

Analysis of Peak to Average Power Ratio Reduction of OFDM Based on Substitute Method

LIU Huazhu¹, SU Aiguo²

1. School of Electronic Engineering, Dongguan university of Technology, Dongguan, China

2. Dongguan Branch, China United Network Telecommunications Corporation Limited, Dongguan, China

e-mail: liuhz@dgut.edu.cn; suag@chinaunicom.cn

Abstract: A novel algorithm, named substitute method, is proposed for the peak to average power ratio reduction of OFDM signals, after comparing the influence between selective mapping algorithm and companding transform method. Simulation results are also compared. The substitute method selects high PAPR signal, and replaces it by companding transform signal. The substitute signal has low PAPR and equal average power. Substitute method is integrated with advantages of selective mapping algorithm and companding transform method, and easy to be realized in hardware of OFDM system.

Keywords: OFDM; PAPR(peak to average power ratio); substitute method

基于替代法降低 OFDM 信号的 PAPR 的分析

刘华珠¹, 苏爱国²

1. 东莞理工学院电子工程学院, 东莞, 中国, 523808

2. 中国联合网络通信有限公司东莞市分公司, 东莞, 中国, 523009

e-mail: liuhz@dgut.edu.cn; suag@chinaunicom.cn

摘要: 比较了选择映射和压缩扩展方法对降低正交频分复用信号的峰均功率比的影响后, 提出了基于替代的方法, 并给出了仿真比较。替代法选择 PAPR 高的信号, 用压缩扩展后的信号替代。替代信号具有较低的 PAPR, 平均功率与原信号基本相等。替代法同时实现了选择映射与压缩扩展的功能, 并且在硬件上易于实现。

关键词: 正交频分复用; 峰均功率比; 替代法

1 引言

正交频分复用具有抗多径干扰与抗频率选择性衰落能力强的优点, 适合于无线高速传输, 广泛地应用于 802.11.a/g/n、802.6、UWB、DVB 等, 被普遍认为是下一代(4G)通信系统必不可少的技术。针对目前正在兴起的 UWB, OFDM 更突显出了其强大的优势。但是 OFDM 系统的主要缺点之一就是其峰均功率比(PAPR)过高, 阻碍了其应用与发展。

与单载波系统相比, 由于 OFDM 符号是由多个独立的经过调制的子载波信号相加而成, 这样的合成信号就有可能产生比较大的 PAPR。峰均比可以定义为^[1]:

$$PAPR(dB) = 10 \log_{10} \frac{\max\{|x_n|^2\}}{E\{|x_n|^2\}} \quad (1)$$

其中 x_n 表示经过 IFFT 运算后的输出信号。对于包含 N 个子信道的 OFDM 系统来说, 当 N 个子信号都以

相同的相位求和时, 所得到信号的峰均功率就有可能为平均功率的 N 倍, 因而基带信号的峰均比可以为:

$$PAPR(dB) = 10 \log_{10} N$$

虽然这是一种很少概率发生的情况, 但如果不对输出信号采取任何处理, 还是会出现的。较高的 PAPR 使得 D/A 转换器、功放器等需要较大的动态变换范围, 以避免将信号削波。

在减小 OFDM 系统的 PAPR 研究当中, 已经出现了很多方法, 成为 OFDM 系统关键技术研究的热点之一。在这些方法当中包括了信号预畸变(包括了限幅、压缩扩展)、编码、选择映射(SLM)、部分传输(PTS)等。

然而这些方法中的大部分具有各自的优缺点, 一种有效的方法是取长补短, 将它们组合起来使用。例如, 交织技术可以有较大的离散化(自相关系数最小化)随机序列, 从而减小最大 PAPR 出现的概率, 因而可以使用交织技术与 PTS、SLM 相结合来减小

PAPR, 例如文献[2]所提出的方法。针对压缩扩展易失真, 误码率大而选择映射法运算量大的缺点, 本文提出了一种基于替代的方法。通过判断, 选择 PAPR 比较大的 OFDM 符号, 用选定的信号代替。代替信号是对 PAPR 比较小的 OFDM 符号进行适当的畸变产生。畸变只是发生在 PAPR 较大的时候(可以通过编码降低这种信号的产生概率), 因而误码率比完全畸变小很多。相比 SLM 方法, 替代法只是计算了与子信道个数相同点数的 IFFT, 计算量明显降低了 $(N-1)$ 组 IFFT 运算。

2 压缩扩展法与选择映射法

传统的压缩扩展法将幅度比较小的符号进行放大, 而将幅度大的信号压缩。这种方法不但可以减小系统的 PAPR, 而且可以使小信号抗干扰能力有所增强。C 变换法就是其中的一种。C 变换法要满足两个条件:

当 $|x| < m$ 时, $|C(x)| \geq |x|$; 否则, $|C(x)| \leq |x|$, 其中 m 表示 C 变换的转折点;

满足 $E\{|x|^2\} \approx E\{|C(x)|^2\}$, 即保证变换前后的平均功率大致相等。

C 变换可以采用如下公式来描述^[3]:

$$s_{n,k} = \frac{Vx_{n,k}}{\ln(1+u)|x_{n,k}|} \ln\left(1 + \frac{u}{V}|x_{n,k}|\right)$$

V 表示 OFDM 符号 $x_{n,k}$ 的平均幅值, u 值一般取 $u \leq 5$ 。压缩变换法对所有的输出信号进行压缩扩展变换, 因而其最大的一个缺点就是误码率的增加^[4]。

选择映射法属于非畸变法。选择映射将信号与一个映射矢量相乘, 然后进行 IFFT 变换, 选择 PAPR 性能最好的序列传输。图 1 是 SLM 的原理图。P 表示映射矢量, x 是子信道信号, M 表示映射数量。

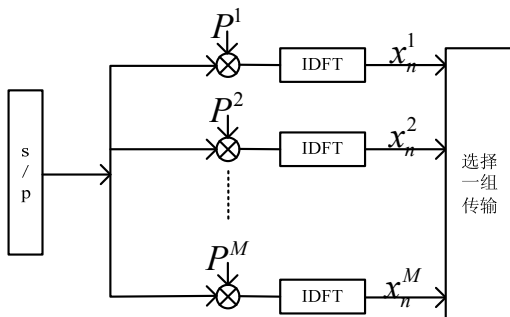


Figure 1. SLM schematic diagram
图 1. SLM 原理图

由于 SLM 方法使得传输信号是非畸变的, 误码率低, 但是需要额外的计算 $M-1$ 组 IFFT, 运算量很大

[5]。SLM 接收机需要得知所选择的随机相位序列矢量, 需要额外的一个选择信息。

3 替代法

替代法综合了压缩扩展与选择映射的优点。对 OFDM 子信道进行 IFFT 变换, 然后比较变换后的传输信号的最大 PAPR 值 ($\max\{\text{PAPR}\}$) 是否大于阈值 m , 如果 $\max\{\text{PAPR}\} > m$, 用一个压缩扩展后的信号代替原信号, 否则, 即 $\max\{\text{PAPR}\} < m$, 则不做任何处理。

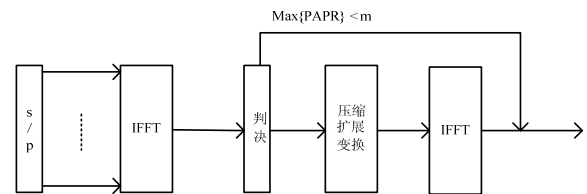


Figure 2. Substitute Method
图 2. 替代法

替代信号的选择原则与压缩扩展法的原则相同, 由于只对 PAPR 值大于阈值 m 的信号进行压缩扩展, 可以有效的降低误码率, 相比 SLM 方法而言计算量非常少。

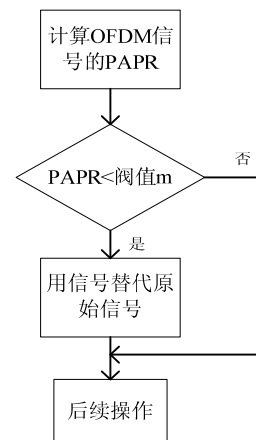


Figure 3. Algorithm Flow
图 3. 算法流程

考虑一个子信道数为 N , 周期为 T 的基带 OFDM 信号, 其传输信号为:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k e^{j2\pi kt/T} \quad (2)$$

公式 (2) 是一个典型的 OFDM 信号。 A_k 是第 k 个子信道的符号, 如果采用 BPSK 调制其取值只有 $\{1, -1, j, -j\}$ 。 $s(t)$ 是一个复数信号, 可表示为 $s(t) = s_I(t) + js_Q(t)$ 。在实际的系统当中只能传输实信

号,因而在 RF 上对 OFDM 基带信号调制后,其包络 $a(t)$ 可以表示为^[6]: $a(t) = \sqrt{s_I^2(t) + s_Q^2(t)}$ 。

对系统离散化,对信号 $s(t)$ 以 T/N 的速率进行抽样,即令 $t=nT/N$ ($n=0, 1 \dots N-1$),可以得到:

$$s_n = s(nT/N) = \sum_{k=0}^{N-1} A_k \exp(j \frac{2\pi nk}{N}) \quad (3)$$

公式(3)就是采用快速反傅立叶变换的 OFDM 实现。从公式(3)可以看到 OFDM 符号 s_n 的大小可以通过改变调制信息 A_k 的相位和幅度来改变。

以一个子信道数 $N=4$ 为例说明替代法。对于一个子信道数 $N=4$ 的系统,其传输信号有 $16(2^N)$ 种可能情况出现。首先找到 PAPR 最小的替代向量 P_n^v , n 表示子信道, v 表示移位量。可以通过矩阵运算来表示替代后的 OFDM 符号:

$$s'_n = s_n \times M + M'$$

当 $N=4$ 时, s_0 、 s_5 、 s_{10} 、 s_{15} 处出现最大峰值功率比。

因而 $M=[1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,1]'$ 。

$M'=[P_0,0,0,0,0,P_1,0,0,0,0,P_2,0,0,0,0,P_3]$ 。可以得到: $s'_n=[P_0, s_1, s_2, s_3, s_4, P_1, s_6, s_7, s_8, s_9, P_2, s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}, P_3]$ 以两倍过采样为例,图 3 显示了这 16 种情况(以-1 表示 0)。

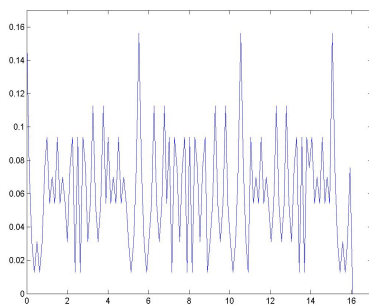


Figure 4. Transmission signal wave (N=4)
图 4. N=4 时传输信号波形

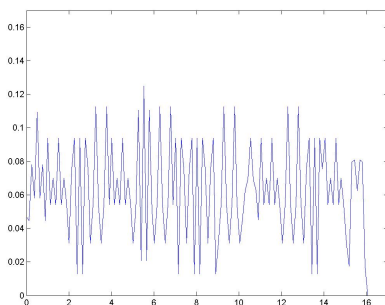


Figure 5. Transmission signal wave after substitute
图 5. 替代后的传输信号波形

从图 4 分析可以看到,当 $N=4$ 时,只有在 $\{-1 -1 -1 -1, 1 -1 1 -1, -1 1 -1 1, 1 1 1 1\}$ 时出现最大峰值功率可达 0.16,而系统的平均功率 $E\{a(t)\}=0.039$ 。为此,我们只需将这四个信号用别的信道替代。用 $\{1.5,-1,-0.5,-0.5\}$, $\{-0.5,1.5,-1,-0.5\}$, $\{-0.5,-0.5,1.5,-1\}$, $\{-1,-0.5,-0.5,1.5\}$ 代替 $\{-1 -1 -1 -1\}$, $\{1,-1,1,-1\}$, $\{-1,1,-1,1\}$, $\{1,1,1,1\}$ 。替代后的波形如图 5 所示,这时系统的平均功率为 0.038,改变不大。而替代信号的功率为 0.105,大大的减小了峰均比。

替代信号的选择具有多样性,可以跟据不同的要求选择替代信号。图 5 只是一种情况,替代信号之间只进行了移位,在接收端更易于判断。替代法对某一些值进行了扩展,对另一些值进行压缩,以达到变换后信号的平均功率与变换前信号的平均功率变化量最小的目的。

4 结论

替代法吸取了压缩扩展法与部分映射法的优点,能够用少量的运算,简单的方法实现对 PAPR 的控制。与畸变的扩展压缩法相比,在相同的畸变情况下,替代法中信号的畸变量随最大 PAPR 出现的概率相等。通过前端的编码,可以有效的降低较大 PAPR 出现的概率。与一般部分映射法相比,计算量少了 $N-1$ 组 IFFT 运算。有效的降低了系统实现的复杂度。同时也可以发现,替代法也有一些待改进的地方,例如,替代信号的选择上,会造成一定的误码率,但相对于压缩法而言,这种误码率还是很小的。对于如何寻找到一个更有效的替代信号也是一个值得研究的地方。

References (参考文献)

- [1] Richard van Nee, Ramjee Prasad. OFDM for Wireless Multimedia Communications [M]. Boston: Artech House, 2000.
- [2] A. D. S. Jayalath and C. Tellambura. The use of interleaving to reduce the peak to average power ratio of an OFDM signal[C]. IEEE Global Telecomm. Conf., vol.1, Nov, 2000.
- [3] Tong Xue-jian, Lluo Tao. Principle and Application of OFDM Mobile Communication Technology[m]. Posts and Telecom Press, 2003.6.
佟学俭, 罗涛. OFDM 移动通信技术原理与应用 [M]. 人民邮电出版社, 2003. 6.
- [4] R. Van Nee. OFDM codes for peak to average power reduction and error correction[C]. IEEE Global Telecomm. Conf., vol.1, Nov, 1996.
- [5] H. Ochiai, H. Imai. On the distribution of the peak-to-average power ratio in OFDM signals[C]. IEEE Trans. Feb.2001.
- [6] S. Narahashi and T. Nojima. New phasing scheme of N-multiple carriers for reducing peak-to-average power ratio [J]. Electron. Lett. Vol. 30, Aug.1994.