

# 基于窄带光纤光栅的微波载波单边带调制

沈一春, 章献民, 陈抗生

(浙江大学信息与电子工程学系, 浙江杭州 310027)

**摘 要:** 利用窄带光纤光栅简单而有效地实现了 RoF 系统中单边带调制, 克服长距离传输时的色散损耗. 分析了 RoF 系统中双边带调制对系统带来的影响, 以及单边带滤波对窄带光纤光栅反射光谱和反射率的要求. 研究了采用基于窄带光纤光栅的单边带调制后, 对不同调制方式、不同调制速率、不同传输距离的 RoF 传输系统性能的改善情况. 实验研究表明, 光纤光栅单边带调制在以 16QAM 调制的 15GHz RoF 系统中传输 25km 后, 信噪比与双边带调制相比可提高约 4dB.

**关键词:** 微波光子学; RoF 系统; 单边带调制; 光纤光栅

**中图分类号:** TN832+ . 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 05-0871-04

## Narrow-Band Fiber Bragg Grating Based Single Sideband Microwave Modulation

SHEN Yi-chun, ZHANG Xian-min, CHEN Kang-sheng

(Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

**Abstract:** Single sideband optical modulation in radio over fiber system is implemented simply and effectively by the narrow band fiber Bragg grating to decrease the dispersion penalty in long distance transmission. The effect of double sideband on the performance of radio over fiber system is theoretically analyzed, and the requirements of single sideband filtering to reflective spectrum and reflectivity of narrow band fiber Bragg grating are discussed. Using the narrow band fiber Bragg grating based sideband modulation, the improvement of transmission performance of radio over fiber system with several different modulation formats, modulation speeds, and transmission distances is investigated. The experiment results show that the signal noise ratio is enhanced about 4dB on double sideband modulation in the 25 km 15GHz radio over fiber system with 16QAM modulation.

**Key words:** microwave photonics; radio over fiber system; single sideband modulation; fiber bragg grating

### 1 引言

在移动通信、宽带无线接入等系统中, RoF (Radio over fiber) 系统具有高容量、低功耗、低成本、易安装等优点, 近年来正成为人们研究的热点<sup>[1, 2]</sup>. 由于日益增长的宽带移动通信的需要和在较低频段的拥挤, RoF 系统中的无线频率也越来越多的从低频向高频发展, 以提供更大的传输容量和更快的传输速率<sup>[3]</sup>. 另一方面, 宽带无线接入网等的发展也要求 RoF 系统具有更长的光传输距离. 然而, 在长距离高频微波 RoF 系统中, 传统的光载波双边带调制会引起严重的色散问题, 这大大降低了系统性能. 对此, 人们提出使用双电极 MZM 调制器结合耦合器进行单边带调制, 以减少色散影响, 但这增加了 RoF 系统的成本<sup>[4]</sup>. 与文献 [5, 6] RoF 系统的单边带调制中使用的 FP 滤波器和波长自适应单边带滤波器相比, 由于光纤光栅具有低插入损耗、简易等优点, 也被用于毫米波 RoF 系统中的单边带调制<sup>[7]</sup>. 但是, 在微波 RoF 系统中, 由于载波与边带的频率差较小, 使用一般的光纤光栅进行边带滤波有困难.

难.

本文分析了微波 RoF 系统中双边带调制引起的色散, 利用窄带光纤光栅实现了高频微波 RoF 系统单边带调制, 对双边带调制和光纤光栅单边带调制在不同传输距离、不同数字调制方式、不同数据调制速率下进行了分析比较, 最后研究了在双边带调制和光纤光栅单边带调制下系统的信噪比与调制速率的关系.

### 2 微波 RoF 系统中的色散影响

随着调制微波频率的增加, 为了减小发射机啁啾的影响, 在 RoF 系统中越来越多地采用外置调制器进行微波的调制. 设调制器的入射光功率为  $P_{in}$ , 没有数据调制时经过微波正弦弱调制 (调制系数  $m \ll 1$ ) 后出射光功率可表示如下:

$$P_{out} = P_{in} / 2 (1 - m \cos 2\pi f_m t) \quad (1)$$

式中,  $f_m$  为调制的微波频率.

双边带调制信号在  $L$  长的光纤上传输, 经过光电 PIN 管探测后, 探测到的微波功率正比于<sup>[8]</sup>:

$$P_m \propto \cos^2(\pi \lambda^2 D L f^2 / c) \quad (2)$$

式中,  $\lambda$  是光载波波长,  $D$  是光纤色散系数,  $c$  是真空中光速。

图 1 是探测到的微波功率在不同频率、不同传输长度下的响应图。计算参数如下: 光载波波长  $\lambda = 1550\text{nm}$ , 光纤色散系数  $D = 16\text{ps}^2/\text{nmkm}$ 。从图 1(a) 可以看出在微波频率较低时, 双边带调制光纤色散影响不太明显, 但当在微波频率增加到大约  $10\text{GHz}$  附近时, 色散就会引起微波功率的损耗。在  $25\text{km}$  公里光纤传输, 微波频率为  $12.5\text{GHz}$  时, 色散引起的损耗达到了  $55\text{dB}$  以上。从图 1(b) 可以看出, 在高频微波调制时, 长距离传输双边带调制信号也会引起色散损耗, 频率越大引起的色散损耗点就越多。可见, 传统双边带调制时, 长距离高频微波 RoF 系统中存在着色散损耗。

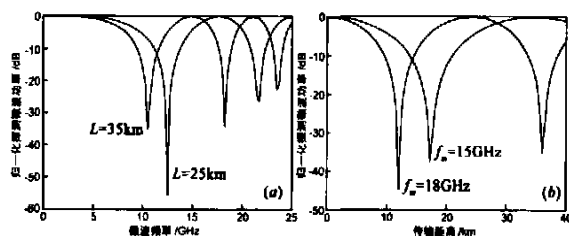


图 1 归一化微波功率随着频率和传输长度变化的响应图

在 RoF 系统中, 光纤光栅可以用于实现单边带调制, 从而减小色散, 若光纤光栅作为带通滤波器, 其带宽  $f_B$  必须满足如下条件:

$$2f_d < f_B < 2f_m \quad (3)$$

其中  $f_d$  为信号调制速率对应的频率。对于高频微波 RoF 系统而言, 其微波频率  $f_m$  在  $10\text{GHz}$  左右, 如此频率在光域中滤波, 光纤光栅的带宽必须很窄。而且光纤光栅的反射光谱要求很陡, 从而提高 RoF 系统的频谱利用率。

经过滤波后, 设光纤光栅的中心波长反射率为  $R_f$ , 则滤波后的单边带幅度抑制比为:

$$r = \sqrt{1 - R_f} \quad (4)$$

其单边带(SSB)信号的功率传递函数可以表示为<sup>[9]</sup>:

$$H = \left( \frac{1-r}{1+r} \right)^2 \sin^2 \phi_{DP} + \cos^2 \phi_{DP} \quad (5)$$

其中:  $\phi_{DP} = (1/2) \beta_2 (L/M) (2\pi f_m)^2$

这里,  $\beta_2$  为光纤群速度色散系数,  $M$  为延伸因子。

图 2 为经过光纤光栅

带通滤波后探测到微波

损耗在不同频率的响应

图, 这里光纤长度  $L$  为

$60\text{km}$ , 光纤色散群速度系

数  $\beta_2$  为  $20.393\text{ps}^2/\text{km}$ , 延

伸因子为 10。曲线 1, 2, 3

对应着光纤光栅反射率

$R_f$  分别为 0.99, 0.5, 0.1。

从图中可以看出, 随着光

纤光栅反射率的提高,

RoF 系统的色散得到了有效的改善。

在光纤光栅反射率  $R_f$  为

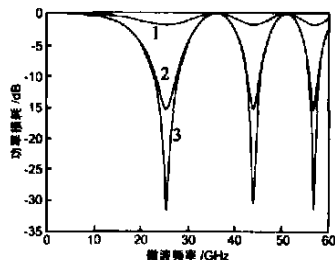


图 2 光纤光栅滤波后的探测微波损耗与微波频率的关系图

0.99 时, 由于色散带来的最大功率损耗仅为  $1.6\text{dB}$ 。

### 3 窄带光纤光栅单边带调制实验和分析

为了减少微波 RoF 系统带来的色散影响, 这里采用窄带光纤光栅对调制信号在光域中实现单边带调制, 实验装置如图 3 所示。1550nm 的 DFB 激光器为光源, 其线宽为  $1\text{MHz}$ 。Mach Zehnder 电光调制器作为系统的微波强度调制器, 数字调制微波信号由 Agilent E8267C 矢量信号发生器 (PSG) 产生, PC 为偏振控制器, 布拉格光纤光栅 (FBG) 用于滤除信号的一个边带, Agilent 86141B 光谱分析仪 (OSA) 用于监测光栅滤波后的单边带信号, 光隔离器 (ISO) 是减少经光栅反射的光对调制器的影响。单边带信号经过掺铒光纤放大器 (EDFA) 放大后, 由 1:99 的耦合器射入长距离光纤 (Fiber), 光功率计 (Powermeter) 用于监测信号功率, 在传输长距离光纤后, 经宽带光电探测管 (PD) 转换为微波信号, 实验中 PD 的带宽为  $20\text{GHz}$ , 探测后的微波信号经过微波放大器 (MA) 后进入 Agilent E4407B 射频频谱分析仪, 这里 Agilent E4407B 射频频谱分析仪 (ESA) 可用做下变频器, 高频微波信号下变频为  $70\text{MHz}$  的中频信号, 中频信号再经过 Agilent 89600S 矢量信号分析仪 (VSA) 分析, 然后与计算机 (Computer) 相连, 可以通过 Agilent 89601 软件对信号进行分析。

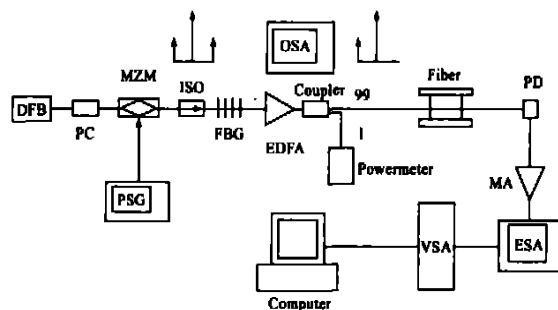


图 3 实验系统装置图

实验中, 微波调制频率  $f_m$  为  $15\text{GHz}$ , 我们使用了  $20\text{dB}$  带宽为  $0.19\text{nm}$  ( $23.75\text{GHz}$ ) 窄带光栅作为滤波器, 其中心波长反射率  $R_f$  为 0.99, 反射光谱图如图 4 所示。图 5 为  $15\text{GHz}$  微波调制信号经过光栅滤波后形成的单边带光谱图, 从图中可以看出光纤光栅很好地滤除了其中一个边带。

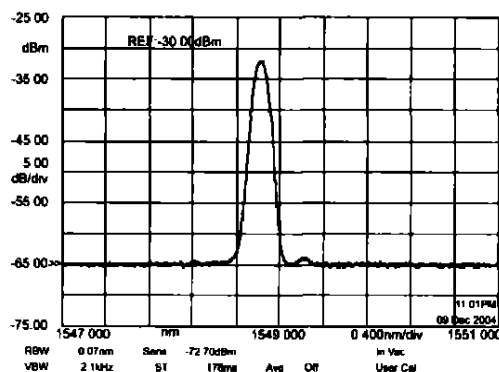


图 4 光纤光栅反射光谱图

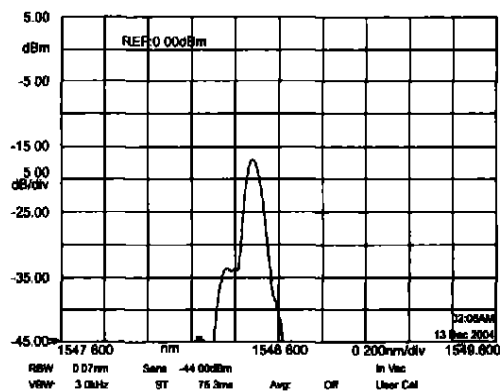


图 5 15GHz 单边带信号光谱

为了比较微波 RoF 系统中双边带调制( DSB) 和单边带调制( SSB) 对系统带来的影响, 我们在入射功率一定情况下研究了不同调制方式、不同调制速度、不同传输距离下的单边带和双边带调制传输性能。图 6 为 15GHz 微波载波调制方式为 QPSK、调制速度为 5Mbit/s 的信号经过 25km 传输后得到 I-eye 眼图。可以看出, 与单边带调制相比, 双边带调制后的信号引起了失真, 这正是由于双边带调制信号在光纤中传输色散

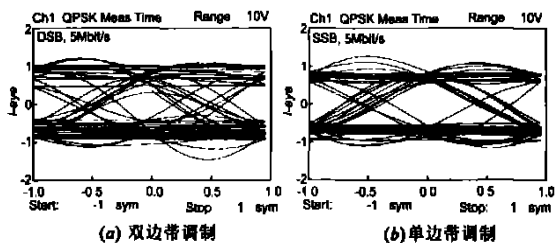


图 6 15GHz 微波调制信号在 5Mbit/s QPSK 时传输 25km 后的眼图

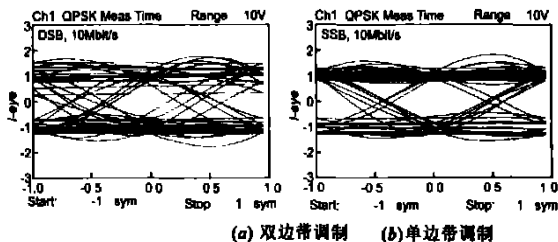


图 7 15GHz 微波调制信号在 10Mbit/s BPSK 时传输 25km 后的眼图

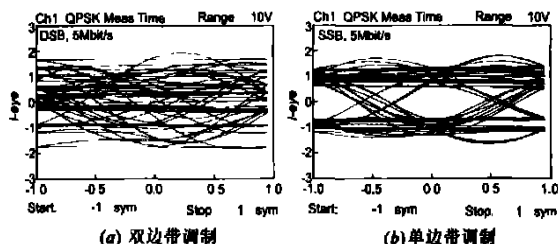


图 8 18GHz 微波调制信号在 5Mbit/s BPSK 时传输 35km 后的眼图

引起的结果。在 BPSK 的调制方式下, 10Mbit/s 的数字调制信号的眼图如图 7 所示, 双边带调制引起的失真变大, 这是由于调制速率增大的缘故, 而单边带调制信号则得到了很好的传输。但是当微波频率增加至 18GHz, 传输距离增大到 35km, 5Mbit/s 速率 BPSK 双边带调制信号几乎无法传输, 其眼图如图 8 所示, 这一结果与理论分析相符合(如图 1), 在图 1 中 18GHz 高频微波调制信号在传输 35km 后由于色散衰减探测到的信号功率有着很大的衰减。但是经过光纤光栅滤波后, 单边带调制信号很大程度上减少了色散的影响, 在经长距离传输后依旧具有良好的性能, 如图 8 所示。为了定量的研究光纤光栅单边带调制对系统性能的改善, 我们研究了在 15GHz 微波调制, 调制方式为 16QAM 时, 传输距离为 25km 后单边带调制信号和双边带调制信号的信噪比和调制速度的关系, 如图 9 所示。从图中可以看出与双边带调制相比, 光纤光栅单边带调制大大改善了系统性能, 在高速数字调制时, 其信噪比比双边带调制提高了约 4dB。

图 9 信噪比与调制速率关系图

#### 4 结论

本文提出了利用窄带光纤光栅实现微波 RoF 系统中单边带调制, 从而有效的降低传统的高频微波 RoF 系统中双边带调制带来的色散影响。研究了不同调制方式、不同调制速率、不同传输距离下光纤光栅单边带调制对系统性能的改善, 实验结果表明, 与双边带调制相比, 光纤光栅单边带调制在 15GHz 高频微波 RoF 系统中 16QAM 调制方式下传输 25km 时, 可提高信噪比约 4dB。

#### 参考文献:

- [1] Seeds A J. Microwave photonics[J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 2002, 50(3): 877- 887.
- [2] Castleford D, Nirmalathas A, Novak D, et al. Optical crosstalk in fiber-radio WDM networks[J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 2001, 49(10): 2030- 2035.
- [3] Al-Raweshidy H, Komaki H S. Radio over Fiber Technologies for Mobile Communication Networks[M]. Boston: Artech House, 2002.
- [4] Smith G, Novak D, Ahmed Z. Overcoming chromatic dispersion effects in fiber wireless systems incorporating external modulators[J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 1997, 45(8): 1410- 1415.
- [5] Kuri T, Kitayama K, Stohr A, et al. Fiber optic millimeter wave downlink system using 60GHz band external modulation[J]. J Lightwave Technol, 1999, 17(5): 799- 806.
- [6] Vour' h E, Della B, Berre D L, et al. Millimeter wave power fading compensating for WDM fiber radio transmission using a wavelength self tunable single sideband filter[J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 2002, 50(12): 3009- 3015.
- [7] Park J, Sorin W V, Lau K Y. Elimination of the fibre chromatic dispersion penalty on 1550nm millimeter wave optical transmission[J]. Elec

tron. Lett., 1997, 33(6): 512– 513.

- [ 8 ] Schmuck H. Comparison of optical millimeter wave system concepts with regard to chromatic dispersion[ J ]. Electron Lett, 1995, 31( 21 ): 1848– 1849.

- [ 9 ] Han Y, Jalali B. Time bandwidth product of the photonic time stretched analog to digital converter[ J ]. J. Lightwave Technol, 2003, 21( 7 ): 1886– 1892.

#### 作者简介:



沈一春 1979 年生于江苏如东, 1999 年在哈尔滨工业大学获硕士学位, 现为浙江大学信息与电子工程学系电子科学与技术专业博士研究生, 主要研究方向为微波光子学、光纤微波系统。



章献民 1965 年 12 月生, 1987 年毕业于浙江大学信息与电子工程学系, 1992 年获物理电子学与光电子学博士学位, 现为浙江大学信息学院教授、博士生导师, 电子信息技术与系统研究所所长, 中国电子学会微波分会委员, 目前主要研究方向为微波光子学、光纤通信及光纤传感。E-mail: zhangxm@zju.edu.cn.