

一种基于频率间插技术的 DWDM-ROF 系统

杨晓雪, 陈新桥, 陈 鑫

(中国传媒大学 信息工程学院, 北京 100024)

摘要: 文章设计了一个基于频率间插复用的 DWDM-ROF(密集波分复用—光载无线)系统, 使每个信道载波与边带之间的空闲频段得到利用, 从而提高了 DWDM-ROF 系统的频谱利用率。同时, 为该系统设计了一种基于 FBG(光纤布拉格光栅)的新的解复用器。数据传输的仿真实验不仅验证了该方法的可行性, 还显示出了该系统具有良好的抗信道串扰能力。

关键词: 密集波分复用; 光载无线系统; 光纤布拉格光栅; 频率间插; 频谱效率

中图分类号: TN92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8788(2011)06-0041-03

A frequency interleaving-based DWDM-ROF system

Yang Xiaoxue, Chen Xinqiao, Chen Xin

(College of Information Engineering, Communication University of China, Beijing 100024, China)

Abstract: A frequency interleaving-based DWDM-ROF system is designed, in which the idle frequency bands between the carrier and sidebands of each channel is utilized, thus improving the system spectral efficiency. At the same time, a novel demultiplexer based on Fiber Bragg Grating (FBG) is designed for this system. The simulation results in data transmissions not only verify the feasibility of the proposed method, but also show that the system is well resistant to interchannel crosstalk.

Key words: DWDM; ROF system; FBG; frequency interleaving; spectral efficiency

0 引 言

ROF(光载无线)技术是将光纤通信和无线通信相结合的无线接入技术^[1]。该技术利用光纤的高带宽和低损耗优势, 使多路宽带无线信号的传输距离达数十公里, 并可以将原来放置在基站的高频设备转移到中心站, 实现资源共享, 进而可对数量庞大的基站的结构和功能进行简化, 降低系统成本。为了充分利用光纤的带宽, ROF 系统采用了 DWDM(密集波分复用)技术, 即 DWDM-ROF^[2]。由于无线通信采用毫米波载波时频率高, 故普通的基于双边带调制的 DWDM-ROF 系统频谱利用率较低, 为了提高系统的频谱利用率, 本文采用频率间插复用技术设计了一种能实现有线和无线数据传输业务的 DWDM-ROF 系统。由于频率间插复用的关键技术之一是解复用器的设计, 因此本文也设计了相应的解复用器系统。

1 间插复用原理

频率间插复用是指相邻光载波之间的间隔小于一个信道中载波与边带之间的间隔。这样, 相邻的多个信道互相交织在一起, 每个信道载波与边带之间的空闲频段也得到了利用^[3]。图 1 所示为毫米波副载波为 60 GHz 的双边带调制的 DWDM-ROF 系

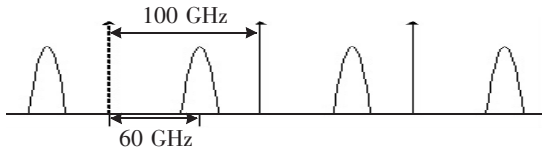


图 1 一般 DWDM-ROF 系统频谱图

统的频谱图。对于一般的 WDM(波分复用)系统, 最小频率间隔为 100 GHz。由于毫米波所携带的信号带宽远小于毫米波载波的带宽, 这就造成光纤频谱资源的浪费。频率间插复用技术可有效地解决这个问题。图 2 所示为使用频率间插复用技术后的 DWDM-ROF 系统的频谱图, 这里边带间的频率间隔为 25 GHz。可见, 使用频率间插复用技术大大提高了系统的频谱利用率。

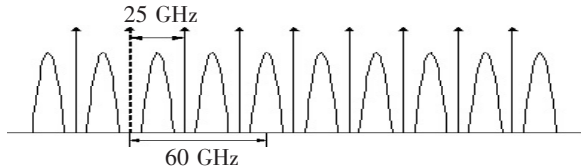


图 2 频率间插复用的 DWDM-ROF 系统频谱图

2 系统及解复用器的设计

2.1 系统结构设计

图 3 所示为本文设计的基于频率间插复用的 DWDM-ROF 系统, 该系统整合了有线和无线服务功能^[4-5], 可以实现不同业务的同时传输。图中, CS

(中心站)输出的 DWDM 信号是由两个双边带调制后的信号经频谱间插后产生的,其中两个边带信道信号和中心载波信号提供无线传输服务,另外两个边带信道信号提供有线传输服务。

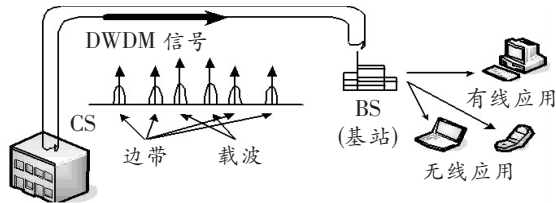


图 3 基于频率间插复用的 DWDM-ROF 系统

2.2 解复用器设计

由于使用了频率间插复用技术,普通的解复用器无法分解出所需的毫米波光信号,因此需要采用特殊的解复用器。我们设计的解复用器结构如图 4 所示,它利用 FBG(光纤布拉格光栅)和滤波器(Filters)分别滤出所需要的载波信号和边带信号,再通过合成器将信号合成后从输出端口输出。图 4 中各点对应的具体波形如图 5 所示,其中,(a)为 BS 接收到的中心局使用频率间插复用技术后的信号的频谱图,(b)为经过 FBG 反射的中心载波信号,(c)为经过滤波器后的边带信号,(d)为最终需要的 ROF 载波和相应的边带信号。

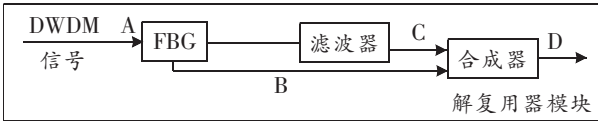


图 4 基于 FBG 的解复用器结构图

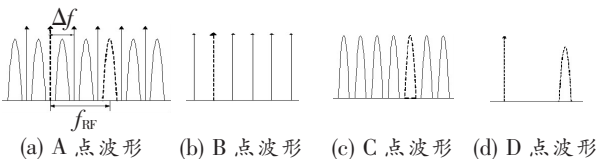


图 5 解复用器结构图中各点对应的波形

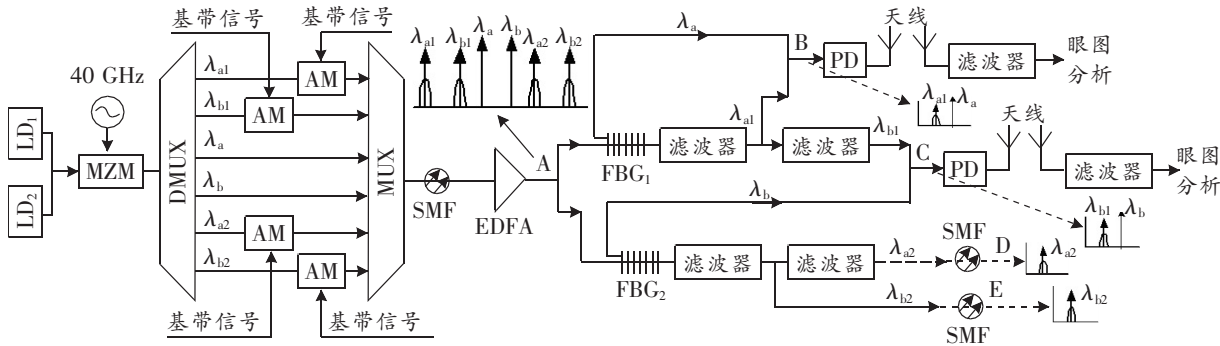


图 6 DWDM-ROF 模拟链路

BS 将不同需求的业务数据传输到不同的用户,提供有线或者无线传输服务。在 BS,对于无线信号

3 仿真实验

用 OptiSystem7.0 进行仿真实验,模拟链路如图 6 所示。两路连续光信号(LD_1 和 LD_2)的工作波长分别为 $\lambda_a=1\,552.524\text{ nm}$ 和 $\lambda_b=1\,552.331\text{ nm}$,采用 40 GHz 射频信号调制 MZM(马赫-曾德调制器),使两个波长同时进行了双边带调制,MZM 的半波电压 V_π 设为 4V。DMUX(解复用器)将两路中心光载波(λ_a, λ_b)和 4 路边带光载波($\lambda_{a1}, \lambda_{b1}, \lambda_{a2}, \lambda_{b2}$)分开,其中,解复用器的 6 个通道的中心载波的波长依次设定为 $\lambda_{a1}, \lambda_{b1}, \lambda_a, \lambda_b, \lambda_{a2}$ 和 λ_{b2} 。4 个 AM(幅度调制器)将 2.5 Gbit/s 非归零码比特序列的无线和有线数据信号分别调制到 4 个边带上,其中 λ_{a1} 和 λ_{b1} 为无线数据信号, λ_{a2} 和 λ_{b2} 为有线数据信号。边带光载波与两个中心光载波同时经过 MUX(复用器)耦合到一根光纤中,这样就实现了频率间插复用。信号经过 50 km SMF(单模光纤)传输,并由 EDFA(掺铒光纤放大器)进行放大。图 7 所示为在 DWDM-ROF 模拟链路图中 A 点观测到的频率间插复用后的信号频谱图,两个中心载波的间隔(Δf)为 24 GHz,一个中心载波对应的两个边带间隔($2f_{RF}$)为 80 GHz。当 f_{RF} 保持不变而 Δf 变小时,眼图变得越来越模糊,特别是当 Δf 减小到 10.5 GHz 时,信道间的串扰比较严重,误码率很高,整个系统的传输质量很差,终端无法接收到有用的信号;当 Δf 保持不变而 f_{RF} 增大时,接收到的眼图很清晰,误码率很低;当 Δf 保持不变而 f_{RF} 减小时,观测到的眼图越来越模糊,特别是当 f_{RF} 减小到 30 GHz 时,信道间的串扰比较严重,误码率很高,终端无法接收到有用信号。所以在节省频带资源的前提下,要选取比较合适的 Δf 和 f_{RF} ,以提高系统传输的质量。

而言,FBG₁ 和 FBG₂ 分别将两个中心光载波(λ_a, λ_b)反射,反射系数为 99%。如果 FBG 反射系数设

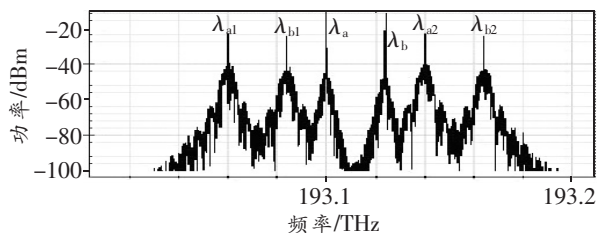


图 7 携带数据的 DWDM 信号频谱图

得比较低,会对 FBG 后面设置的两个滤波器产生干扰。在 FBG_1 之后的两个滤波器的中心波长分别设定为 λ_{a1} 和 λ_{b1} ,最后所得的携带无线信号的两路边带光载波 λ_{a1} 和 λ_{b1} 分别与各自的中心光载波 λ_a 、 λ_b 一起进入到 PD(光电二极管)中,经光/电转换后生成两路携带无线信号的 40 GHz 毫米波信号。图 8 所示为其中一路毫米波信号。该无线毫米波信号由

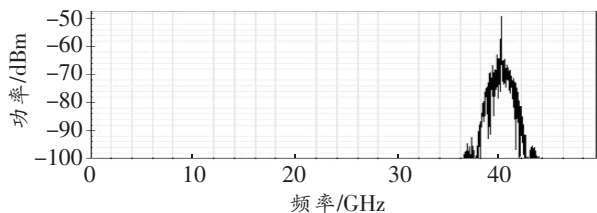


图 8 携带数据的 40 GHz 射频信号频谱图

天线发送给无线终端。对无线信号的传输进行检测,可将携带无线信号的毫米波信号与 40 GHz 本振信号混频,通过低通滤波器后得到无线信号并对其进行误码检测,眼图如图 9 所示。眼图比较清晰

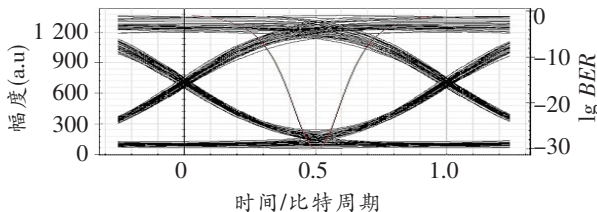


图 9 无线数据信号传输的眼图

且眼图张开比较大,说明信号的误码率比较低,间插复用信道间的串扰比较小;另一路无线业务信号与此类似。对于有线信号,通过中心波长为 λ_{a2} 和 λ_{b2} 的光滤波器,滤出有线信号的边带,经 PD 光/电转换后,可恢复有线信号,图10所示为检测到的信号

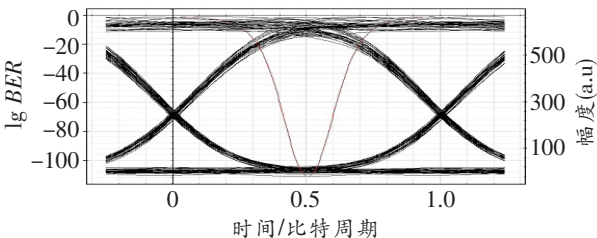


图 10 有线数据信号传输的眼图

眼图。由图可见,眼图比较清晰且眼图张开比较大,说明信号的 BER 比较低,间插复用信道间的串扰比较小。另一路有线业务信号与此类似。

4 结束语

采用双边带调制和频率间插复用技术,设计了一个 DWDM-ROF 系统,可同时将 N 个经过双边带调制的毫米波信道间插复用在一起,充分利用光信道的频谱资源,提供更多的数据业务服务。本文采用两个经过双边带调制的毫米波信道间插复用的 DWDM-ROF 系统,同时利用 FBG 和滤波器设计了一种解复用器结构。实验所得到的眼图比较清晰,表明系统信道间串扰对系统影响不大,同时也验证了所设计的解复用器在系统中应用的可行性。在 DWDM-ROF 系统中采用双边带调制技术和频率间插复用技术可以极大地提高频谱的利用率,有效地提高整个系统的性能。

此外,不同载波的信号间插在一起经过长距离的光纤传输后,在传输光纤中由于非线性效应产生了新的频率分量,即四波混频现象。在一般的 WDM 系统中,采用等间隔复用所产生的四波混频现象比较严重,因此可采用非均匀间隔复用系统,从而提高传输中的信号质量。综上所述,在未来高速率、多数据业务通信浪潮下,采用间插复用 DWDM-ROF 技术的光通信系统将具有良好的发展前景。

参考文献:

- [1] Ogawa H, Polifko D, Banba S. Millimeter-wave fiber optics systems for personal radio communication [J]. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1992, 40(12): 2285-2292.
- [2] Noel L, Wake D, Moodie D G, et al. Novel techniques for high capacity 60 GHz fiber-radio transmission system [J]. IEEE Trans Microw Theory Tech, 1997, 45(8):1416-1423.
- [3] Chen Xinqiao, Li Ruitao. A DWDM-ROF system based on frequency interleaving and SSB modulation [A]. Information Science and Engineering (ICISE) 2010 [C]. Hangzhou, China; IEEE, 2010. 10(1109): 1688-1691.
- [4] Elbers Grobe Klaus, Peter Jorg. PON evolution from TDMA to WDM-PON [A]. Optical Fiber Communication/National Fiber Optic Engineers Conf 2008 [C]. San Diego, Amarica; OSA,2008. 4528293.
- [5] Li Mo, Chen Hongwei. DWDM based frequency interleaved optical distributing system merging wired and wireless services [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2009, 21(15):1048-1020.