

# 部分传输法降低 MC-CDMA 系统峰均比的研究

李 龙, 廖 明

(重庆大学 通信工程学院, 重庆 400030)

**摘要:** 提出了一种新的降低多载波码分多址(MC-CDMA)系统峰均比(PAPR)和减少部分传输法(PTS)运算复杂度的方法,即非均匀分割-次优算法。仿真结果表明,该方法与传统的均匀分割-最优算法相比,性能仅下降约 0.4 dB,但计算复杂度却由指数级运算降为线性级运算。

**关键词:** 多载波码分多址;峰均比;部分传输法

中图分类号: TN914.53

文献标识码: A

## Research on PAPR reduction in MC-CDMA system by using partial transmit sequence schemes

LI Long, LIAO Ming

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** In order to reduce peak-to-average power ratio(PAPR) of multi-carrier code division multiple access(MC-CDMA) system and the computational complexity of partial transmit sequence(PTS) efficiently, a new method, un-uniform partition-suboptimal algorithm, is proposed in this paper. The simulation results show that, as compared with traditional, uniform partition-optimal algorithm, the PAPR value increases only about 0.4 dB, while the computational complexity is reduced from exponential order operation to linear order operation.

**Key words:** multi-carrier code division multiple access; peak-to-average power ratio; partial transmit sequence

多载波码分多址(MC-CDMA)技术是正交频分复用(OFDM)技术与码分多址(CDMA)技术相结合的技术<sup>[1]</sup>。它弥补了两种技术的不足,保留了它们的优点。但是,它在继承 OFDM 调制的诸多优点的同时,也不可避免地继承了其信号具有较高峰均比(PAPR)的问题。因此,如何降低 MC-CDMA 系统的 PAPR 引起了人们广泛地研究。部分传输序列法(PTS)<sup>[2]</sup>是一种较好的减小 PAPR 的方法。它的基本思想是:设计一组相位因子  $b_v(v=1 \cdots V)$ ,将  $N$  个子载波按一定的分组方式分成  $V$  路,每路分别进行 IFFT,再乘上不同的相位因子  $b_v$ ,其中  $b_v$  共有  $W$  种不同的取值。将各路信号叠加,得到一组备选信号,然后从组备选信号中选出 PAPR 最小的一组进行传输。由文献[3]可知,PTS 的计算量是指数级的,且 PTS 算法对信号 PAPR 性能的改善与子块的分割数目、相位因子的取值范围有关。本文首先在分割方式上采用不同于以往的分割方式,即采用非均匀分割方式,然后与运算量大为减少的次优 PTS 算法相结合,这种方法在降低系统的

PAPR 性能与运算量之间取得了很好折衷,不失为一种较好的实际应用方法。

### 1 系统模型及 CCDF 公式

#### 1.1 系统模型

MC-CDMA 的系统模型有多种形式,每一种形式结构性能均不相同,本文采用如图 1 所示的一种常见的结构框图来说明问题。设多个用户的数据经过调制、串并变换、复制并与各自所对应的扩频码片相乘后,累加在一起送入 IFFT 调制模块。PTS 的方法是将输入的 MC-CDMA 符号分割成  $V$  个互不重叠的子块,(又叫子序列),并分别给每个子块乘以不同的相位因子,通过选择适当的相位因子来减小合并后的序列的 PAPR 值。

将原始频域的向量序  $X$  分为  $V$  个子集,用  $X_v(v=1, 2, \dots, V)$  表示,则有:  $X = \sum_{v=1}^V X_v$ , 引入相位因子  $b_v(v=1 \cdots V)$ , 且  $b_v = e^{j\varphi_v}$  ( $\varphi_v \in [0, 2\pi]$ ), 并称  $b_v$  为辅助信息, 则经过相

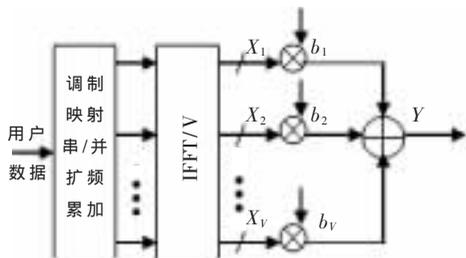


图1 采用PTS方法时MC-CDMA系统发射端框图

位合并后的序列  $Y$  可以表示为:

$$Y = \sum_{v=1}^V b_v X_v \quad (1)$$

由IFFT变换的线性性质,可得经过IFFT变换后的时域信号为:

$$y' = \sum_{v=1}^V b_v \text{IFFT}(X_v) = \sum_{v=1}^V b_v \cdot x_v \quad (2)$$

式中  $x_v = \text{IFFT}(X_v)$ , 并称  $x_v$  为部分传输序列。PTS算法的实质就是通过选择合适的相位因子  $b_v$ , 使得合并后的PAPR值最小, 则  $b_v$  要满足:

$$\{b_v, v=1, \dots, V\} = \arg \min_{\{b_v, v=1, \dots, V\}} \left( \max_{1 \leq n \leq N} \left| \sum_{v=1}^V b_v \cdot x_{v,n} \right|^2 \right) \quad (3)$$

其中,  $\arg \min(\cdot)$  表示函数所得最小值时所使用的依据条件。

## 1.2 CCDF 公式

在MC-CDMA系统中,按照中心极限定理,当子载波数较多或用户数较大时,总信号实部与虚部呈高斯分布,则信号的幅度服从瑞利分布,功率则服从自由度为2的中心  $\chi^2$  分布,其密度函数为  $e^{-y}$ 。对于给定的功率值,功率的互补累积分布函数(CCDF)定义为

$$p_r = P_r(p > p_0) = \int_{p_0}^{+\infty} \exp(-y) dy = \exp(-p_0) \quad (4)$$

MC-CDMA符号周期内的  $Q$  个采样值当中每个采样值的功率都小于的概率为  $(1 - e^{-p_0})^Q$ 。对于给定的峰均比PAPR0(把均值功率归一化, PAPR0就是功率值), MC-CDMA信号的峰均比的CCDF为

$$P_{\text{PAPR0}} = P(\text{PAPR} > \text{PAPR0}) = 1 - (1 - e^{-\text{PAPR0}})^Q \quad (5)$$

## 2 非均匀分割和次优PTS算法

### 2.1 非均匀分割

PTS方法中有三种分割子块的方法: 相邻分割、随机分割、交织分割。相邻分割是把  $N/V$  个连续的子载波按顺序分别分在同一个子块中; 随机分割就是把每个子载波随机地分配到  $V$  个PTS块中的任一块中; 交织分割则将相邻间隔为  $V$  的子载波分到同一个块中。由图2可知, 在其他条件相同的情况下, 经随机分割后的子序列获得的PAPR性能最佳。

现有的文献在采用PTS方法时, 大多采用均匀的分割方式。本文对传统的PTS分割方式进行了改进: 即采

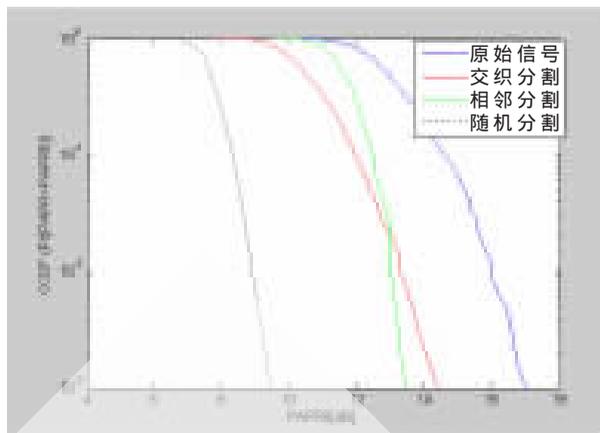


图2 三种分割方式的CCDF图

用非均匀的分割方式, 让中间的数据块的长度是两边数据块长度的倍数, 如1.5倍、2倍、2.5倍等。仿真结果显示, 非均匀的分割方式相对于均匀的分割方式能更好地降低系统的PAPR。

### 2.2 次优PTS算法

在文献[4]中, Cimini和Sollenberger提出了一种仅使用二进制加权因子的次最优的组合算法。这种算法概括如下:

- (1) 假设  $b_i = 1, i=1 \dots V$ 。计算得到 PAPR1;
- (2)  $i=1$ ;
- (3) 令  $b_i = -1$ , 重新计算得到 PAPR(i);
- (4) if  $\text{PAPR}(i) < \text{PAPR}(i-1)$ , 则  $b_i = -1$ , 否则  $b_i = 1$ ;
- (5)  $i=i+1$ ;
- (6) goto(3); 直到所有的  $V$  中可能试完为止。

在Cimini方法中只需  $V$  步就可得到所需的相位因子。

文献[5]在迭代PTS算法的基础上提出自适应PTS算法, 该算法中引入门限  $L$ , 过采样因子取  $\alpha=4$ , 并给出参数  $K(1 \leq K \leq 2^{M-1})$  代表迭代次数。通过对  $L$  和  $K$  的合理选择, 可以有效降低传统PTS算法的复杂度。

## 3 仿真及分析

在以下的仿真中, 采用QPSK调制方式, 串并比设为8, 扩频码采用Walsh-Hadamard码, 扩频码的长度为64, 子载波数为512, 用户数为8。不失一般性, 取相位因子的空间为  $M=2$ , 取值为  $\{-1, +1\}$ , 子载波分割数为4, 即  $V=4$ 。

图3给出了采用随机分割方式时, 最优PTS算法(即遍历搜索算法)与次优PTS算法之间的CCDF比较图。从图中可以看出, 当  $\text{CCDF}=10^{-3}$  时, 次优PTS算法仅比最优PTS算法高不到0.5dB。

图4给出了本文所提出的非均匀分割一次优PTS方法与传统的均匀分割—最优PTS方法的性能比较, 从图中可以看出: (1) 非均匀分割方式性能优于同条件的均匀分割方式; (2) 中间数据块与两端数据块比值为2

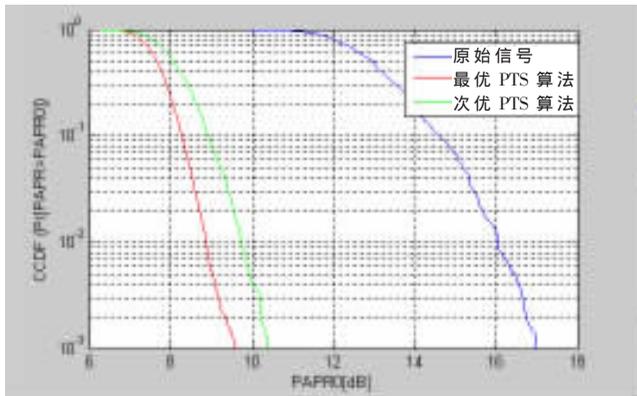


图3 最优PTS算法与次优PTS算法性能比较

的分割方式性能优于值为1.5和2.5的分割方式;(3)虽然当 $CCDF=10^{-3}$ 时,本文提出的方法比同条件的传统方法性能下降了约0.4 dB,但相位因子的复加运算量却由 $V \times W^V$ 降为了 $V \times V$ 。

从以上几点可以看出,本文提出的利用PTS技术来降低MC-CDMA系统PAPR的方法,即非均匀分割一次优PTS方法。当采用非均匀分割方式并且让中间数据块为两边数据的2倍,同时,采用次优PTS算法时,既能有效地降低系统的PAPR,又避免了较高的运算复杂度。在降低系统的复杂度和性能优化之间取得了很好的折衷,是一种较好的实际应用方法。

#### 参考文献

- [1] YOU Y H, JEON W. Low-complexity PAR reduction schemes using SLM and PTS approaches for OFDM-CDMA

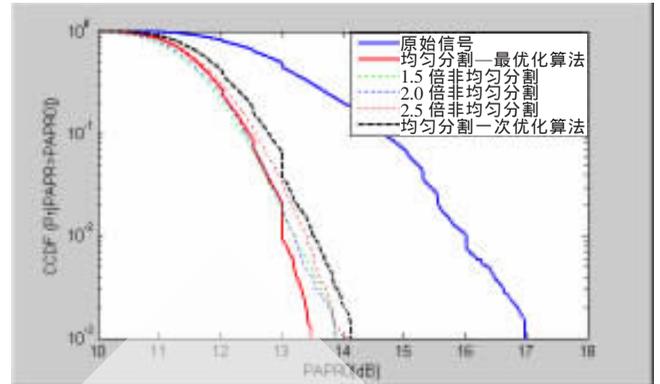


图4 非均匀分割-次优PTS方法与均匀分割-最优PTS方法性能比较

signals[J]. IEEE Transaction on Consumer Electronics, 2003, 49(2):284-289.

- [2] YANG L, CHEN R S, SIU Y M, et al. PAPR Reduction of an OFDM Signal by Use of PTS with Low Computational Complexity[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2006, 52(1): 83-86.

- [3] 李梅,王静,刘宇,等.降低OFDM系统峰平比的改进PTS技术研究[J].信号处理,2006,2(6):899-911.

- [4] LEONARD J, CIMINI Jr, NELSON R. Peak-to-average power ratio reduction of an OFDM signal using partial transmit sequences[J]. IEEE Commun. Lett, 2000, 4(3):86-88.

- [5] JAYALATH A D S, TELLAINBURA C. Adaptive PTS approach for reduction of peak-to-average power ratio of OFDM signal[J]. IEEE Elec. Let, 2000, 36(14):1226-1228.

(收稿日期:2009-03-13)