

多模光纤线路的组合二阶失真分析

朱 军, 张 俊, 马 帅

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘要:在多模光纤线路上传输多路射频模拟信号会带来谐波失真和互调失真。文章通过推导多模光纤线路的谐波失真和互调失真表达式,分析了影响组合二阶失真的因素,进而得到接收功率的频谱特性。结果表明:在中短距离传输的多模光纤线路上,如果组合二阶失真的值小于 -50 dBc,可以采用副载波复用技术传输多路射频信号。

关键词:多模光纤;光信号传输;副载波复用;组合二阶失真

中图分类号: TN818

文献标识码: A

文章编号: 1005-8788(2011)01-0037-03

Analysis of composite second-order distortion in multimode fiber-optic links

Zhu Jun, Zhang Jun, Ma Shuai

(Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing, Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: Harmonic and intermodulation distortions may be resulted from the transmission of multi-channel RF analog signals on multimode fiber-optic links. In this paper, the factors causing composite second-order distortions are analyzed and thus the spectrum characteristic of the received power obtained on the basis of deducing the expressions of the harmonic and intermodulation distortions in multimode fiber-optic links. The results show that multi-channel RF signals can be transmitted over short or middle-range multimode fiber-optic links by using the subcarrier multiplexing technology when the composite second-order distortion value is below -50 dBc.

Key words: multimode fiber; optical signal transmission; subcarrier multiplexing; composite second-order distortion

0 引 言

近年来,在光通信网的短程应用中,如何提高多模光纤带宽距离积的应用研究很多^[1-4]。为了提高带宽,研究精确的光纤信道传输模型^[5]显得尤为重要。常用的方法是基于耦合功率流方程,采用这种方法可以描述数字脉冲的传输^[6],但是考虑模拟信号或基带、射频信号传输时,则存在一定的局限。在这种情况下,需要考虑传输电场信号的方法,提出基于多模光纤的电场传播模型,模型中考虑不同的光源损耗,包括时域相干光源、空间相干光源、光源啁啾参数、模内、模间色散和模式耦合等诸多因素的影响^[7]。本文基于电场传播模型方法得到了多模光纤线路的组合二阶失真,分析了在多模光纤上传输宽带射频信号的情况,具体分析估计了多模光纤线路中的二阶谐波失真和互调失真,并给出了分析结果,为光通信网络中多模光纤的应用提供了参考。

1 光接收功率分析

基于文献[7]中多模光纤线路的传输函数,线性频响表明了光纤传输宽带无线电信号的潜力。在实

际工程应用中,对于在多模光纤线路中传输的模拟信号,分析其非线性的谐波、互调失真是必不可少的,其中组合二阶失真是主要的失真指标之一。采用副载波复用技术时,调制信号由多路射频信号组成。图 1 所示为多模光纤线路示意图,该线路由光源、光外部调制器、多模光纤和光检测器组成。假设调制信号由频率为 f_1 和 f_2 的两个射频信号组成,则已调波信号可以表示为

$$\sqrt{S(t)} = \sqrt{P} \left\{ 1 + \frac{m_0}{4} (1 + j\alpha) \cdot [\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t)] \right\}, \quad (1)$$

式中, P 为平均传输光功率; m_0 为调制系数; α 为光源啁啾参数。

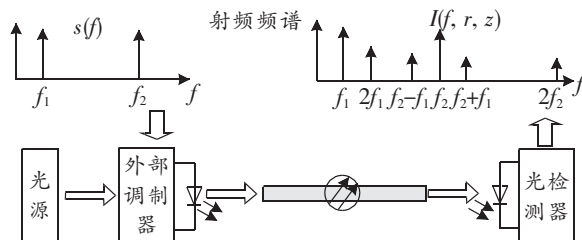


图 1 多模光纤线路示意图

图 1 中调制信号通过外部调制器调制之后经过

收稿日期:2010-09-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60972040);安徽省高等学校省级自然科学研究重点项目(KJ2010A020);安徽大学人才队伍建设经费资助项目(02203105)

作者简介:朱军(1968-),女,安徽合肥人,副教授,博士,研究方向为光通信与信号处理。

多模光纤传输,光检测器接收到的射频信号中主要包括 f_1 和 f_2 分量,其中 $\Omega_1=2\pi f_1, \Omega_2=2\pi f_2$,另外产生了谐波分量 $2f_1$ 和 $2f_2$,以及互调分量 f_2-f_1 和 f_2+f_1 ,经过多模光纤线路传输后的接收功率可表示为

$$P(\Omega)=\sum_{m=1}^M2m\sum_{n=1}^M[U_{mn}A_{mn}(\Omega_1\Omega_2)],\tag{2}$$

$$U_{mn}=(C_{mn}+G_{mn})\cdot e^{-(\alpha_m+\alpha_n)z}\cdot e^{-j(\beta_n^0-\beta_m^0)z}\cdot e^{-\frac{-(\tau_n-\tau_m)^2}{2\sigma_c^2}},\tag{3}$$

式中, m 和 $n=1\cdots M$ 代表模式数目; C_{mn} 为光注入系数,考虑满注入情形则设为 $1/M$; G_{mn} 为不同模式的耦合系数; U_{mn} 与注入系数和耦合系数之和有关。式(3)中第 1 个指数项是由光源啁啾参数引起的载波抑制效应;第 2 个指数项取决于不同模式群组对信号传输引起的干扰;第 3 个指数项取决于群延时 τ_n 和 τ_m 。 $A_{mn}(\Omega_1, \Omega_2)$ 为二阶谐波失真和互调失真的共同影响,如式(4)所示,即

$$A_{mn}(\Omega_1, \Omega_2)=A_{mn}(\Omega_1)+A_{mn}(\Omega_2)+A_{mn}(2\Omega^*)+A_{mn}(\Omega_2-\Omega_1)+A_{mn}(\Omega_2+\Omega_1)\tag{4}$$

式中, $A_{mn}(\Omega_1)$ 和 $A_{mn}(\Omega_2)$ 表示原信号的传输,展开为式(5); $A_{mn}(2\Omega^*)$ 和 $A_{mn}(\Omega_2\pm\Omega_1)$ 分别表示二阶谐波失真和互调失真分量。

$$A_{mn}(\Omega^*)=\frac{m_0\pi}{4}\sqrt{1+\alpha^2}e^{-\frac{(\Omega\beta^2z)^2}{2\sigma^2}}\cdot e^{-\frac{\Omega\beta^2z(\tau_m-\tau_n)}{2\sigma^2}}\cdot\{e^{-j[\arctan(\alpha)-\frac{\Omega^2\beta^2z}{2}]}e^{-j\Omega\tau_m}+e^{-j[\arctan(\alpha)-\frac{\Omega^2\beta^2z}{2}]}e^{-j\Omega\tau_n}\}\cdot\delta(\Omega-\Omega^*).\tag{5}$$

式(4)中涉及到的二阶谐波失真 $A_{mn}(2\Omega^*)$ 和互调失真 $A_{mn}(\Omega_2\pm\Omega_1)$ 分别由式(6)和式(7)表示,其中 Ω^* 可以表示 Ω_1 或 Ω_2 。

$$A_{mn}(2\Omega^*)=\frac{m_0^2\pi}{32}(1+\alpha^2)e^{-\frac{(2\Omega\beta^2z)^2}{2\sigma^2}}\cdot e^{-\frac{2\Omega\beta^2z(\tau_m-\tau_n)}{2\sigma^2}}\cdot e^{-j\Omega(\tau_m+\tau_n)}\cdot\delta(\Omega-2\Omega^*),\tag{6}$$

$$A_{mn}(\Omega_2\pm\Omega_1)=\frac{m_0^2\pi}{32}(1+\alpha^2)\cdot e^{-\frac{[(\Omega_2\mp\Omega_1)\beta^2z]^2}{2\sigma^2}}\cdot e^{-\frac{(\Omega_2\mp\Omega_1)\beta^2z(\tau_m-\tau_n)}{2\sigma^2}}\cdot e^{-\frac{(\Omega_2^2-\Omega_1^2)\beta^2z}{2}}\cdot e^{-j\Omega_2\tau_n}\cdot e^{-j\Omega_1\tau_m}\cdot\delta[\Omega-(\Omega_2\pm\Omega_1)].\tag{7}$$

2 组合二阶失真仿真分析

假设对于所有模式一阶色散参数都是相等的,即 $\beta_m^2\approx\beta_0^2, \forall m$ 。由分析可知:一阶色散与调制系数 m_0 成比例,那么二阶谐波失真与 m_0^2 成比例。这

就说明增大 m_0 可以提高信噪比,但同时也增大了失真。当 $\Omega_1=\Omega_2$ 时, $\Omega_2+\Omega_1$ 处的互调失真相当于 $2\Omega_2$ 处的失真。

以下分析估计二阶失真的影响,采用在有线电视(CATV)和手机系统中常用的方法。对于 CATV 系统中每一个信道的组合二阶失真部分的功率与载波功率的比值(CSO/C)一般要求 <-53 dBc。谐波失真的 CSO_1/C 和互调失真的 CSO_2/C 分别表示为

$$CSO_1/C=\frac{\{\sum_{m=1}^M2m\sum_{n=1}^M[U_{mn}\cdot A_{mn}(2\Omega^*)]\}^2}{\{\sum_{m=1}^M2m\sum_{n=1}^M[U_{mn}\cdot A_{mn}(\Omega_1)]\}^2},\tag{8}$$

$$CSO_2/C=\frac{\{\sum_{m=1}^M2m\sum_{n=1}^M[U_{mn}\cdot A_{mn}(\Omega_2\pm\Omega_1)]\}^2}{\{\sum_{m=1}^M2m\sum_{n=1}^M[U_{mn}\cdot A_{mn}(\Omega_1)]\}^2}.\tag{9}$$

为了估计非线性部分对系统性能的影响,考虑一般频率的倍数,如 $f_1=f$ 和 $f_2=4f_1=4f$ 。每一个频带接收功率的频率响应如图 2 所示,参数设置如下:5 km 的多模光纤,分布反馈式激光器的发射波长为 1 300 nm,光束的线宽均方根为 10 MHz,光源啁啾值为零,调制系数 $m_0=0.01$ 。

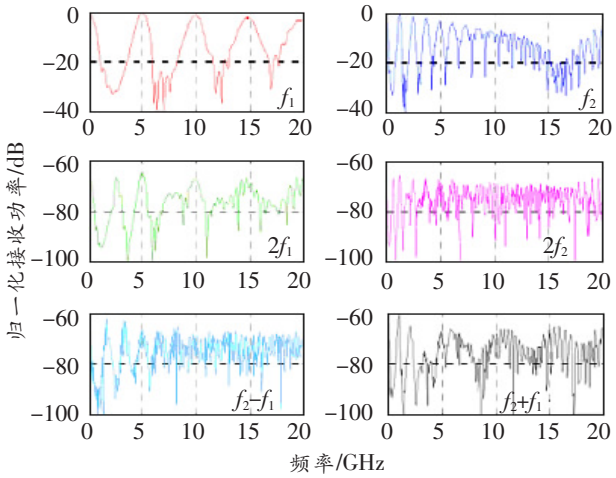


图 2 谐波失真和互调失真归一化的频率响应

由图 2 可知,调制信号 f_1 和 f_2 的接收功率为 $0\sim40$ dB,而二次谐波分量和互调分量的接收功率为 $-60\sim-100$ dB。图中多模光纤线路射频信号传输的频率响应与不同自由光谱范围的微波光子横向滤波器的输出类似,没有载波抑制效应。

由式(8)和式(9)分析计算二阶谐波失真和互调失真,结果表明:光谱相当于在基带 f_1 的线性频响,

CSO/C 的值 < -60 dBc。这就说明在这些频谱范围,谐波、互调失真的影响可以忽略,即当调制频率在线性频率响应的一个谐振频率带时,谐波、互调失真可以忽略。值得注意的是频率响应的 3 dB 带宽和谐振频率依赖于光纤传播的模式群组数目和模式延时的传播,所以通过改变线路的长度、纤芯渐变折射率剖面分布、发射波长和光束注入情况等可以调整频率响应的范围。另外,在光谱谐振频率之外组合二阶互调失真的阈值范围为 $-40 \sim -80$ dBc,足以应用在工程实际中。通过计算可以得到调制系数 $m_0 = 0.05$ 时,CSO/C_{组合失真} 的取值范围是 $-30 \sim -70$ dBc。

3 结束语

光纤具有很宽的带宽和低的传输损耗,因而适合传输多频道射频信号。本文分析了在多模光纤上传输射频调制信号时,二阶谐波失真和互调失真的影响,分析表明当调制系数 $m_0 = 0.01$ 时,若 CSO/C_{组合失真} < -50 dBc,谐波失真和互调失真可以忽略。采用副载波复用技术,对于在中短距离多模光纤线路中提高传输容量具有广泛的应用前

景。

参考文献:

- [1] 王晋飞,胡贵军,曲仁慧,等.多模光纤模式群分集复用系统[J].中国激光,2010,(12):1966-1969.
- [2] Kanprachar S,Jacobs I. Diversity of coding for subcarrier multiplexing on multimode fibers [J]. IEEE Trans Commun, 2003,(51):1546-1553.
- [3] Gu X J,Mohammed W, Smith P W. Demonstration of all-fiber WDM for multimode fiber local area networks [J]. IEEE Photon Technol Lett, 2006,(18):244-246.
- [4] Tyler E J,Kourtessis P, Webster M. Toward terabit-per-second capacities over multimode fiber links using SCM/WDM techniques [J]. J Lightwave Technol, 2003,(21):3237-3243.
- [5] 戴礼明,蔡祥宝.光纤中脉冲传输模型的研究及其软件设计[J].光通信研究,2010,(1):42-44.
- [6] Yabre G. Comprehensive Theory of Dispersion in Graded-Index Optical Fibers [J]. J Lightwave Technol, 2000,(18):166-177.
- [7] Gasulla I,Capmany J. Transfer function of multimode fiber links using an electric field propagation model: Application to Radio over Fibre Systems [J]. Opt Express, 2006,(14):9051-9070.

(上接 11 页)

系统的误码率性能与原始误码率性能相比基本不变,所以新预留子载波方法不会对系统的误码率性能造成太大影响。

4 结束语

本文针对抑制光 OFDM 系统的 PAPR,提出了一种新预留子载波算法。通过仿真分析了该算法对系统 PAPR 的抑制作用和对系统误码率性能的影响,结果表明,该算法与传统的预留子载波方法相比,其对 PAPR 的抑制作用不会随着调制阶数的增加而减小,更适用于自适应调制方式的光 OFDM 系统,具有更好的 PAPR 抑制性能,且具有更小的运算复杂度和更高的稳定性,不会对系统的误码率性能造成太大影响。

参考文献:

- [1] Armstrong Jean. OFDM for optical communications [J]. Lightwave Technol, 2009, 27 (3):189-203.
- [2] Entekhabi Hossein, Sharif Masoud, Tarokh Vahid.

On the Peak to Average Power Reduction of OFDM Signals Using Reserved Subcarriers [A]. IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications [C]. Cannes : PIM-RC,2008. 1-5.

- [3] Chen Ning , Lai Xuzhi , Lu Changbing . Controlled Clipper Method to Reduce PAPR by Tone Reservation in OFDM System [A]. The 9th International Conference for Young Computer Scientists [C] . Hunan : Young Computer Scientists, 2008. 18-21: 638-642.
- [4] Armstrong J, Schmidt B J C, Kalra D,et al. Performance of Asymmetrically Clipped Optical OFDM in AWGN for an Intensity Modulated Direct Detection System [A]. Global Telecommunications Conference [C]. San Francisco:GLOBECOM, 2006. 27:1-5.
- [5] Javro S A, Kang S M. Transforming Tucker's Linearized Laser Rate Equations to a Form that Has a Single Solution Regime [J]. Journal of Lightwave Technology, 1995,13(9):1899-1904.