

# 基于扰码技术降低 OFDM 系统 PAPR 的新算法

谢鹏, 全海燕, 黄海波

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:**针对传统选择映射算法需要额外传输边带信息的不足,提出一种预留子载波-选择映射联合算法:通过对正交频分复用 OFDM 信号的子载波进行分组,将 0 幅度预留子载波嵌入到各分组的特定位置后对分组进行位移,由此把边带信息嵌入到预留子载波的位置上,最后选择峰均功率比 PAPR 最优的一路传输. 仿真结果表明,该算法不仅不需要额外传输边带信息,同时有效地降低了 OFDM 系统的 PAPR 和复杂度,提高了系统频带利用率.

**关键词:**正交频分复用系统;峰均功率比;选择映射;预留子载波;扰码技术

**中图分类号:**TN911.7 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2014.02.013

## A new algorithm to reduce PAPR of OFDM system based on scramble technology

XIE Peng, QUAN Hai-yan, HUANG Hai-bo

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the tradition selective mapping (SLM) algorithm needs transmit side information, a new algorithm - reserved subcarriers-SLM algorithm was proposed, which used the technology of grouping for the subcarriers of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) signals. Meanwhile, it inserted side information into the location of reserved subcarriers after shifting the groups by rows, then select the lowest PAPR groups to send. The simulation results showed that the proposed algorithm didn't need transmit side information, at same time the peak-to-average power ratio (PAPR) and complexity of the system could be effectively reduced, the bandwidth utilization was improved.

**Key words:** orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) system; peak-to-average power ratio (PARR); selective mapping (SLM); reserved subcarriers; scramble technology

## 0 引言

正交频分复用 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 技术作为无线宽带及下一代移动通信的关键技术,以其高效的频谱利用率与抗码间干扰强等特点,在数字通信领域得到广泛的应用<sup>[1]</sup>. 然而,OFDM 系统在信号传输过程中会出现较

高的峰均功率比 PAPR (peak-to-average power ratio), 峰值过高超出了发送端功率放大器的线性动态范围时,将会产生信号的非线性失真,导致系统性能严重下降<sup>[2]</sup>.

目前 OFDM 系统抑制峰均比的算法有信号畸变技术、编码技术以及扰码类技术 3 类<sup>[3-4]</sup>. 其中信号畸变类技术的特点是对传输信号进行幅度畸变,

收稿日期:2013-12-03

作者简介:谢鹏(1987—),男,江西省赣州市人,昆明理工大学硕士研究生,主要研究方向为 OFDM 关键技术.

通信作者:全海燕(1970—),男,云南省昆明市人,昆明理工大学副教授,硕士研究生导师,主要研究方向为信号处理.

降低信号波形的瞬时功率值,由于信号波形的畸变将导致信号频谱发生畸变,产生带内信号失真和带外频谱弥散,从而使误码率性能恶化;编码类技术能有效降低系统的 PAPR,但是由于可以用于编码的序列有限,因此该方法不适用于 OFDM 系统.目前,对选择映射法的研究主要集中在降低运算复杂度上,对提高选择映射法频带效率的研究却较少.本文针对传统选择映射法需要额外传输边带信息的不足,提出一种不需要额外传输边带信息的新算法,即预留子载波-选择映射 RSS-SLM(reserved subcarriers-selected mapping)算法,以期解决传统选择映射 SLM(selected mapping)算法需要额外传输边带信息的缺点,且能有效地降低系统的 PAPR 以及复杂度.

### 1 PAPR 定义与 SLM 算法原理

#### 1.1 PAPR 定义

一个 OFDM 基带模拟信号可以表示为<sup>[5]</sup>

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{j2\pi f_k t} \quad 0 \leq t \leq T$$

其中,  $T$  为 OFDM 符号周期,  $N$  为子载波数, 频域符号  $X = \{X_k, k = 0, 1, \dots, N-1\}$ ,  $X_k$  表示第  $k$  个子载波上的调制数据, 第  $k$  个子载波的载波频率  $f_k = k/T$ .

OFDM 信号的峰均功率比是指: 在单个 OFDM 符号周期内, 信号的峰值功率与平均功率的比值. 连续时间信号  $x(t)$  的 PAPR 定义为

$$PAPR[x(t)] = \frac{\max_{0 \leq t \leq T} (|x(t)|^2)}{P_{av}}$$

其中,  $P_{av}$  为信号  $x(t)$  的平均功率.

在 OFDM 系统中, 一般采用峰均功率比的互补累积分布函数 CCDF(complementary cumulative distribute function) 来衡量 PAPR 的分布, 即

$$P\{\max_{0 \leq k < N} r_k > r\} =$$

$$1 - P\{\max_{0 \leq k < N} r_k < r\} = 1 - (1 - e^{-\lambda})^N$$

其中,  $\lambda = r^2, r \geq 0$ .

#### 1.2 SLM 算法基本原理

SLM 算法<sup>[6-7]</sup>的基本原理是: 在有  $N$  路子载波的一个 OFDM 符号周期内, 输入信号  $X = [x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]$ ,  $K$  组随机相位为  $P_k = [p_{k0}, p_{k1}, \dots, p_{kN-1}]$ . 将信号  $X$  与  $K$  组的相位因子相结合, 得到  $K$  组备选信号  $X_k = [X_0 P_{k0}, X_1 P_{k1}, \dots, X_{N-1} P_{kN-1}]$ . 再对这  $K$  组备选信号  $X_k$  进行 IFFT 处理后, 选择 PAPR 值最小的那一路备选信号作为输出信号进入线性放大器进行传输.

### 2 RSS-SLM 算法

传统的 SLM 算法在每个符号周期内不仅要传输 PAPR 值最小的备选信号, 同时还要传输额外的边带信息, 因而降低了频带利用率. 基于上述问题, 本文提出了一种 RSS-SLM 算法.

本算法的原理如图 1 所示: 把 OFDM 系统中若干幅度为 0 的预留子载波插入到  $N$  路子载波信号的特定位置, 对插入预留子载波后的  $N$  路子载波信号进行矩阵变换和分组, 再对分组后信号的每个分组进行随机行位移, 则每个分组的相位因子信息嵌入到该分组的位移量上, 如果该组的位移量是偶数, 则该组的所有矩阵元素乘以  $-1$ . 最后在备选信号中选择 PAPR 性能最优的一路进行传输.

预留子载波的插入原则是: 预留子载波的位置必须在矩阵的第 1 行的特定列. 假如矩阵分组成若干  $4 \times 4$  的分组矩阵, 则预留子载波的位置为该分组矩阵的(1,1)位置, 如图 2a) 所示,  $A$  表示预留子载波, 其余数字表示第  $i$  路子载波信号, 下标表示位移前该子载波信号所在矩阵的行数. 根据生成的随机位移量对分组进行随机位移, 例如第 1 组的位移量为 2 时, 则位移后的矩阵如图 2b) 所示. 根据算法的

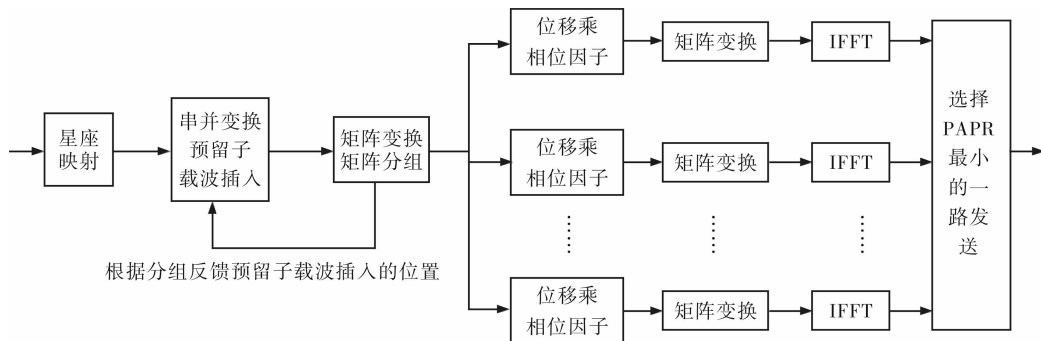


图 1 RSS-SLM 算法原理图

规则,该组的位移量是偶数,则该组的所有元素乘以  $-1$ . 通过上述处理步骤,改变子载波原有的相位组合,生成一种扰码,最后在备选信号中选择 PAPR 性能最优的一路进行传输. 在接收端只要能提取出位移量,就能准确还原出原始信息.

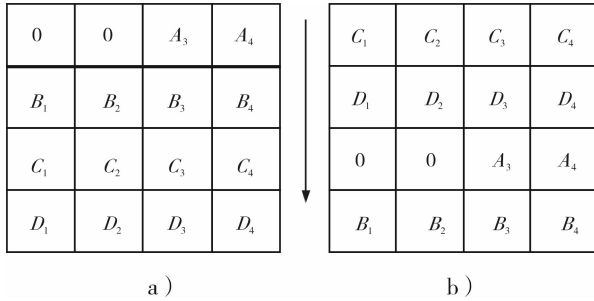


图2 预留子载波插入与位移示意图

本算法的具体实现步骤如下:

1) 将一个 OFDM 符号周期内的  $N$  行子载波信号记为  $\mathbf{X}$ , 把  $\mathbf{X}$  分成  $R \times M$  的矩阵信号  $\mathbf{X}_{R \times M}$ . 再对  $\mathbf{X}_{R \times M}$  按列平均分成  $S$  组, 则第  $i$  组表示为  $\mathbf{X}_{i, R \times M/S}$ , 其中  $1 \leq i \leq S$ .

2) 把 0 幅度预留子载波插入到  $S$  个分组中第 1 行的前 2 列中, 即  $\mathbf{X}_{i, R \times M/S}^{1,1} = \mathbf{X}_{i, R \times M/S}^{1,2} = 0$ . 矩阵中的其他点用来存储要传输的信息.

3) 生成一组随机矩阵  $\mathbf{P}_{k \times s}$  作为位移参数, 其中  $k$  为随机位移序列的条数, 且  $p(k, s) < R$ .

4) 将分组后的每组信号矩阵  $\mathbf{X}_{i, R \times M/S}$  根据位移参数作行位移, 位移量为  $\mathbf{P}_{k \times s}(j, i)$ . 如果该组的位移量是偶数, 则对该组的所有元素乘以  $-1$ .

5) 将完成步骤 4 后的信号  $\mathbf{X}_{R \times M}$  转换成  $N$  路的信号  $X$ , 并对其计算 PAPR.

6) 按照要求重复步骤 4 和步骤 5, 计算出  $K$  路备选信号的 PAPR, 并选择 PAPR 值最小的那一路备选信号作为输出信号进行传输.

在接收端, 对进行完 FFT 处理后的信号按照步骤 1 进行分组, 假定 FFT 完成后的信号为  $Z$ , 则分组后的信号为  $Z_{i, R \times M/S}$ . 在第  $i$  组信号  $Z_{i, R \times M/S}$  中, 将该组的前 2 列作行功率运算, 则该组的位移量为该组中功率最小行的行数, 从而提取出该组的位移量, 再根据各组的位移参数信息解调出最终的信息.

### 3 仿真结果及分析

本算法在 Matlab 平台下仿真, 具体仿真参数如下: 信道噪声为加性高斯白噪声 (AWGN). 采用正交相移键控 (QPSK) 进行调制, 子载波数  $N = 128$ , 采样因子为 1, 相位因子为 1 或  $-1$ , OFDM 符号数为

10 000, 矩阵行数  $R = 4$ , 矩阵列数  $M = 32$ , 备选信号条数  $K = 8$ . 仿真结果如图 3—图 5 所示.

传统的 Grouping-SLM 算法中分组数  $S$  过低将导致 PAPR 性能降低<sup>[6]</sup>, 但是在 RSS-SLM 算法中由于采用了行位移技术, 在分组数  $S$  较少的情况下有良好的 PAPR 性能. 从图 3 可以看出, Grouping-SLM 算法中分组数  $S = 8$  的 PAPR 性能不及 RSS-SLM 算法中  $S = 4$  的 PAPR 性能, 在 RSS-SLM 算法中, 分组数的增加对 PAPR 值下降的影响并不明显, 但分组较少可以减少系统的复杂度.

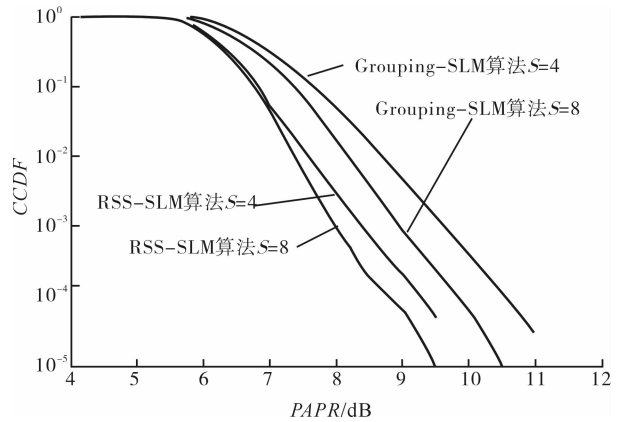


图3 Grouping-SLM 算法与 RSS-SLM 算法不同分组数对 PAPR 的影响

图 4 是原始信号、典型的 Grouping-SLM 算法、RSS-SLM 算法和典型 SLM 算法在分组数等于 4 时 PAPR 性能的比较. 从图 4 中可以看出, RSS-SLM 算法的 PAPR 比原始信号下降了 3 dB. 由于分组后采用行位移技术, RSS-SLM 算法的 PAPR 比 Grouping-SLM 算法下降了 1.5 dB. RSS-SLM 算法虽然与传统 SLM 算法相比在降 PAPR 性能上有 1 dB 的差距, 但

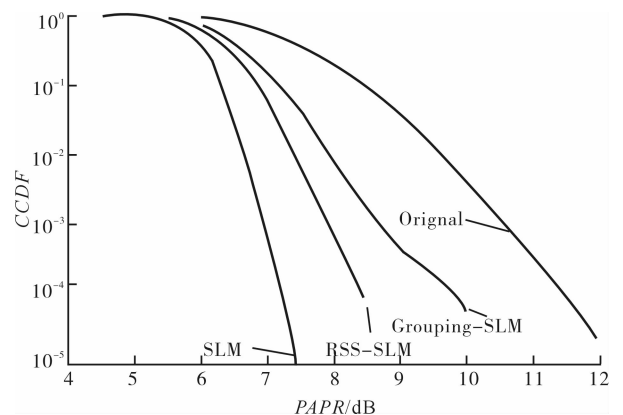


图4 原始信号、典型的 Grouping-SLM 算法、RSS-SLM 算法和典型 SLM 算法在分组数等于 4 时 PAPR 性能比较

是该算法无需额外传输边带信息,可大大提高子载波的利用率,因而在实际应用中更有优势.

图5为RSS-SLM算法与传统SLM算法之间误码率的比较.从图5中可以看出,RSS-SLM算法的误码率与传统SLM算法相同,说明该算法能够准确地提取嵌入到预留子载波上的边带信息并解码.

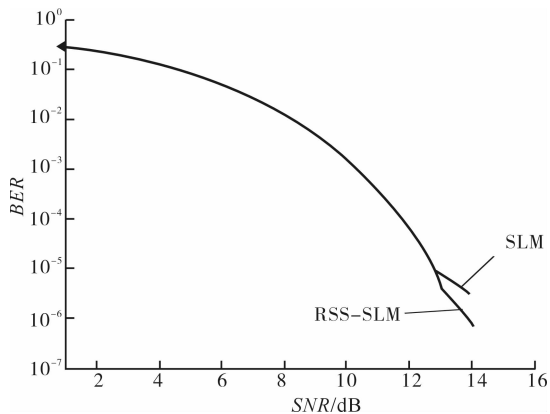


图5 RSS-SLM算法与传统SLM算法之间误码率的比较 BER性能比较

从仿真结果可以看出:RSS-SLM算法对分组后的信号采用随机位移作为辅助扰码技术,能显著地降低OFDM系统的PAPR.利用编码把边带信息嵌入到预留子载波的位置信息上,从而省去了边带信息的额外传输,提高了系统的频带利用率,且保持了系统较高的稳定性.

## 4 结语

针对传统的SLM算法需要额外传输边带信息的缺点,本文提出了一种RSS-SLM算法.该算法把边带信息嵌入到预留子载波的位置信息上,解决了传统SLM算法需要额外传输边带信息的缺点.采用

分组随机位移,能使系统在低分组数的情况下有良好的PAPR性能.理论分析以及仿真结果表明,RSS-SLM算法不仅能显著降低OFDM系统的PAPR,提高系统的频带利用率,且使系统保持较高的稳定性.在计算复杂度上,RSS-SLM算法与传统的SLM算法的运算量相同.如何降低算法的运算复杂度,将是今后的研究重点.

## 参考文献:

- [1] 陈东华.高速移动信道中的OFDM载波频偏估计[J].郑州轻工业学院学报:自然科学版,2012,27(5):99.
- [2] Han S H, Lee J H. An overview of peak-to average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission [J]. IEEE Wireless Communications, 2005, 12(2):56.
- [3] Armstrong J. Peak-to-average power reduction for OFDM by repeated clipping and frequency domain filtering[J]. Electronics Letters, 2002, 38(5):246.
- [4] James A D, Jonathan J. Peak-to-mean power control in OFDM, Golay complementary sequences, and reed-muller codes [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1999, 45(7):2397.
- [5] Muller S H, Huber J B. A comparison of power reduction schemes for OFDM [C]//Proc IEEE Globecom '97, Phoenix, AZ, 1997:1-5.
- [6] Wang J, Lee J, Park J, et al. Combining of cyclically delayed signals: A low-complexity scheme for PAPR reduction in OFDM systems [J]. IEEE Transmission Broadcast, 2010, 56(4):577.
- [7] Jeon H B, No J S, Shin D J. A low-complexity SLM scheme using additive mapping sequences for PAPR reduction of OFDM signals [J]. IEEE Transmission Broadcast, 2011, 57(4):866.