

OFDM-PON 中 PAPR 的联合抑制方法

冯 敏^{1,2}, 罗清龙^{1,2}, 白成林^{*1,2}, 张 帅^{1,2}

(1.聊城大学 物理科学与信息工程学院, 山东 聊城 252059;

2.光通信科学与技术山东省重点实验室, 山东 聊城 252059)

摘要 在采用正交频分复用 (OFDM) 技术的光无源接入网 (PON) 中, 由于所产生的光 OFDM 信号具有较高的峰值平均功率比 (PAPR), 从而会对器件提出较高的要求, 同时在其高速传输过程中也易导致非线性效应。通过联合使用限幅和信号预失真的方法降低了 OFDM-PON 中信号 PAPR 的影响, 使得 50km 单波长下行 5Gb/s 的 OFDM-PON 实验系统的光信噪比大约有 4dB 的提升。

关键词 无源光网络 正交频分复用 PAPR

中图分类号: TN915.63 **文献标识码**: A **文章编号**: 1002-5561(2013)01-025-03

Joint reduction of PAPR for OFDM-PON

FENG Min^{1,2}, LUO Qing-long^{1,2}, BAI Cheng-lin^{*1,2}, ZHANG Shuai^{1,2}

(1. Physics Science and Information Engineering College of Liaocheng University, Liaocheng Shandong 252059, China; 2. The Key Laboratory of Optical Communications Science & Technology in Shandong Province, Liaocheng Shandong 252059, China)

Abstract: In passive optical access network (PON) using orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) technology, optical OFDM signal has a high peak to average power ratio (PAPR), so it has very high requirements for devices, and easily leads to nonlinear effects in the high-speed propagation. In this paper, the joint use of clipping and the signal pre-distortion reduces the influence of the PAPR, 4dB improvement of the optical SNR is obtained in the OFDM-PON experimental system, and 5Gb/s in downlink can be achieved using each wavelength in single mode fiber of 50km.

Key words: passive optical network; orthogonal frequency-division-multiplexing; peak to average power ratio (PAPR)

0 引言

随着网络服务多元化的发展, 各种业务对宽带需求不断增加, OFDM-PON 具有解决接入网技术速率瓶颈的独特优势, 而成为下一代接入网技术的极好选择。将正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技术引入到光无源接入网中, 充分利用其频谱效率高、抗干扰能力强、自适应容易、易与先进的数字信号处理技术相结合等优点, 使得 OFDM-PON 在传输速率、抗色散能力和网络管理等方

面优势明显^[1,2]。但是, 由于 OFDM 为多载波技术, 各载波的叠加传输将导致较高的峰值平均功率比 (Peak to Average Power Ratio, PAPR), 这将要求网络器件具有较宽的线性范围, 进而增加了系统成本^[3]。同时, 较高的峰值平均功率比也将加剧光纤传输的非线性, 使得系统性能下降^[4]。

本文提出利用限幅和信号预失真联合的方法实现对 OFDM-PON 中信号 PAPR 的影响进行抑制, 进而降低了网络器件成本, 提升了系统性能。

1 OFDM-PON 原理

OFDM-PON 基本原理如图 1 所示。在 OLT 中, 待传输数据经 OFDM 下行发射机转换成电 OFDM 信号送至强度调制器 (IM), 激光器 LD 产生的光载波经强度调制得到光 OFDM 信号, 不同光载波的信号亦可由

收稿日期: 2012-10-15。

基金项目: 山东省自然科学基金 (ZR2010FM043) 资助; 区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室开放课题 (2011GZKF031109) 资助; 山东省高等学校青年骨干教师国内访问学者项目资助。

作者简介: 冯敏 (1977-), 女, 硕士, 讲师, 现从事 OFDM 及光纤通信研究。

通讯作者: 白成林 (E-mail: neut2008@yahoo.com.cn)

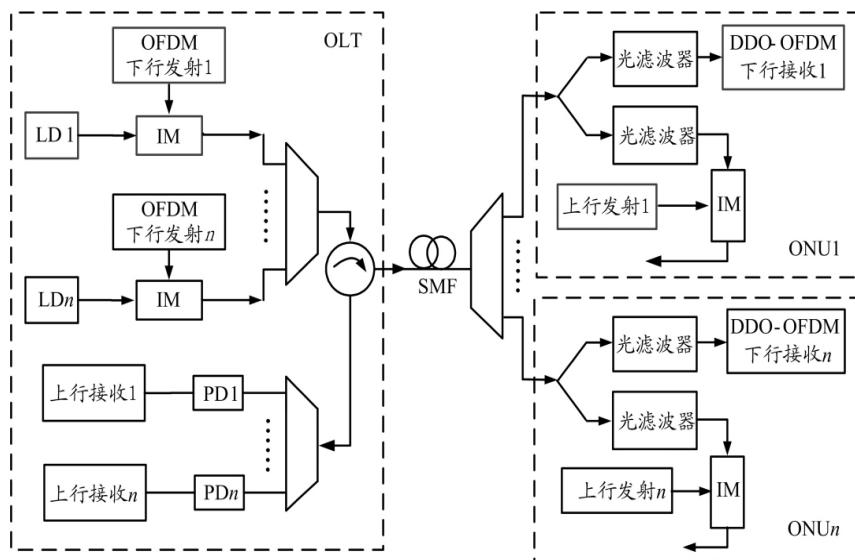
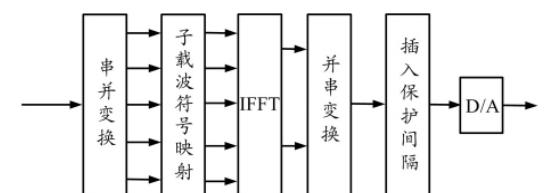


图 1 OFDM-PON 结构原理框图

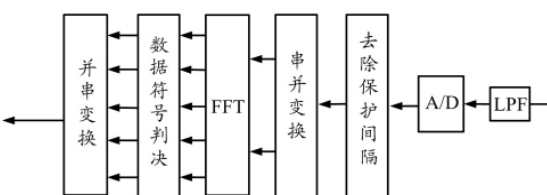
波分复用器复用经单模光纤(SMF)传输至 ONU。光信号经波分解复用器解复用后,分配给各个 ONU。在 ONU 中,光信号经滤波后进行光 OFDM 解调。考虑到 ONU 的成本,此处采用直接检测的 OFDM 方式解调,获得相应接收数据。由上行发射机对经光滤波器所得的上行光载波(或单边带)进行调制实现数据上行传输至 OLT。

图 1 中 OFDM 下行发射机和接收机的原理框图如图 2 所示。在发射端,输入数据经串并变换为并行数据,进行子载波符号映射后,利用 IFFT 实现 OFDM 的调制,最后加入保护间隔和 D/A 变换形成电域的 OFDM 基带信号。在接收端,所得电信号经 A/D 变换、去除保护间隔后,利用 FFT 变换实现 OFDM 的解调,最后将数据进行符号判决、并串变换得到原始数据。

由于 OFDM 为多载波技术,多个单载波信号叠加



(a) OFDM发射机结构原理框图



(b) OFDM接收机结构原理框图

图 2 OFDM 发射、接收机结构原理框图

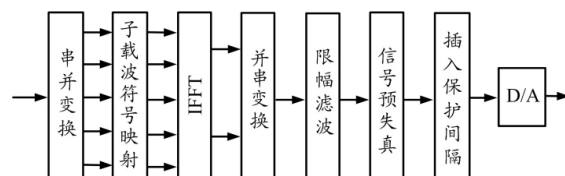
会产生较大的峰值平均功率比(PAPR)。假设 OFDM 信号 $s(t)$ 由 N 个子载波构成,子载波频率为 $f_k=k\Delta f, \Delta f=1/(NT), T$ 为原始信号周期,则 PAPR 定义为^[3]:

$$PAPR = \frac{\max \{ |s(t)|^2 \}}{E \{ |s(t)|^2 \}} \quad (1)$$

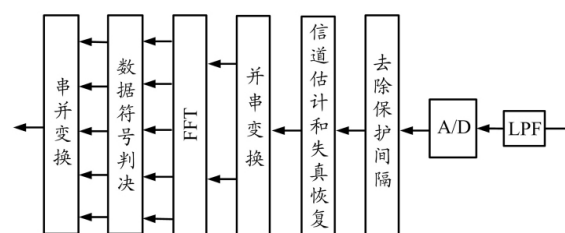
可见,这种变化很大的信号通过动态范围有限的非线性器件时,将使其产生非线性失真及带内信号畸变,从而导致整个系统性能的下降^[5]。即使不计成本采用动态范围较大的线性放大器,或对非线性放大器的工作点进行补偿,仍会存在功率放大器效率大大降低的问题^[6],因此,需要采取更好的办法抑制 PAPR 的影响。

2 限幅和信号预失真联合方法原理

采用限幅和信号预失真的系统框图如图 3 所示,其中限幅模块采用了多次限幅滤波的方法减小峰值过大的 OFDM 信号^[7,8]。



(a) OFDM发射机



(b) OFDM接收机

图 3 基于限幅和信号预失真联合方法的 OFDM 发射、接收机结构原理框图

信号预失真模块的作用是对信号进行预失真,以消除之后系统的非线性。假设马赫曾德爾调制器(MZM)偏置于 $V_{\pi}/2$, V_{π} 是半波电压。MZM 两个分支器功率平均分配,则输出的光场为:

$$E_{out}(t) = j \frac{1}{2} E_{in}(t) [\exp(j\Phi_1) + \exp(j\Phi_2)] \quad (2)$$

其中, $E_{in}(t)$ 为发射端激光器输出光场; Φ_1, Φ_2 分别为 MZM 两臂引起的附加相位。令 I_{in} 为发射端激光器光

强;MZM 两臂所加电压分别为 $V_1 = V_{DC1} + v_1(t)$, $V_2 = V_{DC2} + v_2(t)$, V_{DC1} 为上臂的直流偏置电压, V_{DC2} 为下臂直流偏置电压, $v_1(t)$ 为上臂的驱动电压, $v_2(t)$ 为下臂的驱动电压。若两臂偏压相同,驱动电压相反, $v_a(t) = v_1(t) = -v_2(t)$, 可得输出端光强为:

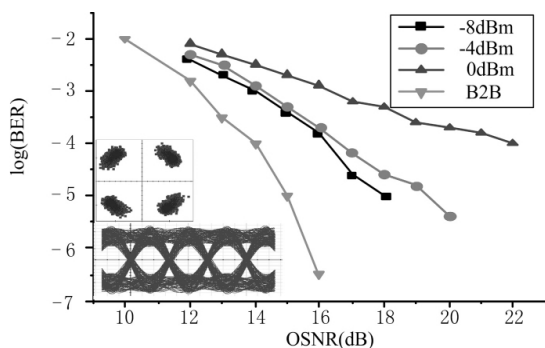
$$I_{out} = E_{out} E_{out}^* = I_{in} \cos^2 \left(\frac{\Phi_1 - \Phi_2}{2} \right) = I_{in} \cos^2 \left[\frac{\pi}{2} \frac{(V_1 - V_2)}{V_{\pi}} \right] = I_{in} \cos^2 \left[\frac{\pi v_a}{V_{\pi}} \right] \quad (3)$$

所以,为保证系统的线性,应使预失真模块输入 x_n 与输出 v_a 之间满足:

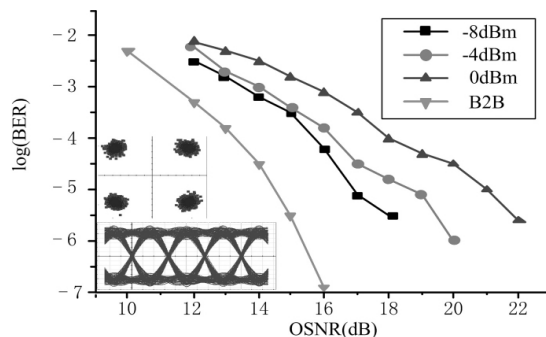
$$v_a = \frac{V_{\pi}}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{x_n}{\max\{|x_n|\}} \right)} \quad (4)$$

3 实验结果

在 OLT, 利用 MATLAB 产生经限幅和信号预失真的 4QAM-OFDM 信号, 去驱动任意波形发生器 (AWG7000) 产生 OFDM 电信号, 该信号经 MZM 对激光器产生的 193.1THz 光信号进行调制, 获得下行信号。同时将激光器产生的上行光载波与该下行信号 WDM 复用后由 50km 单模光纤传输至 ONU。在 ONU, 首先将光信号解复用, 对下行信号经光电检测器直接检测后利用实时示波器 (DPO7354) 采样, 送至计算机离线处理。所分离出的上行光载波被 ONU 上行发射机调制后送回 OLT。此处上行传输采用 ASK 调制, 上行传输速率为 2Gb/s。下行传输的系统性能如图 4 所示, 其中图 4 (a)、图 4 (b) 分别对比了采用限幅和信号预失真联合方法前后, 发射功率为 0dBm、-4dBm、-8dBm 以及背靠背传输的系统性能。由图 4(a) 可见随着发射功率的增加, 系统性能变差, 在 BER 为 10^{-3} 时, 发射功率为 0dBm 系统较 -8dBm 系统所要求信噪比要高 2.5dB, 这是由于发射功率的增加导致 OFDM 信号 PAPR 性能恶化以及 MZM 非线性严重所致。采用限幅和信号预失真联合方法系统性能如图 4(b) 所示, 在 BER



(a) 系统性能图



(b) 基于联合方法的系统性能图

图 4 下行传输的系统性能图

为 10^{-4} 时, 发射功率为 0dBm 系统所需光信噪比下降了 4dB, 可见随着发射功率的增加, 采用该联合方法对系统性能改善将越明显。

4 结束语

我们利用限幅滤波减小大峰值的光 OFDM 信号, 再利用信号预失真拓宽光调制器的线性工作区间, 消除了调制器对大峰值信号的非线性影响。通过在 OFDM-PON 中采用限幅和信号预失真联合方法减小了光 OFDM 信号 PAPR 对系统的影响, 提升了网络性能。对 50km 单波长下行 5Gb/s 的 OFDM-PON 实验系统的离线实验表明, 发射功率越高, 该联合方法对系统性能改善越明显。

参考文献:

- [1] CHOW C W, YEH C H, WANG C H, WU C L, et al. Studies of OFDM Signal for Broadband Optical Access Networks[J]. IEEE Journal on selected areas in communications, 2010, 28(6): 800-807.
- [2] YUANG MARIA C, PO-LUNG TIEN, DAR-ZUHSU, et al. A High-Performance OFDMA-PON System Architecture and Medium Access Control [J]. Journal of lightwave technology, 2012, 30(11): 1685-1693.
- [3] SHIEH W, DJORDJEVIE IOFDM for Optical Communications[M]. Burlington: Elsevier, 2010.
- [4] BENLACHTAR Y, GAVIOLI G, MRKHAILOV V, et al. Experimental investigation of SPM in long-haul direct-detection OFDM systems [J]. Optics express, 2008, 16(20): 15477-15482.
- [5] LONDON Y, SADOT D. Nonlinear Effects Mitigation in Coherent Optical OFDM System in Presence of High Peak Power[J]. Journal of lightwave technology, 2011, 29(21): 3275-3281.
- [6] 陈鹏. 自适应压扩和 IDFT 技术降低光 OFDM 系统的 PAPR[J]. 光通信技术, 2010, 34(12): 42-44.
- [7] 戈立军, 赵迎新, 傅民皓, 等. MQAM-OFDM 系统中降低峰均比与残余载波频偏同步联合算法[J]. 电子学报, 2011, 39(1): 168-171.
- [8] 要水琴. OFDM-RoF 光传输系统限幅滤波信号特性的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.