandwidth using a fiber-integrated optical injection phase-lock loop[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2000, 12(6) : 690-692.
- [23] Yuanyuan Shi, Tigang Ning, Jing Li, et al. Generation of microwave and millimeter-wave based on po-larization scrambler and polarization maintaining fiber[J]. Optoelectronics Letters, 2009, 5(4) : 281-283.
- [24] 叶青, 刘峰, 瞿荣辉, 等. 一种基于光纤光栅的毫米波副载波光纤通信方案[J]. 光学学报, 2006, 26 (10) : 1464-1468.
- [25] Ton Koonen, Anthony Ng'oma, Henrie van den Boom, et al. Carrying microwave signals in a GIPOF-based wireless LAN[C]//In Proceedings of the Plastic Optical Fibres Conference, 2001 : 217-223.
- [26] 李晶, 伍睿, 贾楠, 等. 一种新型的光学生成毫米波方法光学倍乘法[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2008, 26(2) : 190-194.

版权声明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中文科技期刊数据库》、《中国期刊全文数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》、美国《乌利希期刊指南》、波兰《哥白尼索引》收录期刊,并加入中国光学期刊网,建立了《光电技术应用》期刊网站,所刊载的文章在国内外数据库检索机构及网站(包括纸板、光盘版、网络版)报道时,不再征求作者意见。稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期样刊两份。