

一种新的全双工光纤无线通信系统^①

何 晶^② 陈 林 文双春 文 鸿 余建军

(湖南大学计算机与通信学院 长沙 410082)

摘 要 实验研究了一种新的提供全双工服务的光纤无线通信系统,该系统在中心站采用相位调制器和光纤布拉格光栅产生光毫米波,并同时将来调制信息的光载波与光毫米波一起发送到基站;通过光环行器和光纤布拉格光栅将基站中下行链路的光载波分离出来作为上行链路的光载波。上行和下行链路的眼图的测试结果表明,该系统在长距离传输中具有较好的性能。

关键词 光纤无线(ROF)系统,全双工,光毫米波,光纤布拉格光栅(FBG)

0 引 言

未来有线和无线网络传输高速率数据和视频所需要的接入带宽将会增长到以每秒吉比特为单位,为了适应未来传输容量的提高和用户的可移动性,必然会使用光纤无线(radio-over-fiber, ROF)系统。ROF 系统能够充分利用光纤的巨大带宽以降低成本,并具无线通信技术的灵活性以及将无线网络和光网络进行融合的特点,是解决当前乃至未来宽带无线接入的最有前景的技术之一^[1-4]。目前 ROF 系统面临的一个问题是如何简化基站(base station, BS)的结构,降低基站的造价。文献[5][6]提出了利用中心站(central station, CS)的中心载波或在基站进行波长重用的方案。但是文献[5]中没有验证下行数据传输的实现,而文献[6]中采用光载波抑制(optical carrier suppress, OCS)产生光毫米波的方法,该方法需要一个复杂的电路来控制直流(direct current, DC)偏压和对称的射频(radio frequency, RF)信号,使得发送端复杂。文献[7]提出了采用相位调制器不需要外加复杂的电控制电路,简化了光毫米波产生的复杂性,但是并没有上传数字信号。本文提出一种新的全双工(full-duplex) ROF 系统,它利用相位调制器(phase modulator, PM)和光纤布拉格光栅(fiber Bragg grating, FBG)共同作用产生光毫米波。由于相位调制器无偏置电压,可以稳定操作,而且不需要直流偏压的电控制电路,因而降低了系统的复杂性。在中心站,将来调制信号的大功率载波与光毫米波一起

发送到基站。在基站中将上行链路的信号调制到由下行链路中 FBG 反射过来的光载波上,对未调制信息的光载波进行重用,有效地利用了光功率,同时简化了中心站和基站的设计,特别是将光源集中于中心站,在基站无需使用任何光源。对此方案进行实验的结果显示,双向全双工 2.5Gbit/s 数据可在 20km 标准单模光纤(single-mode fiber, SMF)中成功传输。

1 原 理

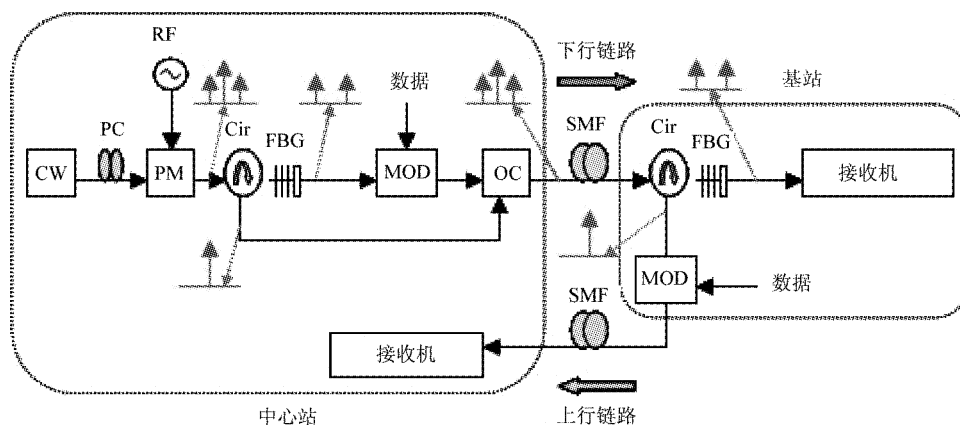
本文提出的采用光相位调制器和光纤布拉格光栅产生光毫米波以及波长重用于上行链路的原理图如图 1 所示。在中心站,由可调激光器产生连续光波(continuous wave, CW),采用光相位调制器将正弦波射频信号调制到光载波上,然后再采用一个光环行器(circulator, Cir)和光纤布拉格光栅对中心光载波进行抑制,产生的两个一阶边带形成光毫米波,而中心光载波将由光纤布拉格光栅反射回来从光环行器的另一端输出。通过掺铒光纤放大器(erbium doped fiber amplifier, EDFA)对光毫米波进行放大后,再利用光强度调制器(intensity modulator, IM)将下行链路的基带信号调制到光毫米波上。接着使用 3dB 光耦合器(optical coupler, OC)将调制了下行链路基带数据的光毫米波与未调制信息的中心光载波进行耦合,经过光纤下行传送到基站。在基站,另一个光环行器和光纤布拉格光栅用来分离中心光载波和光毫米波,经过光纤布拉格光栅后,通过一个可调光滤

① 863 计划(2007AA01Z263)和高等学校博士点基金(20040532005)资助项目。

② 女,1978 年生,博士生,讲师;研究方向:光纤通信,新一代光无线通信网,联系人, E-mail: starryhj@yeah.net (收稿日期:2008-02-21)

波器(tunable optical filter, TOF)滤出两个一阶边带,经过 PIN 光电二极管转换成频率为 40GHz 电毫米波,用下行接收机检测。通过光纤布拉格光栅反射的中心光载波作为连续光波用于上行连接,采用上

行基带数据驱动一个外部调制器产生光上行信号,经过光纤传输到中心站。由于上行数据速率不高,可以使用低成本低频率接收机检测上行信号,这样基站的成本很低。



CW:连续光波;PC:偏振控制器;PM:相位调制器;Cir:光环行器;FBG:光纤布拉格光栅;OC:光耦合器;SMF:单模光纤

图 1 新的全双工 ROF 系统实现原理图

2 实验设置及结果

图 2 为光毫米波产生、传输以及上下行链路光载波重用的全双工 ROF 系统的实验设置。中心站的光毫米波产生模块由可调激光器、相位调制器

(PM)、光环行器(Cir)、光纤布拉格光栅(FBG)、掺铒光纤放大器(EDFA)、光强度调制器(IM)和光耦合器(OC)组成;基站的光毫米波接收模块由光环行器(Cir)、光纤布拉格光栅(FBG)、掺铒光纤放大器(EDFA)、可调光滤波器(TOF)、PIN 光电转换器、电放大器(electrical amplifier, EA)和电混频器(mixer)组成。

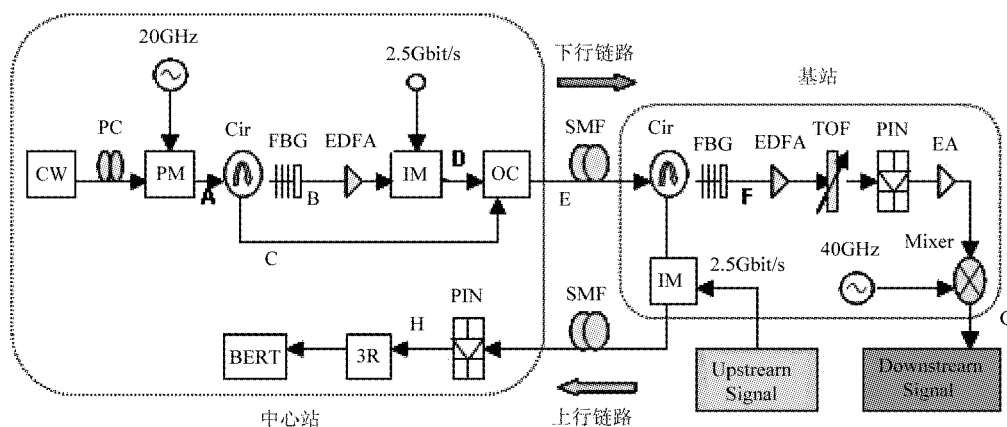


图 2 新的全双工 ROF 系统的实验设置

在中心站,可调激光器产生波长为 1543.74nm 的连续光波。采用光相位调制器将频率为 20GHz 的 RF 正弦波信号调制到光载波上,实验中使用的 RF 信号峰峰值幅度大约为相位调制器半波电压的 25%,输出信号的频谱能量主要由中心载波和一阶边带信号构成,我们采用 Ando 公司 6317 的光谱分

析仪检测 A 点的光谱如图 3(a)所示,其光谱分析仪的波长范围为 600~1700nm,最小分辨率为 0.01nm。然后采用光环行器和 FBG 抑制中心载波,并将中心载波和两个一阶边带信号分离,FBG 的 3dB 反射带宽为 0.24nm,在反射峰峰值波长处,反射率大于 25dB。一端分离出来的一阶边带形成光毫米波,在 B

点测量的光谱如图 3(b), 可以看到中心载波被抑制, 载波抑制率大约为 15dB, 产生的两个一阶边带波峰之间的间隔为 40GHz, 信号频谱中二阶边带比一阶边带低, 不会对光毫米波在单模光纤中的传输带来影响, 两个一阶边带被分离出来形成光毫米波用来调制下行链路的基带数据信号; 另一端为由 FBG 反射的中心光载波, 其频谱主要由中心载波构成, 在 C 点测量的光谱如图 3(c), 其它高阶边带被抑制。接着经过 EDFA 对光毫米波进行放大, 下行链路的基带数据信号通过 IM 调制到光毫米波上。实验中使用的基带信

号是字长为 $2^{31} - 1$ 的 2.5Gbit/s 的伪随机序列, 由型号为 Anritsu MP1763C 的码型发生器产生, 其最高码元速率为 12.5Gbit/s。为了将中心光载波重用于上行链路, 我们使用一个 3dB 光耦合器将调制了下行链路基带数据信号的光毫米波和由 FBG 反射的未调制信息的中心光载波进行耦合, 耦合后的信号在 E 点测量的光谱如图 3(d) 所示。再通过下行链路长度为 20km 的单模光纤传输到基站, 测量到进入单模光纤的光毫米波的功率为 8dBm, 中心光载波的功率比光毫米波功率要大。

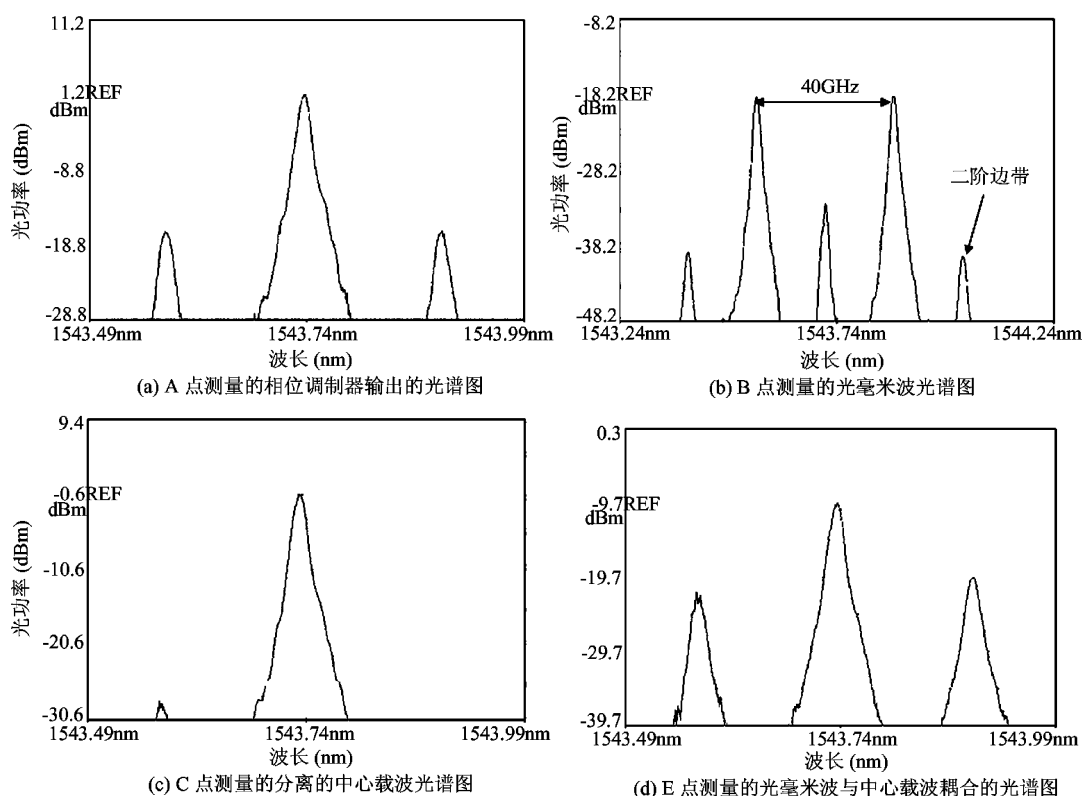


图 3 光谱图

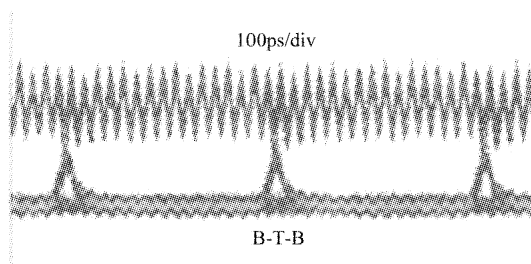
在基站, 光毫米波和中心光载波通过另一个独立的光环行器和 FBG 进行分离, 该环行器和 FBG 与中心站使用的相同。使用 FBG 有两个作用: 一是滤除中心光载波, 将产生的光毫米波用于下行链路; 另一方面是对中心光载波进行反射用于上行链路。对于下行链路, 光毫米波通过一个对小信号具有 30dB 增益的常规 EDFA 进行预放大, 采用一个带宽为 0.5nm 的可调光滤波器进行滤波来抑制放大的自发辐射噪声, 然后经过 3dB 带宽为 60GHz 的 PIN 光电检测器进行光电转换, 转换的电信号用一个中心频率为 40GHz, 带宽为 10GHz 的电放大器放大, 采用电混频器代替用户终端对下行链路的信号进行接收和

解调毫米波, 信号与 40GHz 的射频信号混频后解调得到基带数据信号^[6]。对于上行链路, 反射的中心光载波作为连续光波, 采用字长为 $2^{31} - 1$ 的对称 2.5Gbit/s 上行信号进行调制。然后传输返回到中心站, 用低成本低频率接收机检测上行信号。实验中我们对上行信号通过另一根光纤进行传送。

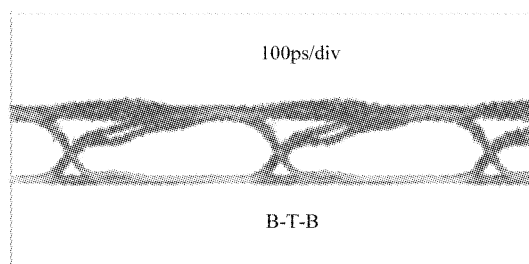
实验中采用光环行器和 FBG 抑制中心载波产生 40GHz 的光毫米波, 通过光强度调制器将下行链路的基带数据调制到光毫米波上, 我们利用 Agilent86100C 示波器在 D 点测量光信号的眼图如图 4(a) 所示, 其眼图中包括光毫米波和下行链路基带数据的混合信号。光毫米波上传送的 2.5Gbit/s 基带数据信号的脉

宽约为 400ps。背靠背(back-to-back, B-T-B)情况下,在基站通过另一个环形器和 FBG 抑制中心载波得到的光毫米波,经过带宽为 0.5nm 的可调谐光滤波器后,再采用 3dB 带宽为 60GHz 的光电检测器进行光电转换,下变换的 2.5Gbit/s 基带数据信号通过型号为 Anritsu MP1764C 误码仪测量接收,在 G 点测量得到的眼图如图 4(b),可以看到眼图很清晰。当光毫米波和下行链路基带信号经过 SMF 光纤传输时,由于采用

FBG 抑制中心载波产生两个波峰间隔为 40GHz 的光毫米波信号,在具有 17ps/nm/km 色散参数的 SMF 光纤中传输后受光纤色散影响,传输 20km 后在 F 点测量光信号的眼图如图 5(a)所示,可见 40GHz 光毫米波信号由于受到光纤的色散影响,眼图变窄了。图 5(b)为传输 20km 后下变换的 2.5Gbit/s 基带数据信号通过误码仪测量接收在 G 点测量的眼图。通过 20km 光纤传输后解调的数字信号的眼图仍然是张开的。

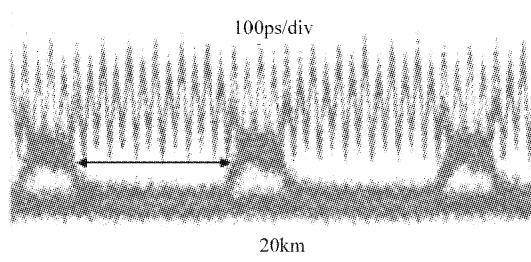


(a) D 点测量的光信号眼图

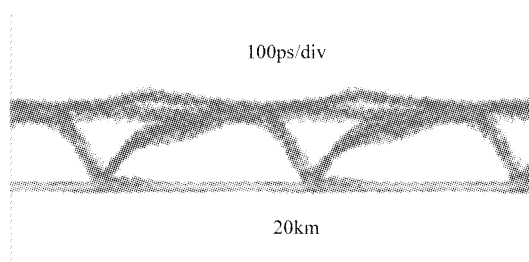


(b) 背靠背情况下 G 点测量的下行信号眼图

图 4 信号眼图



(a) 传输 20km 后在 F 点测量的光信号眼图



(b) 传输 20km 后在 G 点测量的下行信号眼图

图 5 信号眼图

从基站的 FBG 中反射的中心光载波通过第二个强度调制器(IM),驱动上行数据信号进行调制。然后,上行光信号通过另一根 20km 的 SMF 光纤传输到中心站。由于 FBG 的带宽非常窄,光毫米波信号中会有一小部分和光载波一起被反射,在中心站对上行数据进行检测时,这些小部分光毫米波信号会带来串扰,降低接收机的灵敏度。实验测量的上行链路信号的误码率曲线如图 6,当 BER 为 10^{-9} 时,传输 20km 后的功率代价为 1.1dB,上行链路的功率代价主要是由于光纤传输的色散引起的。由于上行信号采用有更大功率的中心载波进行传输,相比下行链路传输具有更好的性能。上行信号在背靠背情况和光纤中传输 20km 后用商用 PIN 接收机检测得到的眼图见图 6 中的插图。

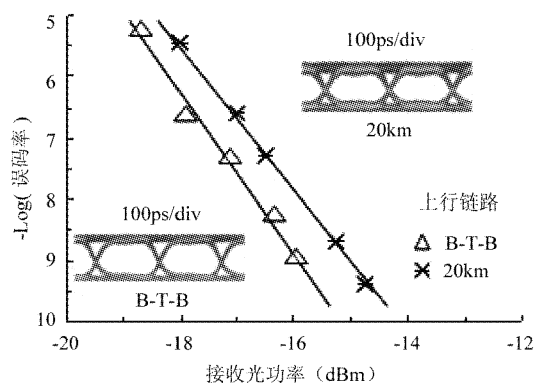


图 6 测量的上行信号误码率曲线和眼图

3 结 论

我们提出一种新的全双工 ROF 系统的实验设置,利用光相位调制器和 FBG 共同作用产生光毫米波。通过 FBG 滤出光中心载波,将产生的一阶边带作为光毫米波用于下行链路;并利用 FBG 反射的光中心载波用于上行链路。在中心站采用相位调制器无偏置电压,不需要使用复杂的电路,降低了系统的复杂性。由于光源集中在中心站,基站不需要使用任何光源,而且通过对未调制信息的光中心载波进行重用,有效地利用了光功率,简化了基站的设计。我们通过实验验证了 2.5Gbit/s 数据进行 20km 双向传输,实验结果显示该方法设置简单,成本有效,在长距离传输中具有较好的性能。

参考文献

[1] Yu J, Jia Z, Xu L, et al. A DWDM optical mm-wave generation for ROF downstream link using optical phase modulator and optical interleaver. *IEEE Photonics Technology Letters*,

2006, 18(13):1418-1420

- [2] Chen L, Wen H, Wen S C. A radio-over-fiber system with a novel scheme for millimeter-wave generation and wavelength reuse for up-link connection. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2006, 18(19): 2056-2058
- [3] Chen L, Shao Y, Lei X, et al. A novel Radio-over-Fiber system with wavelength reuse for upstream data connection. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2007, 19(6): 387-389
- [4] Chang G K, Yu J, Jia Z, et al. Novel optical-wireless access network architecture for simultaneously providing broadband wireless and wired services. In: Proceedings of the Optical Fiber Communication, Anaheim, 2006. OFM1-1-OFM1-3
- [5] Kaszubowska A, Hu L, Barry L P. Remote down-conversion with wavelength reuse for the radio/fiber uplink connection. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2006, 18(4): 562-564
- [6] Jia Z, Yu J, Chang G K. A full-duplex radio-over-fiber system based on optical carrier suppression and reuse. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2006, 18(16): 1726-1728
- [7] Qi G, Yao J, Seregelyi J, et al. Optical generation and distribution of continuously tunable millimeter-wave signals using an optical phase modulator. *Journal of Lightwave Technology*, 2005, 23(9): 2687-2695

A novel full-duplex radio-over-fiber system

He Jing, Chen Lin, Wen Shuangchun, Wen Hong, Yu Jianjun

(School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082)

Abstract

A novel full-duplex radio-over-fiber (ROF) system was proposed and experimentally demonstrated. The system generates the optical millimeter wave using a phase modulator and a fiber Bragg grating at central station, and simultaneously, transmits the un-modulated optical carrier and the generated optical millimeter to the base station, at which the un-modulated optical carrier separated by the circulator and the fiber Bragg grating can be used for the uplink. The results of the experiment on the eye diagrams of the uplink and the downlink show that the proposed system has good performance in long-distance transmission.

Key words: radio-over-fiber (ROF) system, full-duplex, optical millimeter wave, fiber Bragg grating (FBG)