

基于 DFT 扩频的 60GHz 光毫米波 OFDM-RoF 系统

张凯明,吴新星,曾佑旭,由家林,董 泽

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要:针对正交频分复用(OFDM)信号的高峰值平均功率比(PAPR)严重影响正交频分复用-光载无线(OFDM-RoF)系统性能的问题,研究了如何利用离散傅里叶变换(DFT)扩频降低 OFDM 信号的 PAPR;理论分析了 DFT 扩频降低 OFDM 信号 PAPR 的原理;研究并设计了一种基于 DFT 扩频的 60GHz 光毫米波 OFDM-RoF 系统。仿真结果表明:与传统的 OFDM-RoF 系统相比, DFT 扩频的 OFDM-RoF 系统不仅能明显降低 OFDM 信号的 PAPR 和光纤非线性效应的影响,而且还可以提高系统的接收机灵敏度。

关键词:光载无线通信;正交频分复用;峰值平均功率比;离散傅里叶变换扩频

中图分类号:TN915.62 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2019)03-0036-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.03.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



60GHz optical millimeter wave OFDM-RoF system based on DFT spread spectrum

ZHANG Kaiming, WU Xinxing, ZENG Youxu, YOU Jialin, DONG Ze

(College of Information Science and Engineering, Hua Qiao University, Xiamen Fujian 634021, China)

Abstract: The high peak-to-average power ratio(PAPR) of orthogonal frequency division multiplexing(OFDM) signals seriously affects the performance of orthogonal frequency division multiplexing radio-over-fiber (OFDM-RoF) systems. This paper studies how to utilize discrete fourier transform (DFT) spread spectrum technique to reduce the PAPR of OFDM signals. The principle of DFT spread spectrum to reduce OFDM signal PAPR is theoretically analyzed. A 60GHz optical millimeter wave OFDM-RoF system based on DFT spread spectrum is studied and designed. The simulation results show that compared with the traditional OFDM-RoF system, DFT spread spectrum OFDM-RoF system can not only significantly reduce the PAPR and non-linear effect of the OFDM signal, but also improve the receiver sensitivity of the system.

Key words: RoF; OFDM; PAPR; DFT spread spectrum

0 引言

光载无线(RoF)通信实现了无线网与光纤有线网的无缝融合,可将宽带无线接入网的可移动性和光纤接入网的高带宽、高可靠性等优点结合起来^[1,2]。正交频分复用(OFDM)以其频谱利用率高,且能够有效对抗无线信道的多径延迟等特点,成为适合无线通信的

收稿日期:2018-09-25。

基金项目:福建省自然科学基金杰出青年基金(Nos.11166004)资助。

作者简介:张凯明(1991-),男,河北迁安人,硕士研究生,主要从事光纤通信和光纤无线通信系统方面的研究。参与国家自然科学基金青年基金项目“基于数字预补偿技术的超奈奎斯特波分复用型相干光通信系统研究”、福建省省科技厅项目“高速相干光通信系统(福建省闽江学者计划)”和福建省自然科学基金杰出青年基金项目“相干光通信系统的关键技术研究”。



传输方法之一^[3]。将 OFDM 应用到 RoF 中的正交频分复用-光载无线(OFDM-RoF)系统,兼具了 OFDM 和 RoF 的优势,是未来 RoF 通信重要的发展方向。然而, OFDM 信号具有很高的峰值平均功率比(PAPR),高 PAPR 对发射机和接收机内部放大器线性要求很高,在传输过程中不仅会引起严重的光纤克尔效应,降低系统的信噪比^[4,5],还会引起子载波间干扰,导致整个 OFDM 系统性能下降。因此,降低 PAPR 对 OFDM 技术在 RoF 系统上的应用具有重要意义。人们为此做了大量的研究,提出了一些降低 PAPR 的方法,比如限幅类技术^[6-8]、概率类技术^[9-11]和编码类技术^[12,13]等。但这些降低 PAPR 的技术是以增加信号功率和算法复杂程度为代价的。本文研究并设计一种基于离散傅里叶变换(DFT)扩频的 60GHz 光毫米波 OFDM-RoF 系统。

1 DFT 扩频 OFDM 信号产生原理

与传统的 OFDM 信号产生相比, DFT 扩频 OFDM 信号在产生过程中引入了 DFT 扩频处理。DFT 扩频 OFDM 信号的产生原理如图 1 所示。假设有 N 路子载波。首先, 对高速串行的数据流进行串并转换, 变成 $M(M < N)$ 路低速并行数据后做 16QAM 映射; 然后, 对映射后的 M 路数据进行 M 点 DFT 处理, 随后进行子载波映射并对未使用 $(N-M)$ 的子载波补零和扩频; 最后, 对映射后的信号做 N 点快速傅里叶逆变换 (IFFT), 添加循环前缀并进行数模转换得到 DFT 扩频 OFDM 信号。

DFT 扩频 OFDM 信号相当于一个单载波频分多址信号。由于单载波频分多址是将数据调制到单载波上, 而 OFDM 是将并行数据调制到多路子载波上再叠加, 故 OFDM 信号的 PAPR 要高于单载波频分多址的 PAPR, 即 OFDM 信号的 PAPR 要高于 DFT 扩频 OFDM 信号的 PAPR。

我们通常用互补累积分布函数 (CCDF)^[14] 来评估一个系统的 PAPR 性能。CCDF 表示信号的 PAPR 超过某一值 PAPR_0 的概率, 表示如下:

$$\text{CCDF} = 1 - (1 - e^{-\text{PAPR}_0})^N \quad (1)$$

CCDF 值越小, 信号的 PAPR 越低, 系统性能越好。

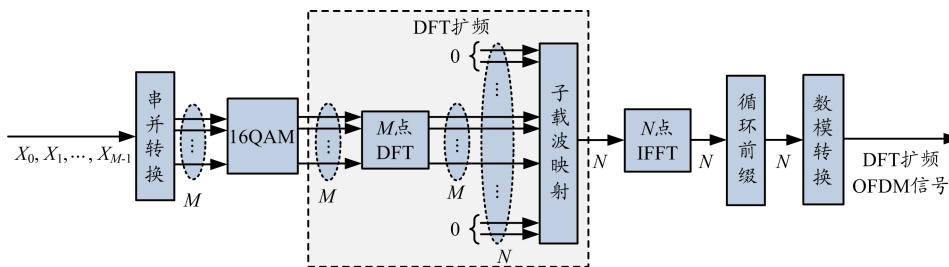


图 1 DFT 扩频 OFDM 信号产生原理图

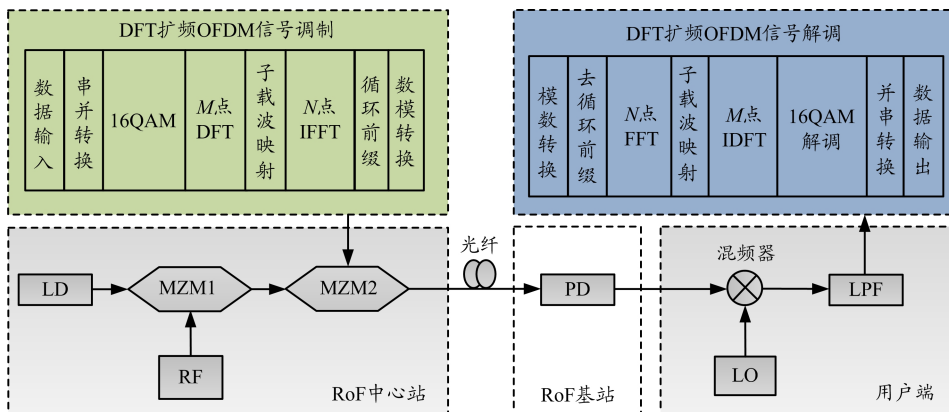


图 2 基于 DFT 扩频的 60GHz 光毫米波 OFDM-RoF 系统原理示意图

2 通信系统原理

基于 DFT 扩频的 60GHz 光毫米波 OFDM-RoF 系统原理如图 2 所示。在 RoF 中心站, DFT 扩频 OFDM 模拟信号经以下步骤产生: 首先, 对输入的串行数据进行串并转换变成多路并行数据后做 16QAM 映射; 然后, 对映射后的数据做 DFT 运算后补零, 再进行子载波映射, 完成扩频后做 IFFT 运算; 最后, 对数据添加循环前缀并进行数模转换得到 DFT 扩频 OFDM 模拟信号。同时, 连续光载波信号由一个激光器 (LD) 产生。其中, 射频 (RF) 信号用来驱动一个马赫-曾德尔调制器 (MZM1) 调制连续光载波, 实现六倍频, 产生光毫米波; DFT 扩频 OFDM 信号通过 MZM2 上变频至光毫米波上, 经由光纤传输至 RoF 基站。在 RoF 基站, DFT 扩频 OFDM 光毫米波信号经光电探测器 (PD) 进行拍频转换成电毫米波信号并进行传输。在用户端, 接收到的信号通过一个混频器与本地振荡信号 (LO) 进行混频, 经低通滤波 (LPF) 后, 实现下变频并进行信号解调, 解调的过程与产生过程相反, 由以下几步完成: ①对接收的 DFT 扩频 OFDM 模拟信号进行模数转换和去循环前缀处理; ②对数据做 FFT 运算, 在进行子载波解映射后移除信号产生过程中添加的零, 再做离散傅里叶逆变换 (IDFT) 运算; ③对 16QAM 信号进行解映射和并串转换, 恢复得到原始串行数据。

3 通信系统仿真

基于 DFT 扩频的 60GHz 光毫米波 OFDM-RoF 通信系统仿真如图 3 所示。本文采用 VPI transmission Maker 9.8 和 Matlab 进行仿真实验。首先, 由 Matlab 产生长度为 2×10^6 的伪随机二进制序列, 对该序列进行串并转换后做 16QAM 符号映射; 然后, 对映射后的信号进行长度为 198 点的 DFT 处理并进行子载波映射, 未占用的子载波进行补零, 完成扩频后对信号做 256 点的 IFFT 处理; 最后, 对 DFT 扩频 OFDM 信号添加循环前缀、数模转换得到 DFT 扩频 OFDM 模拟信号。

仿真模块包括中心站、基站和用户端 3 个部分。RoF 中心站

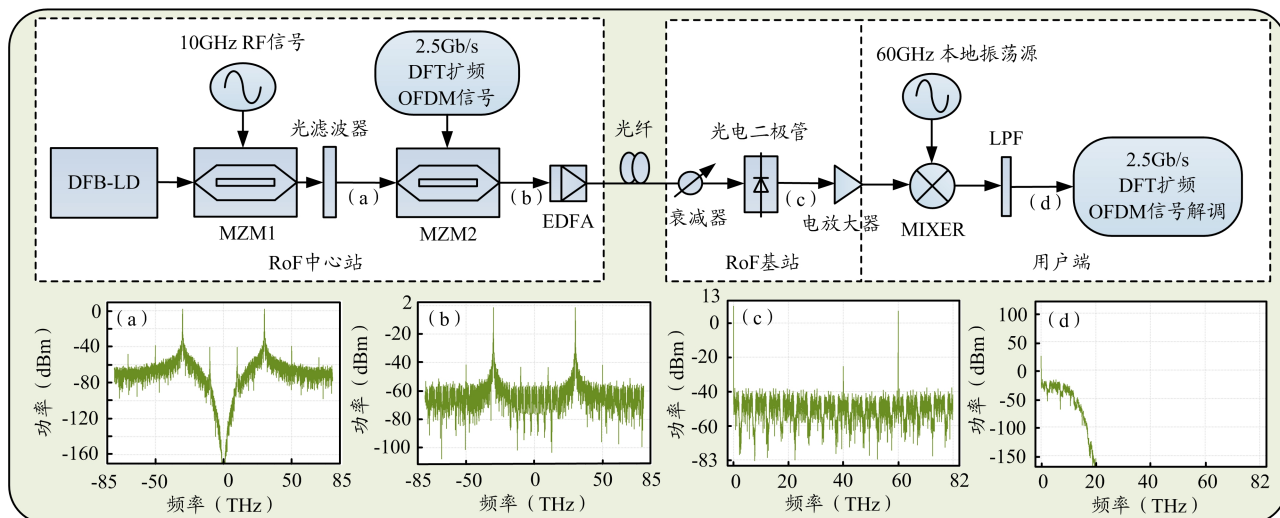


图3 基于DFT扩频的60GHz光毫米波OFDM-RoF通信系统仿真

的主要功能是产生 60GHz 的 DFT 扩频 OFDM 光毫米波信号。仿真实验由一个分布反馈式激光器 (DFB-LD) 产生波长为 1553.6nm 的连续光载波进入 MZM1, 实现双边带调制。调制器的半波电压是 3V, 消光比为 29.9dB。采用频率为 10GHz 的 RF 信号驱动 MZM1, 偏压设置为 -0.021V。通过 MZM1 产生的光信号经过带宽为 25GHz 的可调谐光滤波器滤掉 2 个一阶边带, 得到频率间隔为 60GHz 的 2 个三阶边带, 产生 60GHz 光毫米波, 其光谱图如图 3 中(a)图所示。通过 MZM2 将 2.5Gb/s 的 DFT 扩频 OFDM 信号上变频至光毫米波上, 其光谱图如图 3 中(b)图所示。DFT 扩频 OFDM 光毫米波信号经掺铒光纤放大器(EDFA)实现功率放大后经标准单模光纤(SSMF)传输至 RoF 基站。

在 RoF 基站, 60GHz DFT 扩频 OFDM 光毫米波信号通过衰减器进行接收光功率的功率控制, 再经过带宽为 80GHz 的高速光/电转换器(O/E)变成 60GHz 电毫米波信号, 其电谱图如图 3 中(c)图所示, 通过中心频率为 60GHz 的电放大器放大传送至用户端。

在用户端, 利用一个电混频器(MIXER)与本地振荡器混频来实现 DFT 扩频 OFDM 毫米波信号的下变频。频率为 60GHz 的 LO 与 60GHz 的电毫米波信号混频后, 再经过电 LPF 滤掉高频的噪声可以得到 2.5Gb/s 的 DFT 扩频 OFDM 信号。经过电 LPF 器的信号电谱图如图 3 中(d)图所示。之后对信号进行模数转换, 并应用 Matlab 进行数字信号处理。该过程与 DFT 扩频 OFDM 信号产生过程相反, 包括去循环前缀、 N 点 FFT、子载波解映射、 M 点 IDFT、16QAM 解调和并串转换, 最后恢复出原始数据。

4 仿真结果及分析

DFT 扩频技术对系统 PAPR 性能的改善由 CCDF 来评估, 本文以 20km 光纤传输为例, 仿真计算得出的 CCDF 曲线图如图 4 所示。图中(a)和(b)分别表示接收光功率为 -4dBm 时, DFT 扩频 OFDM-RoF 系统与传统 OFDM-RoF 系统的接收星座图。可以看出, DFT 扩频 OFDM-RoF 系统的接收星座图更为收敛, 这是因为光纤非线性对其影响程度更小。当 CCDF 值为 0.2 时, DFT 扩频 OFDM-RoF 系统的 PAPR 比传统的 OFDM-RoF 系统改善了 1.5dBm, 对 PAPR 具有明显改善。

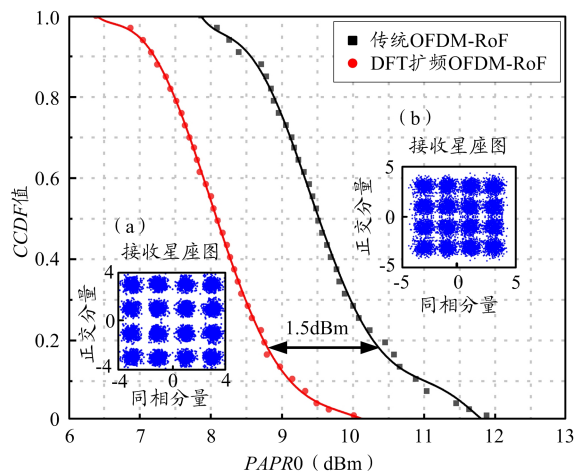


图4 CCDF 曲线

仿真过程中, 随着入纤光功率的增大, 传统 OFDM 信号 RoF 系统与 DFT 扩频 OFDM 信号 RoF 系统的误码率都呈现先降低后增加的现象。但是, DFT 扩频 OFDM 信号的入纤光功率相较于传统 OFDM 信号的入纤光功率的容忍度更高。

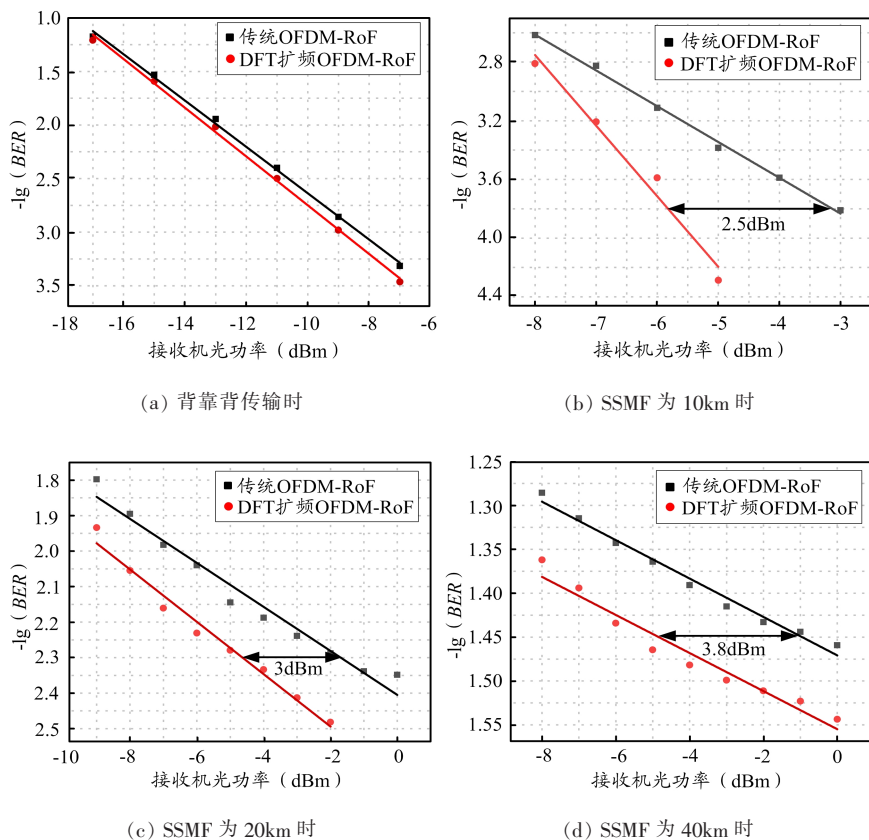


图5 2种系统接收机光功率与误码率性能的关系曲线

本文通过固定入纤光功率,经衰减器改变接收光功率来测量不同接收光功率的误码率性能。在光纤传输距离分别为 0km、10km、20km 和 40km 的条件下,传统 OFDM-RoF 系统与 DFT 扩频 OFDM-RoF 系统的接收机光功率与误码率性能的关系曲线如图 5 所示。可以看出,由于 DFT 扩频对系统 PAPR 性能的改善,当进行背靠背传输时,传统 OFDM-RoF 系统与 DFT 扩频 OFDM-RoF 系统的误码率性能相差不大,但 DFT 扩频 OFDM-RoF 系统的误码率性能仍优于传统 OFDM-RoF 系统。然而,当光纤长度分别为 10km、20km 和 40km 时,DFT 扩频 OFDM-RoF 系统的误码率性能的优势显著,在误码率($-\lg(BER)$)分别为 3.8、2.3 和 1.45 时,其对应的系统光接收机灵敏度分别提高了 2.5dBm、3dBm 和 3.8dBm。

5 结束语

本文研究并设计了一种基于 DFT 扩频的 60GHz 光毫米波 OFDM-RoF 系统,理论分析了 OFDM 信号中高 PAPR 的原因,测量并比较了比特率为 2.5Gb/s 的传统 60GHz OFDM-RoF 信号与 DFT 扩频 OFDM-RoF 信号在 10km、20km 和 40km 光纤传输后的系统

性能。仿真结果显示:在光纤传输距离为 20km 时,相较于传统的 OFDM 信号,DFT 扩频 OFDM 信号的 PAPR 改善了 1.5dBm,接收机灵敏度提高了 3dBm。基于 DFT 扩频的 60GHz 光毫米波 OFDM-RoF 系统有效增加了系统的传输距离,为下一代宽带光载无线通信系统的实际应用提供了有效的参考。

参考文献:

- [1] 董泽,曹子峥,陈林,等. 60GHz 全双工 OFDM-RoF 系统的实验研究[J]. 通信学报,2011,32(2):72-76.
- [2] 董泽,曹子峥,陈林,等. 基于 60GHz 光毫米波的光纤无线传输系统实验研究[J]. 中国激光,2010,37(4):1018-1021.
- [3] 王照. 基于 OFDM 的光接入网关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学,2014.
- [4] JIANG T, WU Y. An Overview: Peak-to-Average Power Ratio Reduction Techniques for OFDM Signals [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2008, 54(2): 257-268.
- [5] 吴新星,张凯明,张惠忠,等. 基于 DFT 扩频技术的低峰均比 OOFDM 系统研究 [J]. 光通信技术, 2018,42(8):18-21.
- [6] ARMSTRONG J. Peak-to-average reduction for OFDM by repeated clipping and frequency domain filtering [J]. Elect Lett., 2002, 38 (5): 246-247.
- [7] 何振,王建萍,颜晶. 降低 OFDM 系统峰均比的可恢复限幅技术[J]. 光子学报,2014,43(7):116-122.
- [8] CHEN H, CHEN L, YU J, et al. Experimental Investigation for 60 GHz Radio-Over-Fiber System Employing Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Format Based on Companding Transform [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(3): 30-35.
- [9] 王进祥,吴新春,毛志刚,等. 降低 OFDM 信号 PAPR 的低复杂度 PTS 方法[J]. 西安电子科技大学学报,2010,37(2):326-333.
- [10] 陈琳,方勇. 基于准循环 LDPC 码和 SLM 法降低 PAPR 的新方法 [J]. 信号处理,2012,28(9):1341-1345.
- [11] QIU S, SI Y, CHEN P. Reserved subcarrier for PAPR reduction in optical OFDM systems[J]. Study on Optical Communications, 2011(1): 9-11.
- [12] 王燕瑾,邵宇丰,迟楠. 预编码峰均比抑制算法在 60GHz 正交频分复用光载无线通信系统中的应用[J]. 光学学报,2013,33(7):101-107.
- [13] 李晶,陈生海,陈林. OFDM-RoF 系统中基于训练序列的信道估计优化方法[J]. 光通信技术,2017,41(11):50-53.
- [14] HMOOD J K, NOORDIN K A, ARoF H, et al. Peak-to-average power ratio reduction in all-optical orthogonal frequency division multiplexing system using rotated constellation approach [J]. Optical Fiber Technology, 2015 (25): 88-93.