

自适应调制光正交频分复用系统的可变长保护间隔研究

张 静 邱 昆 李永刚 周 宇 张洪波

(电子科技大学宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室, 四川 成都 610054)

摘要 利用保护间隔消除由色散引起的符号间干扰 (ISI) 对于光正交频分复用 (OOFMD) 系统是必不可少的。延时在不同的传输距离和传输环境下是不同的, 采用固定保护长度的方式会硬响系统的功率和频谱利用率。提出了一种先进的自适应循环前缀 (ACP) 方法。对于多模光纤信道, 循环前缀可以根据差分模延时 (DMD) 与传输距离确定其取值下限来消除 ISI 的影响。仿真实验验证, 采取合适的保护间隔, 在多模光纤传输 10 Gb/s 达 1 km 时, 可达到与采用定长循环前缀时相同的传输性能。

关键词 光通信; 光调制; 正交频分复用; 保护间隔; 循环前缀

中图分类号 TN913.7 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20092902.0323

Adaptively Modulated Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing System with Variable Guard Interval

Zhang Jing Qiu Kun Li Yonggang Zhou Yu Zhang Hongbo

(Key Lab of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks of the Ministry of Education, UESTC, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract It is indispensable to make use of guard interval to overcome intersymbol interference (ISI) caused by chromatic dispersion for optical orthogonal frequency division multiplexing (OOFMD). However, the channel delay is not constant in different transmission distances and conditions, fixed guard interval decreases the power and spectrum availability considerably. A novel adaptive cyclic prefix (ACP) OFDM concept is proposed. The lower limit value of CP, which can be determined by differential mode delay (DMD) and transmission distance, can eliminate influence of ISI. Simulation results demonstrate that the system can transmit a data rate 10 Gb/s about 1 km with reasonable CP without sacrificing the BER performance compared with the conventional non-adaptive CP.

Key words optical communications; optical modulation; orthogonal frequency division multiplexing; guard interval; cyclic prefix

1 引 言

正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 技术由于其频谱效率高、成本低, 可以有效地对抗频率选择性衰落, 已被广泛地应用于广播视频、有线和无线网络^[1]。将 OFDM 技术应用于光通信领域后, 一种先进的光正交频分复用 (OOFDM) 技术受到关注^[2,3]。由于光纤通信中存在色散, 为了克服由色散引入的符号间干扰 (ISI)^[4], 需要在每个符号前加入一定长度的循环前

缀 (CP)。虽然 CP 的引入可以抵制 ISI, 同时也加大了系统开支。目前的 OOFDM 系统的实验和仿真都是基于定长 CP 展开的, 延时在不同的传输距离和传输环境下是不同的, 因此固定保护长度将会降低系统的功率和频谱利用率^[5]。由于自适应调制光正交频分复用 (AMOOFDM) 系统的高频谱利用率^[2,6], 本文主要研究了基于 AMOOFDM 系统的可变长 CP 技术, 即自适应 CP (ACP) 技术。

基金项目: 电子科技大学校青年基金 (JX0707) 资助项目。

作者简介: 张 静 (1982—), 女, 博士研究生, 主要从事光纤通信的研究。E-mail: zhangjing1983@uestc.edu.cn

导师简介: 邱 昆 (1964—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事光纤通信等方面的研究。E-mail: kqiu@uestc.edu.cn

2 系统原理

自适应 CP 技术是为了在不浪费功率和牺牲误

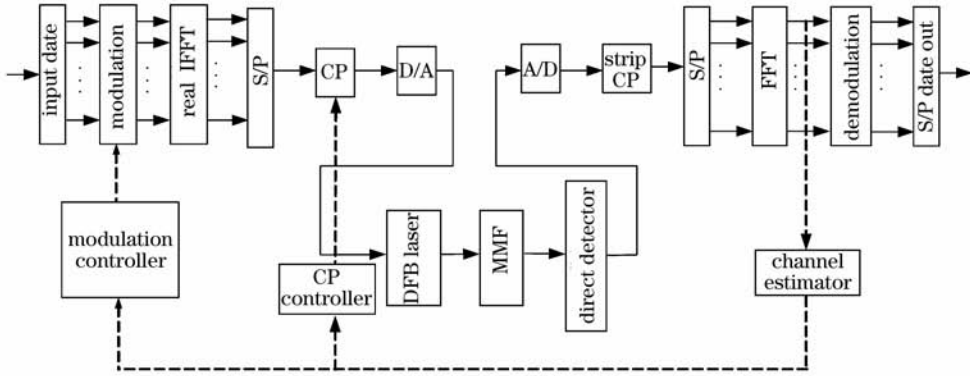


图 1 采用可变量 CP 的 AMOOFDM 系统原理框图

Fig. 1 Block diagram of AMOOFDM system with variable CP

输入信号首先通过串/并转换,经调制后的并行信号进入快速傅里叶变换(FFT)处理器。经数/模(D/A)转换后的模拟信号直接驱动激光器,经多模光纤传输后,接收端采用与发射端相同的方式进行解调等处理。用 $d_{k,n}$ 表示第 n 个符号中第 k 个子载波的信息,插入循环前缀后的 AMOOFDM 符号可以表示为^[7]

$$S_n(t) = e^{j2\pi\Delta f T_{CP}} \sum_{k=0}^{N-1} d_{k,n} e^{j2\pi k\Delta f t}, \quad (1)$$

式中 N 代表子载波个数, T_{CP} 表示 CP 时间长度, T_s 表示符号长度, 频率间隔 $\Delta f = 1/(T_s - T_{CP})$ 。当 D/A 采样速率为 r_s , 符号时间可以表示为 $T_s = N(1 + \eta)/r_s$ 。在发射端, 插入已知导频信号可以对信道进行估计, 根据信道估计的结果进行自适应调制。由选定的调制方式和传输参数确定 CP 大小, 可由循环前缀参数 η 衡量, $\eta = T_{CP}/(T_s - T_{CP})$ ^[8,9]。

3 CP 参数的选择

3.1 CP 下限的确定

为了消除由色散引入的 ISI, 需要在每个 OFDM 符号之间插入保护间隔, 该保护间隔长度一般要大于光纤信道的最大时延扩展。但时延在不同的系统参数和传输环境下不同, 因此, 现有系统采用定长保护间隔的方式会降低系统的功率和频谱利用率。

对于多模光纤信道, CP 必须足够大从而补偿由模式色散造成的差分模延时(DMD), 时间长度由 T_{DMD} 表示。因此, CP 的选择需满足 $T_{CP} > T_{DMD}$ ^[6]。当系统采用 64 路子载波传输 10 Gb/s 信号, 光纤

码率的情况, 最大化地利用光谱效率。采用可变量 CP 的 AMOOFDM 系统原理, 如图 1 所示。

DMD 为 0.5 ns/km, $r_s = 12.5$ Gs/s 时, 传输 1 km 时, 可以得到 T_{CP} 、 T_{DMD} 与 η 的关系如图 2 所示。

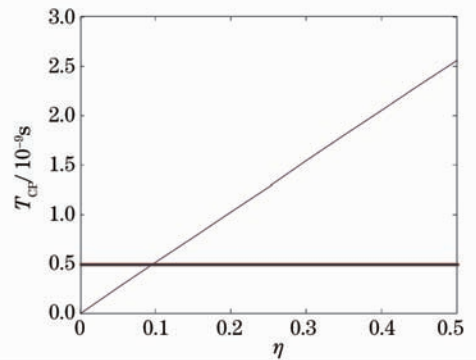


图 2 T_{CP} 与 η 的关系图

Fig. 2 Relationship between T_{CP} and η

由图可以看出, η 取 0.1 即可满足 $T_{CP} > T_{DMD}$ 。为了保证引入的 CP 不破坏子载波的正交性, CP 的时间间隔必须是晶振的整数倍周期, 其离散长度, 即样点个数 N_g 需满足^[1]

$$N_g \geq \left\lceil \frac{T_{DMD} N}{T_s} \right\rceil, \quad (2)$$

在现有参数条件下可以计算得到, $N_g \geq 7$ 时才能补偿色散造成的延时。当采用 $r_s = 12.5$ Gs/s 的采样速率, η 取 0.25 时, 对应符号长度 6.4 ns, 保护间隔固定 1.6 ns, 在光纤性能较好、短距离传输式时, 采用这种定长的 CP 方式对系统的功率和带宽是一种浪费。

3.2 CP 上限的确定

虽然 CP 需足够长来补偿 DMD, 但 CP 太长不仅会降低系统的功率和带宽利用率, 还可能降低整个系统通信性能。对于 AMOOFDM 系统, 调制方式将根据信道估计的结果进行调整, 对应于不同的

调制方式,其信噪比门限值不同。以 16QAM 和 64QAM 为例,在白高斯噪声信道情况下,它们对应的信噪比(SNR) R_{SN} 与误码率(BER) R_{BE} 如图 3 所示。

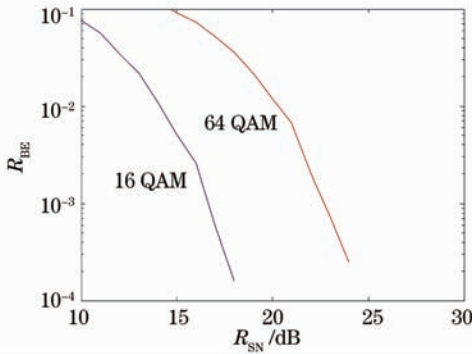


图 3 不同调制方式下信噪比与误码率的关系
Fig. 3 Total BER versus SNR for different modulation formats

可以看出,不同调制方式下,相同误码率式,对应的信噪比门限值不同。调制水平越高,其对应的信噪比门限值越大。

CP 过长导致传输有用信号的所占用的带宽和时间减少,有效信噪比降低,误码率降低。信噪比损失 l_{SNR} 与 CP 长度的关系为^[10]

$$l_{SNR} = -10\lg(1 - T_{CP}/T_s). \quad (3)$$

由此式可得,CP 大小参数 η 与 l_{SNR} 的关系如图 4 所示。

可以看出,随着 CP 大小的增加,系统信噪比损耗也在增加。当 CP 长度增加到信噪比低于相应调制方式信噪比门限时,误码率降低,系统整体性能将受到影响。因此,CP 取值存在上限,不能任意增大。

选用 3.1 中的系统参数,激光器采用直接调制 DFB 激光器^[7,11],多模光纤选用文献[12]中的参数,直接探测接收灵敏度 -26 dBm。传输损耗较小的子载波采用 16QAM,较差的选用 BPSK。传输

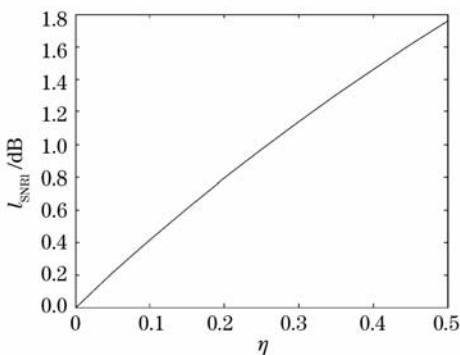


图 4 η 与 l_{SNR} 的关系

Fig. 4 Relationship between η and l_{SNR}

10 Gb/s 的数据 1 km 时,通过计算采用了 CP 长度占符号长度的 1/8,系统级性能仿真表明,总的误码率小于 1×10^{-3} ,可达现有 AMOOFDM 系统固定 CP 长度下的系统性能。

4 结 论

CP 是限制 AMOOFDM 系统性能的重要参数。通过对现有直接强度调制 AMOOFDM 系统的 CP 参数的研究,给出了自适应 CP 方案。根据传输距离、系统采用的调制方式等可以给出在不同环境下,所需保护时间间隔的长度。通过对现有 AMOOFDM 系统的仿真试验验证,采用 ACP 方式可以在保证系统传输性能的情况下,最大化地利用频谱效率。为了进一步实现实时的自适应,还可以根据信道估计结果得到延时大小,使保护间隔实时根据信道的变化做出调整。

参 考 文 献

- 1 Wang Wenbo, Zheng Kan. Broad Band Wireless Communication OFDM Technology [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2003, 12~17
王文博,郑 侃. 宽带无线通信 OFDM 技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003, 12~17
- 2 N. E. Jolley, H. Kee, R. Rickard *et al.*. Generation and propagation of a 1550 nm 10 Gbit/s optical orthogonal frequency division multiplexed signal over 1000m of multimode fibre using a directly modulated DFB. Optical Fibre Communication Conf./National Fibre Optic Engineers Conf. (OFC/NFOEC), Anaheim, CA, 2005, Paper OFP3
- 3 J. M. Tang, P. M. Lane, K. A. Shore. Transmission performance of adaptively modulated optical OFDM signals in multimode fibre links [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2006, **18**(1): 205~207
- 4 Li Yan, Xu Tianhua, Jia Dagong *et al.*. Dynamic dispersion compensation in a 40 Gb/s single-channelled optical fiber communication system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(7): 1161~1165
李 岩,徐天华,贾大功等. 一种 40 Gb/s 单信道光纤通信系统中的动态色散补偿[J]. *光学学报*, 2007, **27**(7): 1161~1165
- 5 Lifeng Lai, Zhaoyang Zhang, Guanding Yu *et al.*. An adaptive OFDM system with variable guard interval [J]. *Proc. SPIE*, 2004, **5284**: 243~252
- 6 Li Zhaoxi, Hu Guijun, Kong Lingjie. Performance analysis of a multimode fiber communication system based on the adaptive modulation orthogonal frequency division multiplexing [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4): 582~586
李兆玺,胡贵军,孔令杰. 自适应调制的正交频分复用多模光纤通信系统性能分析[J]. *中国激光*, 2008, **35**(4): 582~586
- 7 J. M. Tang, P. M. Lane, K. A. Shore. High speed transmission of adaptively modulated optical OFDM signals over multimode fibers using directly modulated DFBs [J]. *J. Lightw. Technol.*, 2006, **24**(1): 429~441
- 8 J. M. Tang, K. A. Shore. 30Gb/s signal transmission over 40 km directly modulated DFB-laser-based single-mode-fiber links without optical amplification and dispersion compensation [J]. *J. Lightw. Technol.*, 2006, **24**(6): 2318~2327

9 X. Q. Jin, J. M. Tang, P. S. Spencer *et al.* . Optimization of adaptively modulated optical OFDM modems for multimode fiber-based local area networks [J]. *Journal of Optical Networking* , 2008, **7**(3):198~214

10 J. L. Seoane, S. K. Wilson, S. Gelfand. Analysis of intertone and interblock interference in OFDM when the length of the cyclic prefix is shorter than the length of the impulse response of the channel[J]. *IEEE Comm.* , 1997, **1**(1):32~36

11 J. E. A. Whiteaway, G. H. B. Thompson, A. J. Collar *et al.* . The design and assessment of $\lambda/4$ phase-shifted DFB laser structures[J]. *IEEE J. Quant. Electron.* , 1989, **25**(6):1261~1279

12 P. Pepeljugoski, S. E. Golowich, A. J. Ritger *et al.* . Modelling and simulation of next-generation multimode fiber links[J]. *J. Lightwave. Technol.* , 2003, **21**(5): 1242~1255

'2009 海峡两岸第一届生物医学光学/生医光电学术研讨会
第一轮征文通知

会议主席:

谢树森 福建师范大学激光与光电子技术研究所所长
邱尔德 阳明大学生医光电中心与生医光电研究所所长

主办单位:

福建师范大学激光与光电子技术研究所
阳明大学生医光电中心与生医光电研究所

承办单位:

福建师范大学激光与光电子技术研究所
医学光电科学与技术教育部重点实验室

支持单位:

中国光学学会
福建省科学技术协会

会议主题

生物光子学
光子治疗和诊断
组织光学、激光和组织相互作用和组织工程
光学分子成像
生物医学光谱,显微和成像
纳米光子学
中医光子学

会议时间和地点

时间:2009年3月29日~2009年4月3日,29日(周

日)报到

地点:福建省 福州市

重要日期

论文摘要截稿日期:2009年2月28日
论文录用通知日期:2009年3月5日
会议注册启动日期:2009年3月10日

投稿须知

会议论文采用邀请报告和张贴论文两种形式。邀请报告由会议组织委员会发出邀请函件。欢迎参会代表提交张贴论文,并请作者通过电子邮件的方式提交摘要,可用中英文行文,内容以一页A4纸为限。内容包括:论文题目、作者姓名、工作单位、详细摘要和关键词等;并注明联系作者的通讯地址、电话、传真和Email地址等。在第二轮会议通知中将告知张贴报告论文的格式,请作者按照会议要求的格式准备张贴报告,并在会议期间张贴。论文摘要电子版请发到会议秘书处。

秘书处联系方式

地 址:福建师范大学 物理与光电信息科技学院
电 话:0591-88037959; 28509219
传 真:0591-83465373
电子邮件: bhli@fjnu.edu.cn; hqyang@fjnu.edu.cn

联 系 人:李步洪; 杨洪钦

邮政编码:350007

会议收费标准

	2009年3月10日前 (含10日)	2009年3月10日后
正式代表	800元	1000元
学生代表	400元	500元
陪同人员	500元	500元

注册费用包含会议期间的会议材料费、餐费和欢迎晚宴;
住宿由会议统一安排,费用自理;