

文章编号:1001-9081(2007)08-1874-03

使用联合算法来降低 OFDM 系统的峰均比

黄淑梅,朱瑾瑜,刘海燕

(大连大学 信息工程学院, 辽宁 大连 116622)

(hsmei_123@163.com)

摘要:在降低 OFDM 系统峰均比(PAR)的众多方法中,均有其优缺点。在很多情况下,仅使用一种算法并不能够达到想要的降低效果,或者为了达到理想效果,在某一方面的性能损失较大。针对这种情况,鉴于 PTS 算法与冲激相消法之间的互补性,提出了一种联合算法:PTS-Clipping 算法。算法先利用 PTS 算法对 OFDM 信号进行处理以降低 PAR,所得信号再利用冲激相消法进行处理,以进一步降低 PAR。只要两种方法对峰均比的降低程度选取得当,就可以在降低峰均比的情况下既减小运算量,又不产生过大的噪声干扰。数据仿真验证了所提方法的有效性。

关键词:正交频分复用;峰均比;部分传输序列法

中图分类号:TP393.04 **文献标志码:**A

Reducing the peak-to-average power ratio of OFDM System by union algorithm

HUANG Shu-mei, ZHU Jin-yu, LIU Hai-yan

(College of Information Engineering, Dalian University, Dalian Liaoning 116622, China)

Abstract: Methods of reducing the Peak-to-Average-Power Ratio (PAR) of the Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) system have their advantages and disadvantages. In many cases, only using one of them can not achieve the desired effect of reducing or can achieve the desired effect but at the price of large performance loss on certain aspect. In view of such a situation, a joint algorithm named PTS-Clipping algorithm was given based on the complementarity between the PTS and impulse cancellation. Firstly, the algorithm used PTS to process OFDM signal to reduce PAR, then the result was further processed by impulse cancellation to further reduce PAR. As long as the two methods of reducing the PAR level were selected properly, it could reduce PAR and the computational complexity, and not have too much noise. Simulations have proved the validity of the proposed method.

Key words: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM); Peak-to-Average-Power Ratio (PAR); Partial Transmit Sequence (PTS)

正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)是一种把高速数据流变为多个低速数据流后并行传输的一种多载波传输技术。无线信道由于比较复杂,传播的途径多样化,多径传播所引起的时间弥散性容易对系统造成符号间干扰(Inter-Symbol Interference, ISI)。OFDM 技术可以使每个子信道中的符号周期相对增加,有效地消除符号间干扰。又因为 OFDM 的频谱利用率高,各子信道中的调制和解调易于完成,电子通信技术的发展,在通信系统中实现 OFDM 也越来越容易。现在 OFDM 技术已经成功地应用于非对称数字用户线(ADSL)、无线局域网、数字音频广播(Digital Audio Broadcasting, DAB)和数字视频广播(Digital Video Broadcasting, DVB)等许多领域内^[1]。由于 OFDM 的技术优势,预计它将成为 4G 通信的主流技术。但 OFDM 技术有一个难点就是有较高的峰均比(Peak-Average power Ratio, PAR),这就需要射频功率放大器应该工作在非常大的线性区域。否则,一旦信号峰值进入功率放大器的非线性区域,就会产生严重的信号失真,从而引起子载波间的互调和带外辐射。因此,必须采用一定的技术来降低信号的峰均比,使发射机的功率放大器高效工作,以提高系统的整体性能。

1 OFDM 系统及峰均比概念

OFDM 通信系统结构如图 1 所示。OFDM 信号是由多个独立的经过调制的子载波信号相加而成的,最大峰值与平均功率的比值简称为峰均比(单位为 dB)。峰均比可以被定义为:

$$PAR = 10 \log_{10} \frac{\max_n |x_n|^2}{E(|x_n|^2)} \quad (1)$$

其中, x_n 表示经过 IFFT 运算之后所得到的输出信号,即 $x_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k W_N^{nk}$, 对于包含 N 个子信道的 OFDM 系统来说,当 N 个信号都以相同的相位求和时,所得到的信号的峰值功率就会是平均功率的 N 倍,因而基带信号的峰均比可以为 $10 \log_{10} N$ 。

对于包含 N 个子载波的 OFDM 系统来说,其中经过 IFFT 计算得到的功率归一化的复基带符号是:

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k \exp(jk\Delta f t) \quad (2)$$

其中 X_k 表示第 k 个子载波上的调制符号。根据中心极限

收稿日期:2007-02-05;修回日期:2007-04-10。

作者简介:黄淑梅(1982-),女,山东德州人,硕士研究生,主要研究方向:宽带无线接入技术和 OFDM 技术;朱瑾瑜(1983-),女,河北邯郸人,硕士研究生,主要研究方向:图像信号处理与跟踪;刘海燕(1964-),女,黑龙江人,副教授,博士,主要研究方向:宽带无线通信、语音信号处理。

定理可知,只要子载波个数 N 足够大,就可以判断 $x(t)$ 的实部和虚部都服从均值为零,方差为 0.5 的高斯分布。因此可知,OFDM 符号的幅值 r 服从瑞利分布,而其功率分布则要服从两个自由度的中心 χ^2 分布,其均值为零,方差为 1,又因为自由度为 2 的 χ^2 分布的概率密度函数为 $p_{power}(y) = e^{-y}$,其累积分布函数(CDF)为:

$$P\{\text{Power} \leq z\} = \int_0^z \exp(-y) dy = 1 - \exp(-z) \quad (3)$$

假设 OFDM 符号周期内每个采样值之间都是不相关的,

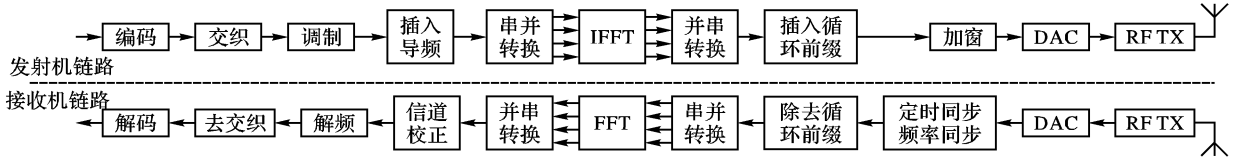


图 1 OFDM 系统结构

2 PTS-Clipping 联合算法

在现有的降低 OFDM 系统的峰均比的方法中,有限幅类方法、编码类方法和概率类方法。其中限幅法比较简单,但是容易产生带内干扰和带外辐射。部分传输序列(Partial Transmit Sequences, PTS)^[2]法在降低 OFDM 系统的峰均比方面性能较好,但是其系统比较复杂,尽管现在有一些降低运算量的改进算法,但是比起其他方法来仍存在较大的差距。在很多情况下,仅使用一种算法并不能够达到想要的降低效果,或者为了达到理想的效果,在某一方面的性能上会付出巨大的代价,因此,可以利用多种方法的联合来处理。性能类似的算法联合时,对 PAR 的降低效果非常微弱,而性能互补的算法联合时,可以相互取长补短,从而在各个方面的性能上取一个折中。PTS 和 Clipping 法^[3]正是性能互补的算法。在此,我们结合二者的优点,提出了一种新的降低峰均比的算法:PTS-Clipping 联合算法。

该算法的基本思想是:先对 OFDM 信号进行 PTS 法降低 PAR,然后对处理过的信号进行冲激相消法进一步降低 PAR。只要两种方法对峰均比的降低程度选取得当,就可以在降低峰均比的情况下既减小运算量,又不产生过大的噪声干扰。

2.1 算法原理

该联合算法的原理如下:

首先利用向量来定义数据符号:

$$\mathbf{X} = (X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$$

然后把向量 \mathbf{X} 分割为 V 组,分别表示为: $X_v, v = 1, 2, \dots, V$,每组的载波数相同。

寻找合适的向量旋转因子 b_v ,然后将 V 各分组组合起来,如公式(5):

$$\mathbf{X}' = \sum_{v=1}^V b_v X_v \quad (5)$$

对其进行 IDFT,根据傅立叶的线性性质可以变换得到式(6):

$$x' = \sum_{v=1}^V b_v \text{IDFT}\{X_v\} = \sum_{v=1}^V b_v x_v \quad (6)$$

通过选择合适的旋转因子可以使峰值信号达到最佳化,达到最佳化的条件如式(7):

$$\{b_1, b_2, \dots, b_V\} = \arg \min_{\{b_1, b_2, \dots, b_V\}} \left(\max_{1 \leq n \leq N} \left| \sum_{v=1}^V b_v x_v \right|^2 \right) \quad (7)$$

通过测试,在峰值出现的位置产生一个冲激脉冲,将原始信号减去冲激脉冲信号,从而降低 PAR。若对离散 OFDM 信号 $x(n)$ 进行处理,则经冲激相消后的信号可表示为:

则 PAR 超过某一门限的概率也可用互补累计分布函数(Complementary Cumulative Distribution Function, CCDF)来表示:

$$P\{\text{PAR} \geq z\} = 1 - (1 - e^{-z})^N \quad (4)$$

通过分析 OFDM 信号的性质可以知道,过采样有助于更加准确地反映符号的变化情况,特别是针对 PAR 而言,但是过采样破坏了采样信号之间的非相关性,所以对 OFDM 符号进行过采样可以被看作添加一定数量的相互独立的样本值。而 PAR 值与采用的调制方式无关。

$$\tilde{s}(n) = x(n) - \sum_i a_i e^{j\varphi_i} \delta(n - \tau_i) \quad (8)$$

其中: a_i, φ_i 和 τ_i 分别为对第 i 个信号样点进行修正的幅度、相位和时延。这样,冲激相消法也可以描述为一个线性过程。假设信号通过一个冲激响应为 $\text{sinc}(\pi n T)$ 的理想低通滤波器进行滤波,则信号滤波后的输出可以表示为公式(9):

$$\tilde{s}'(n) = s'(n) - \sum_i a_i e^{j\varphi_i} \text{sinc}(\pi T(n - \tau_i)) \quad (9)$$

选择合适的参考函数,争取与 OFDM 信号具有相当的带宽。这样,就可以得到改善后的峰均比较小的 OFDM 信号。

2.2 算法性能分析

该算法中,对序列进行分割的方法有相邻、交织和随机三种。相邻分割和交织分割虽然实现简单,但是分割后信号之间的相关性较大,不利于信号的传输。随机分割算法较复杂,但分割后信号之间的相关性小,在具体应用时应视具体情况而定。另外,在选择参考函数时,应尽可能选择与 OFDM 信号相当带宽的函数,这样可以减小干扰。

联合算法的执行中还存在算法的级联顺序问题,因为同样两种算法组合时,级联顺序不同,联合算法的性能也会不同。PTS 的本质是对数据子载波进行重组,而冲激相消法的本质是将超过某一幅值的信号减去一个时延一定的函数。如果先调用 Clipping 算法再调用 PTS 算法,在数据子载波进行重组的过程中,Clipping 算法原先的降低效果就被破坏了。如果先调用 PTS 算法再调用 Clipping 算法,则 Clipping 算法是在 PTS 的基础上进行的,保留了 PTS 算法的降低效果。因此,在所有参数设置相同的情况下,PTS-Clipping 算法要比 Clipping-PTS 算法具有更好的降低 PAR 的效果。所以在本算法中,我们采用先进行 PTS 算法,再进行 Clipping 算法的顺序。

PTS-Clipping 算法如图 2 所示。

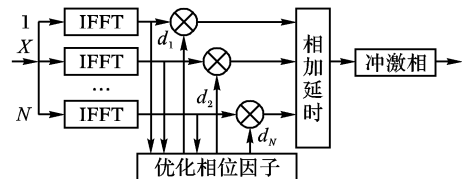


图 2 PTS-Clipping 联合算法

3 PTS-Clipping 算法仿真

在仿真试验中,调制方式采用 QPSK 调制,过采样因子为 $J = 4$,分割方法采用交织分割。另外,为了简单起见,旋转相位因子从集合 $\{\pm 1, \pm j\}$ 中选取,定义冲激脉冲相对于峰值信号的比值 $m = 0.4$ 。

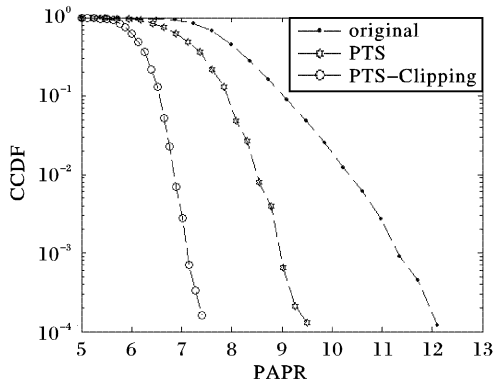


图3 CCDF 曲线图

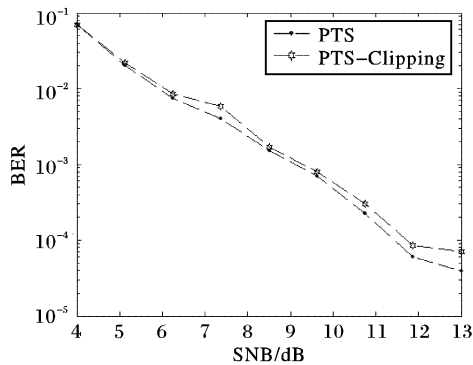


图4 误码率分析

由图3可以看出,在相同的参数设置下,联合算法能把

PAR 值从 12.2dB 降低到 7.5dB,也就是说,未采用任何改善方法时信号的 PAR 值超过 9.5dB 的概率接近 10%,如果将这些信号全部限幅或忽略不计的话,将有 90% 的信号失真;采用 PTS 方法后,PAR 超过 9dB 的概率还不到 10^{-3} ;信号经过 PTS-Clipping 联合算法后,信号 PAR 值超过 7.4dB 的概率远低于 10^{-3} ,由此可以看出,在其他参数值都相同的情况下,相对于 PTS 算法和冲激相消法来说,本文提出的算法具有较强的优越性。由图 4 可以看出,该联合算法与 PTS 算法的误码率相差不多。

4 结语

为解决 OFDM 系统的高峰均比问题,提出了一种简单有效的 PTS-Clipping 联合算法。通过改善 PTS 算法计算量大,且对信号 PAR 性能改善不明显的特点,在系统中加入冲激相消法进行补充,使系统在降低峰均比、减小运算量的同时对 PTS 的参数设定要求也会降低。通过仿真试验可以看到,该联合算法对降低 OFDM 系统的峰均比具有良好的效果。

参考文献:

- [1] 佟学俭, 罗涛. OFDM 移动通信技术原理与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [2] TELLAMBURA C. Improved phase factor computation for the PAR reduction of an OFDM signal using PTS[J]. IEEE Communications Letters, 2001, 5(4): 135 - 137.
- [3] OCHIAI H, IMAI H. Performance analysis of deliberately clipped OFDM signals[J]. IEEE Transactions on Communications, 2002, 50(1): 89 - 101.

(上接第 1873 页)

表4 行走者搜索

起点与搜索路径	转发数	信息数	被访节点数
(1-2-3-4-10)			
(1-7-6-9-10)	3	8	7
(2-1)			
(2-3-4-10)	2	4	4
(3-4-10)			
(3-2-1)	1	4	4
(4-10)			
(4-5-6-7-1)	3	5	5
(5-9-10)			
(5-3-2-1)	2	5	5
(6-7-1)			
(6-9-10)	1	4	4
(7-1)			
(7-8-5-9-10)	3	5	5
(8-7-1)			
(8-5-4-10)	2	5	5
(9-10)			
(9-5-8-7-1)	3	5	5
(10-4-3-2-1)			
(10-9-6-7-1)	3	8	7
平均	2.3	5.3	5.1

表5 各种策略的性能比较

策略	转发数	网络传播信息	被访节点
兴趣组	0.5	2.8	2.8
2-行走者	2.3	5.4	5.1
泛洪	2.2	12.0	8.8

表4基本上是最优路径,实际情况只可能比这更差。

3 结语

通过上述分析,特别兴趣组的 P2P 网络搜索策略可以加快查询速度,同时减轻网络负荷(即传播信息数和被访问节点数)。这个搜索查询算法可以通过浏览器的工具条来实现,就类似 Yahoo 和 Google 搜索条那样,把算法设计成一个按钮嵌入到浏览器的工具栏。这样一来,越多相同兴趣的人同时上网就会越快找到所需信息,找到的信息也会越多。这种算法也可被用到大型分布式的搜索引擎。下一步的工作是将它应用到大型的数据资源上,例如,天网提供的测试集,进一步测试其性能。

参考文献:

- [1] ZHAO J H, YAN H F, WANG J Y, *et al.* Parallel and distributed processing in Web Gather, PKU CS NET TR2002001[R]. 2002.
- [2] 张亮, 邹福泰, 马范援. 对等网信息检索的研究现状与展望[J]. 计算机学报, 2004, 31(4): 74 - 78.
- [3] QIN L, PEI C, EDITH C, *et al.* Search and replication in unstructured Peer-to-Peer networks[C]// Proceedings of the 16th ACM International Conference on Supercomputing (ICS 2002). New York: ACM Press, 2002: 84 - 95.
- [4] WATTS D J, STROGATZ S H. Collective dynamics of 'small-world' networks[J]. Nature, 1998, 393(6684): 440 - 442.
- [5] AIELLO W, CHUNG F, LU L Y. A random graph model for massive graphs[C]// Proceedings of the Thirty-Second Annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC2000). New York, 2000: 171 - 180.
- [6] FALOUTSOS M, FALOUTSOS P, FALOUTSOS C. On power-law relationships of the Internet topology[C]// Proceedings of the conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication. New York: ACM Press, 1999: 251 - 262.