

一种降低可见光通信系统 PAPR 的 P-OFDM 方法

赵 瑶,王 翀,高 伟,张进玉,王 姣
(西安邮电大学 电子工程学院,西安 710121)

摘要:针对可见光通信系统中高峰均比(PAPR)问题,提出了一种极性光正交频分复用(P-OFDM)方法。发送端采用极坐标转换思想,将通过快速傅里叶逆变换(IFFT)变换器得到的时域复信号的实部和虚部,转换成极坐标下的幅值和相位,经过压缩变换后同时在信道中进行传输,以满足可见光通信传输信号为实正的要求;接收端接收到的信号通过扩展变换进行反压缩,经逆极坐标转换和快速傅里叶变换(FFT)恢复出原始信号。仿真结果表明 P-OFDM 系统不仅能有效地降低系统的峰均比,而且频谱利用率和误码性能也得到了改善,系统整体性能得到有效提升。

关键词:可见光通信;P-OFDM;极性正交频分复用;峰均比;压扩变换

中图分类号:TN929.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2018)03-0005-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.03.002

P-OFDM methods for reducing PAPR in visible light communication

ZHAO Yao, WANG Chong, GAO Wei, ZHANG Jinyu, WANG Jiao

(School of Electronic Engineering,
Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: In the visible light communication system, a new orthogonal of polar orthogonal frequency division multiplexing (P-OFDM) method is proposed for the peak-to-average ratio (PAPR) problem. At the sending side, the idea of polar transmission, the real part and the imaginary part of the complex signal in the time domain obtained by the IFFT converter are converted into the amplitude and the phase under polar coordinates. After compressed conversion, amplitude and phase are transmitted simultaneously in the channel to meet the requirement that signals are both real and unipolar in visible light communication. At the receiver side, the received signals are decompressed by the extended transform, and the original signal are restored by the reverse polar transform and FFT transform. Through simulating, the results show that the P-OFDM system can not only effectively reduce the PAPR of the system, but also improve the spectrum efficiency and bit error rate performance. The overall performance of the system is effectively enhanced.

Key words: visible light communication; P-OFDM; polar orthogonal frequency division multiplexing; peak-to-average ratio; companding transform

0 引言

随着超宽带多媒体及高速长距离通信业务的迅猛发展,可见光通信因其信道容量大、调制速度快、保密性高和成本低等优点受到业内的广泛关注^[1]。由于

收稿日期:2017-11-16。

基金项目:国家自然科学基金(11604262)资助。

作者简介:赵瑶(1994-),女,硕士研究生,主要研究方向为研光通信与光电检测方面。

子载波的正交性,接收机可以无干扰地恢复所发送的数据,且能有效克服无线信道的多径干扰,因此正交频分复用(OFDM)技术得到了广泛的使用^[2]。OFDM技术通常采用光强调制/直接检测(IM/DD)方式实现信息传输,这要求系统中的传输信号必须满足“实、正”的要求^[3]。传统单极性光正交频分复用(O-OFDM)通常采用快速傅里叶变换/逆变换(FFT/IFFT)的算法来实

赵瑶,王翀,高伟,等:一种降低可见光通信系统 PAPR 的 P-OFDM 方法

现信号的调制/解调,通过对 IFFT 输入信号构建 Hermitian 对称来产生光 OFDM 实信号,然后利用光的单极性进而得到实正信号^[4]。常用的 OFDM 方法主要有非对称限幅光正交频分复用(ACO-OFDM)技术^[5]和直流偏置光正交频分复用(DCO-OFDM)。由于 ACO-OFDM 系统中正交幅度调制(QAM)数据的符号只在奇数子载波上进行传输,单个 OFDM 符号所承载的数据符号数目为 $N/4$ (N 为子载波数目)^[6];DCO-OFDM 系统采用奇偶载波同时进行 QAM 符号传输,传输速率较 ACO-OFDM 提高了近一倍,但是,为了使其得到实正信号的同时不产生失真,需叠加较大功率的直流偏置信号,因此该系统的能源利用率较低^[7]。另外,ACO-OFDM 系统和 DCO-OFDM 系统都存在高峰均比(PAPR)的缺点,高的 PAPR 会使信号产生非线性失真,引起子载波间的互调和带外辐射,使得各个子信道间的正交性遭到破坏、相互干扰,进而影响系统的性能^[8]。

本文提出一种极性光正交频分复用(P-OFDM)方法,采用极坐标转换的思想,将 IFFT 变换器得到的时域复信号转换为实正信号,以满足可见光通信信号传输的实正要求,再通过压缩变换在信道中进行传输。

1 传统 O-OFDM 系统

对于传统的 O-OFDM 系统,常用系统模型有 ACO-OFDM 和 DCO-OFDM 两种,具体的系统原理框图如图 1 所示。

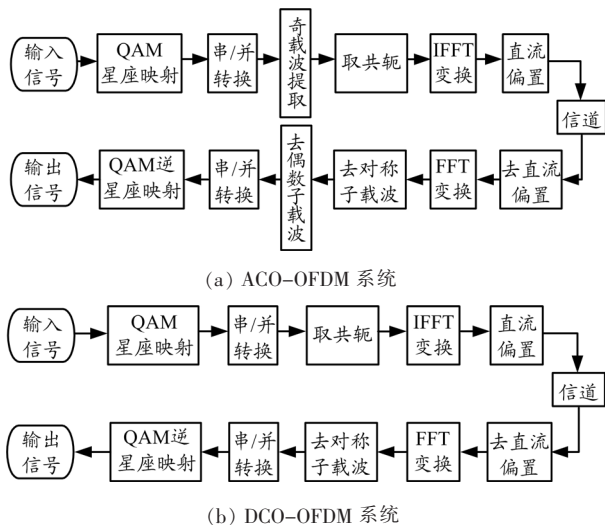


图 1 传统 O-OFDM 系统原理框图

ACO-OFDM 系统通过非对称限幅来得到实正信号,不需要叠加较高的直流偏置电压,因此该系统的均值功率较低、PAPR 值较大,传输信号易产生非线性

失真^[9]。而 DCO-OFDM 系统是通过叠加直流偏置电压来产生实正信号,直流偏置电压越大,系统的瞬时峰值功率越高、PAPR 值越大;直流偏置电压越小,系统的有效功率信号越小;削波产生的噪声影响越大,系统的误码率越高^[10]。针对这种情况,我们提出一种 P-OFDM 方法。

2 P-OFDM 系统模型

在发送端,首先采用极坐标转换思想,将通过 IFFT 变换器产生的直角坐标系下时域复信号的实部和虚部,转换成极坐标系下时域复信号的幅值和相位;把幅值和相位进行压缩变换以降低 PAPR,然后将压缩后的时域复信号的幅值和相位同时在信道中进行传输。在接收端,对于接收到的时域复信号幅值和相位进行扩展变换,再通过逆极坐标转换恢复出直角坐标系下时域复信号的实部和虚部,最后通过 FFT 变换器恢复出原始信号。该系统原理框图如图 2 所示。

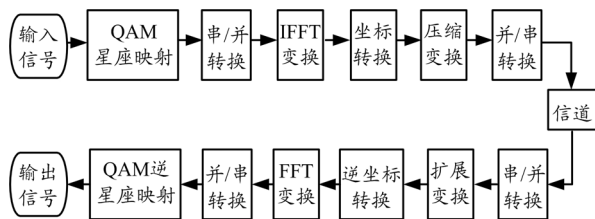


图 2 P-OFDM 系统原理框图

2.1 信号模型

基于 OFDM 信号产生原理,本文考虑具有 N 个子载波的 OFDM 系统,假设 FFT/IFFT 的运算点数为 N ,则信号在时域和频域的定义分别如式(1)、式(2)所示^[11]:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi n \frac{k}{N}}, k=0,1,2,3,4,\dots,N-1 \quad (1)$$

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi n \frac{k}{N}}, n=0,1,2,3,4,\dots,N-1 \quad (2)$$

由于 FFT 的核函数是复函数,因此无论输入信号为实信号还是复信号,经过 IFFT 之后都是复信号。我们对输入信号采用 4QAM 调制,载波数为 16 时,经过 IFFT 输出的时域 OFDM 信号如图 3 所示。

2.2 坐标转换

坐标转换是将通过 IFFT 变换器输出的时域复信号的实部和虚部经过极坐标转换得到相应的幅值和相位。转换后的相位在 $(0, 360^\circ)$ 之内,将 $(0, 360^\circ)$ 的相位值映射到 $(0, 1)$ 之间,即相位为 0° 时传输 0 值,相位为 360° 时传输 1 值。转换后的幅值和相位均为实正信号,

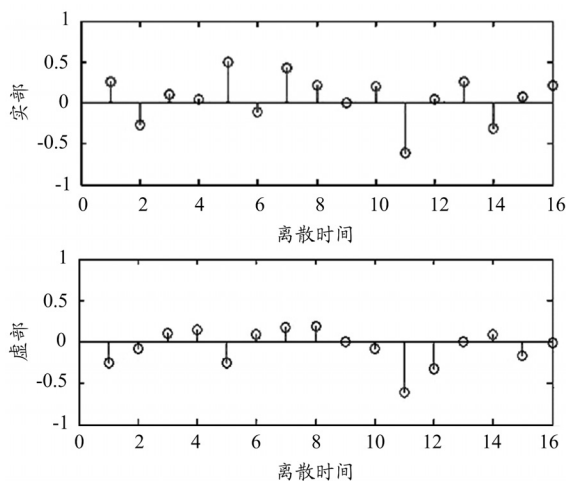


图3 IFFT 输出序列

得到的幅值和相位满足可见光通信的要求。设定子载波数为 16, 4QAM 的 P-OFDM 系统归一化的时域样值如图 4 所示, 其中 θ 的动态范围不随调制阶数的变化而改变。在接收端将极坐标系下的时域复信号的幅值和相位转换到直角坐标系中, 得到时域复信号的实部和虚部。

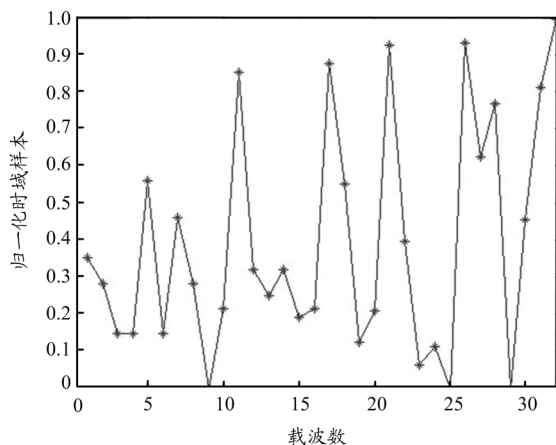


图4 P-OFDM 时域样值

2.3 压缩扩张变换

压缩扩张法是在发送端进行信号预失真处理, 将信号按照压缩函数进行相应的压缩; 在接收端, 再进行扩展变换以恢复原始信号。压缩变换和扩展变换函数如式(3)、式(4)所示^[12]。

$$s(n) = \frac{A \operatorname{sgn}(s(n)) \ln(1 + \mu |s(n)/A|)}{\ln(1 + \mu)} \quad (3)$$

$$r(n) = \operatorname{sgn}(r(n)) A' \left[\exp\left(|r(n)| \frac{\ln(1 + \mu)}{A'}\right) - 1 \right] / \mu \quad (4)$$

其中, A 、 A' 均为信号的最大幅值, μ 为压扩系数, $s(n)$ 为经过坐标转换后的信号, $r(n)$ 为经过信道传输后的信号。

3 系统性能分析

3.1 频谱利用率

基于 FFT/IFFT 变换的 ACO-OFDM 系统仅在奇载波上加载满足 Hermitian 共轭的信号, 其频谱利用率是双极性 OFDM 系统的 1/4。本文提出的 P-OFDM 系统, 加载的信号不需要满足 Hermitian 共轭, 在直角坐标转换为极坐标的过程中损失了一半的频谱效率, 系统的频谱利用率为双极性 OFDM 系统的 1/2, 是基于 FFT/IFFT 的 ACO-OFDM 系统的两倍, 与 DCO-OFDM 系统的频谱利用率相同。

3.2 PAPR 性能

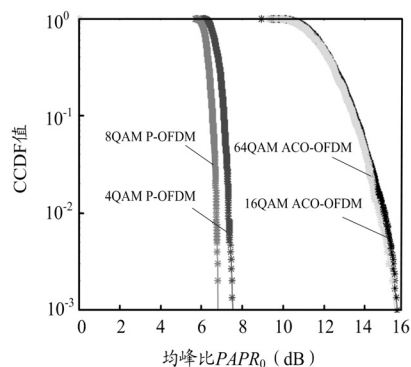
PAPR 是衡量 OFDM 系统性能的主要因素。高 PAPR 会使信号产生非线性失真, 影响系统性能。因此, 有效地降低 PAPR 能够减少系统非线性失真, 提升系统性能。PAPR 定义如式(5)所示^[13]。

$$PAPR = \frac{\max\{h^2[n]\}}{E\{h^2[n]\}} \quad (5)$$

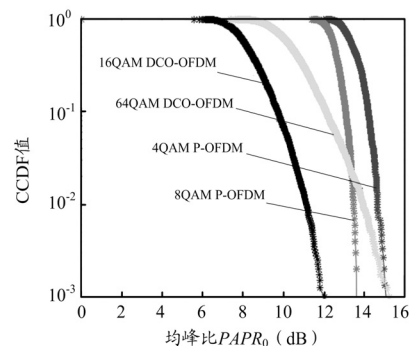
P-OFDM 系统信道中传输的是经过压缩变换的极坐标系下时域复信号的幅值和相位, 与 ACO-OFDM 系统相比有效地降低了系统的 PAPR 值。

本文设定子载波数为 256, ACO-OFDM 系统、DCO-OFDM 系统的调制方式为 16QAM、64QAM。为保证相同的传输速率, P-OFDM 系统的调制方式分别设定为 4QAM 和 8QAM。

P-OFDM 系统分别与 ACO-OFDM 系统、DCO-OFDM 系统的 PAPR 性能比较如图 5 所示。图中 $PAPR_0$ 为设定的均峰比的变换范围, 纵坐标为互补累计分布函数 (CCDF) 值, 表示光 OFDM 系统 PAPR 分布大于 $PAPR_0$ 的概率。



(a) P-OFDM 和 ACO-OFDM 系统



(b) P-OFDM 和 DCO-OFDM 系统

图5 PAPR 性能图

赵瑶,王翀,高伟,等:一种降低可见光通信系统 PAPR 的 P-OFDM 方法

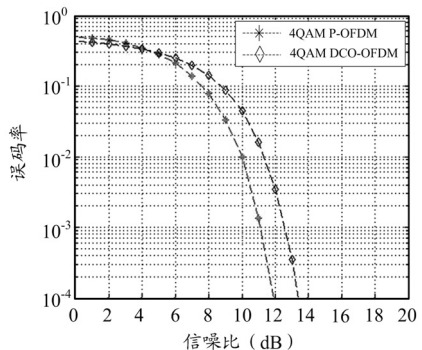
由图 5 可知,ACO-OFDM 系统的 PAPR 性能不随调制阶数的变化而变化,DCO-OFDM 系统的 PAPR 随调制阶数的增大而增大,P-OFDM 系统的 PAPR 随调制阶数的增大而减小;P-OFDM 系统的 PAPR 性能优于 ACO-OFDM 和 DCO-OFDM 系统。当 P-OFDM 系统采用 8QAM 调制时,其 PAPR 相对于 ACO 系统、DCO 系统分别改善了近 8dB、1dB。

3.3 误码性能

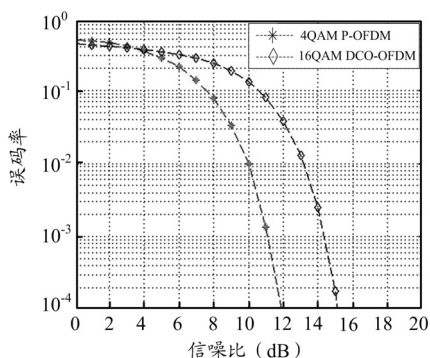
误码性能是衡量系统性能的重要指标,指的是信息在传输过程中受到的损伤程度。造成误码的因素有很多,本文主要考虑信号在传输过程中随机性差错对系统产生的影响,而不考虑突发性差错和混合型差错所带来的影响。

为保证相同的频谱利用率,P-OFDM 系统的调制方式采用 4QAM,DCO-OFDM 系统的调制方式采用 16QAM;为保证相同的调制阶数,P-OFDM 和 DCO-OFDM 系统的调制方式均采用 4QAM。在相同调制阶数和频谱利用率情况下,信噪比(SNR)和误码率(BER)的关系曲线如图 6 所示。

由图 6 可知,当 $BER=10^{-4}$ 时,相同调制阶数情况下,P-OFDM 系统比 DCO-OFDM 系统误码性能改善了约 1dB;相同频谱利用率情况下,P-OFDM 系统比 DCO-OFDM 系统误码性能改善了约 3dB。



(a) 相同调制阶数



(b) 相同频谱利用率

图 6 两系统的性能比较

4 结束语

针对传统可见光通信系统的高 PAPR 问题,本文提出了一种 P-OFDM 系统,本系统传输的是经过压缩变换的极坐标系下时域复信号的幅值和相位。仿真得出本系统的 PAPR 比 ACO-OFDM 系统、DCO-OFDM 系统分别改善了近 8dB、1dB,P-OFDM 系统比 DCO-

OFDM 系统误码性能改善了约 3dB。同时,在极坐标转换过程中输入信号不需要满足 Hermitian 共轭对称。本系统能有效地降低系统的 PAPR 值,减小系统的非线性失真,提升系统的性能,频谱利用率和误码性能相对于传统的 O-OFDM 系统都得到了改善。

参考文献:

- [1] 李超,静永健.基于 DCO-OFDM 与 PAM-DMT 的混合传输系统性能研究[J].电视技术,2016,40(4):101-104.
- [2] 彭小峰,曹阳,杨家旺,等.室内可见光通信系统中的 OFDM 与 ACO-OFDM 调制技术研究[J].光通信技术,2016,40(7):60-62.
- [3] WANG Zhaocheng, MAO Tianqi, WANG Qi. Optical OFDM for visible light communications [C]//2017 IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), July 26-30, 2017, Valencia, Spain. Piscataway: IEEE, 2017.
- [4] 路明丽,于宏毅,仵国锋.可见光通信单极性非对称限幅光 OFDM 技术研究[J].光电子·激光,2017,28(9):972-977.
- [5] ABDULKAFI A A, ALIAS M Y, HUSSEIN Y S. A Novel Approach for PAPR Reduction in OFDM-Based Visible Light Communications[C]//International Conference on Platform Technology and Service. February 13-15, 2017, Busan, South Korea. Piscataway: IEEE, 2017.
- [6] ZHANG Tian, GHASSEMLOOY Z, MA Chunyang, et al. TPAPR reduction scheme for ACO-OFDM based visible light communication systems[J]. Optics Communications, 2017, 383(1): 75-80.
- [7] WANG Q, WANG Z, DAI L. Iterative receiver for hybrid asymmetrical clipping optical OFDM [J]. Journal of lightwave technology, 2014, 32(22):3869-3875.
- [8] 纪金伟,夏玉杰.一种降低 OFDM 系统 PAPR 的低复杂度盲 SLM 方法[J].无线电工程,2017,47(5):27-31.
- [9] LI Yongxia, ZHOU Yufang, KANG Enshun, et al. A Peak to Average Power Ratio Reduction Scheme in ACO-OFDM System Employing Constant Amplitude Zero Auto Correlation and Clipping [C]//9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics, CISP-BMEI 2016, October 15-17, 2016, Datong, China. Piscataway: IEEE, 2016.
- [10] ZHANG T, QIAN S, ZHONG F, et al. Gaussian Matrix based PAPR Reduction Scheme for DCO-OFDM Systems[J]. Optik, 2017, 145(9): 513-518.
- [11] GULIA D S, GULERIA P, UMAR MD. A Novel Approach towards performance Analysis of Optical Wireless Communications using Intensity Modulated OFDM [J]. International Journal of Engineering Science and Computing, 2017, 7(6): 13402-13407.
- [12] 宋友凯,侯文君,孙小东,等.降低 OFDM 均峰比的压扩变换方法研究[J].无线电通信技术,2012,38(5):26-28.
- [13] GARG A, SAINI G. A PAPR Reduction Analysis of Various Techniques in OFDM System [C]//Micro-Electronics and Telecommunication Engineering (ICMETE), September 22-23, 2016, Ghaziabad, India. Piscataway: IEEE, 2016.