

doi:10.13756/j.gtxyj.2017.01.020

无线通信技术

可见光通信 OFDM 系统中降低峰均功率比算法

叶会英¹, 王 莉²

(1. 郑州大学 西亚斯国际学院 电子信息工程学院, 河南 新郑 451150; 2. 吉林吉大通信设计院股份有限公司, 长春 130000)

摘要:在概率类 SLM(选择性映射)算法基础上,提出一种改进型算法以降低可见光通信系统的 PAPR(峰均功率比)。该算法利用 Logistic 混沌序列作为叠加训练序列,并作为 SLM 算法中的随机相位序列,这样在传送边带信息时,无需传送所有的随机相位序列,只需传送混沌序列的初始值。在接收端可以根据传送的初始值恢复传送的混沌序列,从而减少边带信息的冗余,提高系统的频带利用率和误码率性能。文章给出了算法原理及仿真结果,仿真结果表明:新算法可以有效抑制可见光通信系统的 PAPR,同时提高了系统信噪比。

关键词:光通信;发光二极管;正交频分复用;峰均功率比

中图分类号:TN929.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-8788(2017)01-0065-04

Algorithm for Reducing Peak to Average Power Ratio of OFDM System for VLC

YE Hui-ying¹, WANG Li²

(1. School of Electronics and Information Engineering, Sias International University, Xinzheng 451150, China;

2. Jilin JLU Communication Design Institute Co., Ltd., Changchun 130000, China)

Abstract: Based on the SLM algorithm, an improved algorithm is proposed to reduce the Peak to Average Power Ratio (PAPR) in the Visible Light Communication (VLC) system. Using improved Logistic chaotic sequence as superimposed training sequence, and the random phase sequences in this algorithm, the system doesn't need to transfer all the random phase sequences, which only need to transfer the initial value of chaotic sequence. At the receiver side, the chaotic sequences can be recovered according to the initial value. Therefore, this algorithm can reduce the redundancy of the side band information and improve the bandwidth utilization rate and BER performance of the system. The principle of the algorithm and simulation results are given in this paper. The simulation results show that the new algorithm can effectively suppress the PAPR of the VLC system, and improve the SNR of the system.

Key words: optical communication; LED; OFDM; PAPR

0 引 言

可见光通信是一种新兴的无线光通信技术,LED(发光二极管)在提供室内照明的同时,还可以应用到无线光通信系统中满足室内个人网络需求,其特点是可实现宽带传输,无需频率申请,且能抗电磁干扰,保密性好。但是由于 LED 的调制度很小,调制带宽非常有限,为了提升系统的传输速率,选择合适的调制技术非常重要。OFDM(正交频分复用)技术因其可以对抗频率选择性衰落、信号波形间干扰、适用于多径环境和衰落信道中的高速数据传输等诸多优点,在可见光通信系统中得到广泛应用^[1-2],但仍存在 PAPR(峰均功率比)较高的问题。

目前,降低 OFDM PAPR 的常用技术有 3 大类:信号预畸变类^[3]、概率类^[4-6]和编码类^[6]。其中,概率类技术也称为扰码类技术,常用算法有 SLM

(选择性映射)法^[6]、PTS(部分传输序列)法^[4]和 TR(子载波预留)法^[5]等。概率类技术因不会产生信号畸变而得以广泛应用,但是它需要传送大量的边带信息,因而会降低系统的频带利用率,增大系统 BER(误码率),为了解决这一问题,本文提出了一种改进的 SLM 算法,该算法在 SLM 算法的基础上利用改进型 Logistic 混沌序列作为叠加训练序列,减少了 SLM 算法的边带信息,提高了系统的频带利用率,进一步降低了系统的 PAPR 和 BER。

1 基本原理

1.1 OFDM 原理

OFDM 原理框图如图 1 所示^[7]。在发射端,信息序列经过 S/P(串/并)转换将 N 个串行符号变成 N 个并行符号,并分别对每个支路单独进行调制,调制后的并行符号经过 IFFT(快速傅里叶逆变换)

收稿日期:2016-07-28

基金项目:河南省高等学校重点科研计划资助项目(15A510013)

作者简介:叶会英(1966—),女,河南开封人。教授,博士,主要从事光电测试技术、可见光通信方面的研究。

通信作者:王莉,工程师。E-mail: 1006652359@qq.com

变成 N 个不同子载波的集合,然后再加上保护间隔,这样就构成了 OFDM 信号。

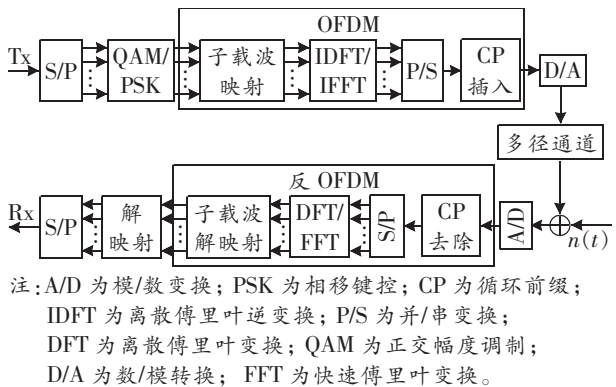


图 1 OFDM 原理框图

在可见光通信系统中,产生的 OFDM 信号经功率放大,再经过加偏置,使信号工作在 LED 的工作区。调制后信号转换成电流信号驱动 LED 发光,完成电信号和光信号的转换。在接收端,光电接收器件接收光信号,并将其转换为电信号,再经 OFDM 解调,恢复出原始信号。

1.2 OFDM 的 PAPR

设 OFDM 系统子载波个数为 N ,且 N 个子载波是相互正交的;设 $x(t)$ 为 OFDM 系统中经过 IFFT 运算后所得到的输出信号,即有

$$x(t) = \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{j2\pi f_n t}, \quad 0 \leq t \leq NT,$$

式中, X_n 为输入信号。

其 PAPR^[8] 定义为

$$PAPR(\text{dB}) = 10\lg[\max(|x_t|^2)/E(|x_t|^2)]$$

由于功率归一化的光 OFDM 信号的幅度概率密度函数可以表示为

$$f_a(y) = \begin{cases} \sqrt{\pi/2} e^{y^2/2}, & y > 0 \\ 0, & y \leq 0 \end{cases}$$

式中, y 为 OFDM 信号的幅值。而可见光通信中的 OFDM 信号为正的实信号,故有 $y > 0$ 。因此,可见光通信系统的 OFDM 信号的 PAPR 概率分布函数可表示为

$$F_{PAPR} = P\{PAPR \leq z\} = (F_{\text{power}})^N = (1 - e^{-z})^N$$

在可见光通信中,由于一个 OFDM 信号是由 N 个被调制的子载波叠加而成,所以,当这 N 个子载波中有多个子载波具有相同的相位时,叠加之后形成的 OFDM 信号就会有很高的峰值,其 PAPR 也会很高,而较高的 PAPR 对 OFDM 系统中的功率放大器、模/数、数/模转换器的要求也较高。另外,在可见光通信系统中,受 LED 非线性的影响,原有

信号会产生畸变,从而影响整个系统的性能。

1.3 SLM 算法的基本原理

SLM 算法的核心思想是通过引入冗余来改善 OFDM 系统的高 PAPR 特性。SLM 算法的优点是可以适用于任何调制方式和任何子载波个数,而且可以非畸变地降低 OFDM 系统的 PAPR;缺点是需要额外计算 $M-1$ 组的 IFFT,计算量增大。为了在接收端恢复原始信号,需要传输边带信息,因此会造成频带利用率下降,并增加了算法复杂度,所以 SLM 算法有待改进。

2 改进算法设计及仿真

2.1 改进的 SLM 算法

改进的 SLM 算法的核心思想是对经过符号映射和串/并转换的二进制数据流进行傅里叶变换展开,降低输入信号的自相关性,然后再使用 SLM 法来进一步降低可见光 OFDM 系统的 PAPR。DFT 与 SLM 相结合的原理框图如图 2 所示。

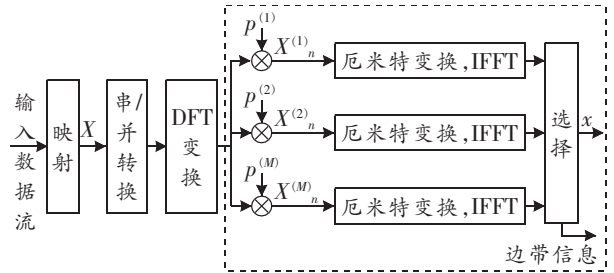


图 2 DFT-SLM 原理框图

OFDM 信号的 PAPR 与信号的自相关函数 R_k 的关系为

$$PAPR \leq 1 + \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{N-1} |R_k|$$

从上式可知,可以通过降低输入信号间的相关性来降低 OFDM 系统的 PAPR。

图 3 所示为随机相位序列数 $M=4$ 时,原始信号、SLM 信号和 DFT-SLM 信号 3 者的 PAPR 仿真

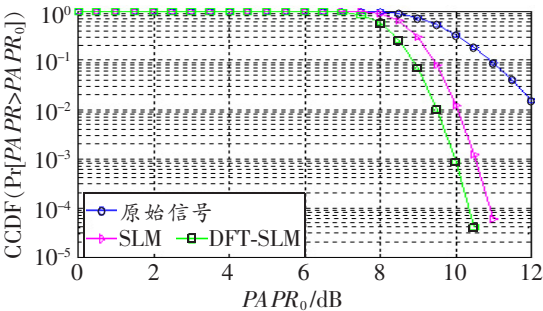


图 3 $M=4$ 时 SLM 方法和 DFT-SLM 方法的 PAPR 仿真结果

图。从图中可以看出,DFT-SLM 比原有的 SLM 算法具有更好的 PAPR 性能。

2.2 叠加训练序列的 DFT-SLM 方法

叠加训练序列的核心思想是保证总的信号功率不变,随机抽取一部分编码序列,将要叠加的序列叠加在取出的部分序列上,并保证它们的功率分配比之和为 1,即如果编码序列的功率分配比例为 b ,则其对应的叠加序列所占的功率分配比例为 $1-b$ 。基本原理框图如图 4 所示。

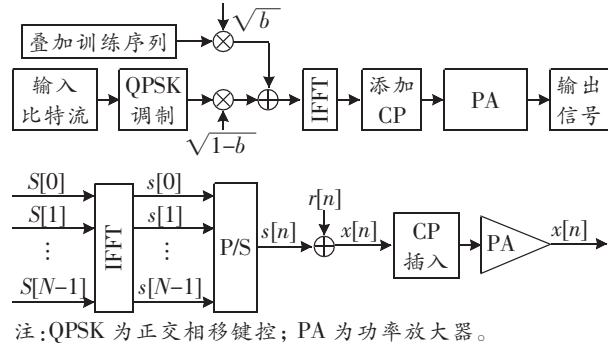


图 4 叠加训练序列的原理框图

虽然改进的 SLM 算法在引入 DFT 之后,OFDM 系统的 PAPR 有了很大的改善,但是仍然没有解决 SLM 算法的边带信息问题,由于边带信息的存在会使得 OFDM 系统的频带利用率下降,而叠加训练序列是一种从功率角度出发降低 OFDM 系统 PAPR 的方法,所以在改进 SLM 算法的基础上叠加训练序列,不仅可以使 OFDM 系统的 PAPR 下降,还可以改善原有系统的频带利用率。

在 D-DFT-SLM(叠加训练序列的改进 SLM)算法中,利用改进型 Logistic 混沌序列作为要叠加的训练序列,并且将混沌序列作为 SLM 算法要生成的随机相位序列,由此,在传送边带信息时,不再需要传送所有的随机相位序列,已知混沌序列的生成公式,只需要传送生成混沌序列的初始值即可。这样在接收端恢复原始数据时,可以根据传送的初始值恢复传送的混沌序列,从而减少了边带信息的冗余,提高了系统的频带利用率和 BER 性能。

图 5 所示为当随机相位序列数 $M=4$ 时,原始信号、SLM 信号、DFT-SLM 信号和 D-DFT-SLM 信号 4 种情况的 PAPR 仿真结果。从图中可以看出,D-DFT-SLM 相对于 DFT-SLM 方法有了更低的峰均比。

图 6 所示为原始信号、DFT-SLM 信号和 D-DFT-SLM 信号 3 者 BER 性能的比较。从图中可以看出,D-DFT-SLM 方法具有更低的 BER。

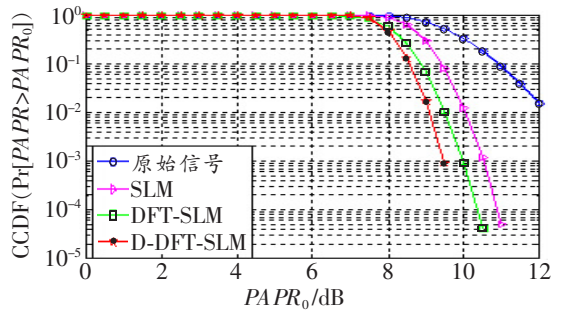


图 5 $M=4$ 时,原始信号、SLM、DFT-SLM 和 D-DFT-SLM 4 种情况的 PAPR 性能仿真结果

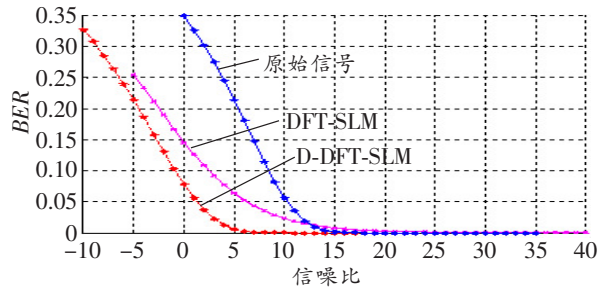


图 6 DFT-SLM、D-DFT-SLM 和原始信号 3 者的 BER 仿真结果

3 结束语

为降低可见光通信 OFDM 系统的 PAPR,在 SLM 算法的基础上,利用改进型 Logistic 混沌序列作为叠加训练序列,并作为 SLM 算法中要生成的随机相位序列,这样在传送边带信息时,不再需要传送所有的随机相位序列。已知改进型 Logistic 混沌序列的生成公式,只需传送混沌序列的初始值即可。在接收端根据传送的初始值恢复传送的混沌序列,从而减少了边带信息的冗余,提高了系统的频带利用率和 BER 性能。仿真结果表明,本文所提算法可以有效抑制系统的 PAPR,同时提高了系统信噪比。

参考文献:

- [1] 冯海燕,王旭东,吴楠,等.一种新的可见光通信光 OFDM 方法 [J]. 光通信研究,2016,(3):58-61.
- [2] 李红,杨超.基于 SSD 的 OFDM 技术在可见光通信中的应用 [J]. 光通信研究,2016,(3):62-64.
- [3] 覃远年,彭健. OFDM 系统中降低峰均功率比技术的研究 [J]. 科技视界,2016,13(22):161-162.
- [4] Goel Ashish, Gupta Prerana, Agrawal Monika. SER analysis of PTS based techniques for PAPR reduction in OFDM systems [J]. Digital Signal Processing, 2013,23(1):302-313.
- [5] 韩东升,杨维,刘薇. 基于最大似然估计降低系统峰均

功率比的子载波预留算法 [J]. 高技术通信, 2014, 24 (4): 373—378.

[6] Qu Daiming, Li Li, Jiang Tao. Invertible subset LD-PC code for PAPR reduction in OFDM systems with low complexity [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2014, 13(4): 2204—2213.

[7] Elgala H, Mesleh R, Haas H, et al. OFDM visible

light wireless communication based on white LEDs [C]//Proc of the 64th IEEE Vehicular Technology Conference(VTC). Dublin, Ireland: IEEE, 2007: 22—25.

[8] 高天. 降低 OFDM 系统中峰均比方法的研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2012.

(上接第 43 页)

8 GHz,说明随着光电探测器数目的增加,回波损耗改善较大,相较于传统结构优势更明显。

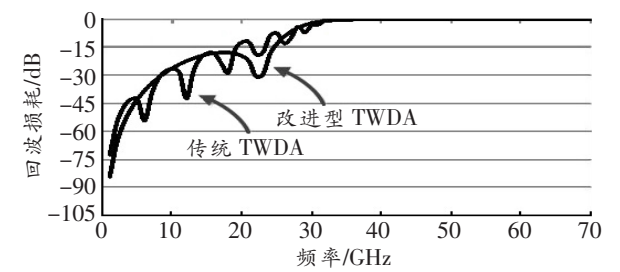


图 11 8 元 TWDA 回波损耗

4 结束语

本文基于行波光电探测器的机理,设计了一种改进型 TWDA 结构。在 EDA 仿真平台上就单个及多个改进型 TWDA 的阵列单元进行了仿真实验并作了分析研究,综合实验结果表明,这种改进型 TWDA 能很好地精简电路结构,改善电路匹配性,提高器件的响应速度。另一方面,整个阵列的工作带宽和功率合成并没有受到影响。研究结果表明,按此结构制造的新型光电探测器成功地解决了传统 TWDA 集成过多光电二极管时带来的一系列问题,能够很好地改善器件性能。

参考文献:

[1] 张旭,何锡源,王德明. 衬底温度及蒸发条件对有机光电探测器性能的影响 [J]. 光电子·激光, 2012, 23 (03): 439—444.

[2] Beling A, Chen H, Pan H P, et al. High - Power Monolithically Integrated Traveling Wave Photodiode Array [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2009, 21(24): 1813—1815.

[3] Giboney K S, Rodwell J W, Bowers J E. Traveling-wave photodetectors [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1992, 4(12): 1363—1365.

[4] Goldsmith C L, Magel G A, Baca R J. Principles and Performance of Traveling-wave Photodetector Arrays [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1997, 45(8): 1342—1350.

[5] Goldsmith C L, Magel G A, Gregory A, et al. Coherent combining of RF signals in a traveling-wave photodetector array [J]. Photonics Technology Letters, 2002, 9(7): 988—990.

[6] Magel G A, Goldsmith C L, Baca R J. Four-element traveling wave photodetector array for high-performance analog fiber-optic links [C]// OFC 1997. New York, US: IEEE, 1997: 207—208.

[7] Shi J W, Kuo F M, Wu C -J, et al. Extremely high saturation current-bandwidth product performance of a near-ballistic uni-traveling-carrier photodiode with a flip-chip bonding structure [J]. IEEE J Quantum Electron, 2010, 46(1): 80—86.

[8] Shi J W, Wu C Y, Hi P H, et al. A Linear Cascade Near- Ballistic Uni- Traveling- Carrier Photodiodes with Extremely High Saturation-Current Bandwidth Product (6825Ma-GHz, 75 mA/91 GHz) under a 50 Ω Load [C]//National Fiber Optical Engineers Conference. San Diego, US: OSA, 2010.

[9] Ito H, Nagatsuma T, Ishibashi T. Recent development on Uni-Traveling-Carrier Photodiodes and their applications [C]//The 14th Annual Meeting of the IEEE. New York, US: IEEE, 2001.

[10] Ito H, Muramoto Y, Furuta T, et al. High-speed and High-Output-Power Uni-Traveling-Carrier Photodiodes [C]// LEOS 2005. New York, US: IEEE, 2005.