

# 基于频域翻转减少 OFDM PAPR 的新技术

刘旺旺, 万毅

(兰州大学 信息学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**正交频分复用(OFDM)系统因其频谱利用率高,有良好的抗脉冲干扰及抗多径效应等优点,近年来得到了广泛的应用。但 OFDM 系统一般都有很高的峰均功率比,高峰均功率比(PAPR)会使系统末端的高功率放大器工作在非线性区,影响各子载波间的正交性,使得系统整体性能下降,严重影响了其实用性,是其面临的主要问题之一。就此提出了一种基于频域信号翻转的新技术,通过对频域数据进行交织分割分组后进行翻转重组,用以降低 OFDM 系统的 PAPR;同时经过理论推导,对系统的计算复杂度进行了优化。仿真结果表明,本研究提出的技术能在较低复杂度下,有效地降低 PAPR,而且不引入干扰。

**关键词:**无线通信技术;正交频分复用;PAPR;频域翻转;IFFT

**中图分类号:**TN914

正交频分复用(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)是一种高速信号传输技术<sup>[1]</sup>,有频谱利用率高、抗脉冲干扰及多径衰落等优点,成为 3GPP LTE 核心技术之一<sup>[2]</sup>,也被应用于多种通信标准中,如:欧洲地面数字视频广播标准 DVB-T、IEEE802.11、IEEE802.16 等。近年来随着 LTE 及 4G 标准的逐渐规范化,OFDM 系统作为 4G 通信中的核心技术,倍受关注。OFDM 系统的一个严重的缺陷是它有高的峰值平均功率比(PAPR)<sup>[3-5]</sup>。无线通信系统一般都会在末端有一级高功率放大器(HPA: High Power Amplifier)。高的峰均功率比(PAPR)会使系统末端的高功率放大器工作在非线性区,使其对幅值较大的信号放大倍数不足,从而影响各子载波间的正交性,导致接收信号误码率增加,使得系统整体性能下降,严重影响了其实用性。

目前减小 PAPR 的方法有:编码(Coder)、限幅(Clipping)、交织、部分传输序列(PTS: Partial Transmit Sequence)、选择性映射(SLM: Selected Mapping)、非线性压扩变换、星座图扩展(Constellation Extension)<sup>[6]</sup>等。本文提出一种基于频域信号翻转的新技术,通过对频域数据进行交织分割分组后进行翻转重组来降低 OFDM 系统 PAPR;同时经过理论推导,对系统的计算复杂度进行优化。

## 1 OFDM 简介

### 1.1 OFDM 系统结构

OFDM 系统是一种高速信号传输技术,其实现原理是:将系统可用的带宽  $W$  分为  $N$  个子块;将高

速的串行数据流,经串并转换分为  $N$  路低速数据,再对这些信号进行调制(QAM 或 QPSK 等),将每个码元映射到星座图上对应的点;调制后的数据再经过 IDFT 变换,调制到  $N$  个相互正交的子载波上,再对这个合成的信号进行发送<sup>[7,8]</sup>。

频域数据  $c$  经过 IDFT 变换得到的  $x$ ,则:

$$x[k] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} c[i] e^{j2\pi ki} \quad (1)$$

由式(1)可知, $x$  由多个子载波信号相加而成。

### 1.2 PAPR 定义

峰均功率比(PAPR)定义为:

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

其中  $E\{\cdot\}$  为求均值。可知:PAPR 就是信号的最大瞬时功率与平均功率之比。

## 2 基于频域翻转减少 PAPR 的新技术

### 2.1 实现原理

将子载波个数为  $N$  的 OFDM 数据  $c = [c_0, c_1, \dots, c_{N-1}]^T$  分割成  $M$  个相隔间距为  $M$  的等长子块,则原始序列可以用  $\{c_m, m = 1, 2, \dots, M\}$  表示,  $c_m = [c_m, c_{M+m}, \dots, c_{(L-1)M+m}]^T$ 。然后,将这  $M$  个子块在频域内进行翻转,重新组合成新的序列  $\{c_{new\_m}, new\_m = 1, \dots, M\}$ 。  $new_j = i$  说明原始序列  $c_i$  在新的序列中被移到了第  $j$  个位置上。其中  $1 \leq i, j \leq M$ 。每个映射都是一一映射,每次的排列次序不相同,故可能生成的新序列是原  $M$  段序列的全排列,共有  $M!$  种可能情况。对新序列分别进行 IDFT,从中选择 PAPR 值

最小的一组进行发送。

### 2.2 复杂度分析

对于子载波个数为  $N$ , 分段块数为  $M$  的 OFDM 符号, 有:

$$\begin{aligned}
 x(k) &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=0}^{N-1} c[i] e^{j\frac{2\pi}{N}ki} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{l=0}^{L-1} c[LM] e^{j\frac{2\pi}{N}kLM} + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{l=0}^{L-1} c[LM+1] e^{j\frac{2\pi}{N}k(LM+1)} \\
 &\quad + \dots + \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{l=0}^{L-1} c[LM+M-1] e^{j\frac{2\pi}{N}k(LM+M-1)} \\
 &= \sum_{m=0}^{M-1} \frac{1}{\sqrt{M}} e^{j\frac{2\pi}{N}km} \left\{ \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{l=0}^{L-1} c[LM+m] e^{j\frac{2\pi}{L}kl} \right\}
 \end{aligned}$$

则对于任意  $0 \leq k \leq L-1, 0 \leq n \leq M-1$ , 有:

$$\begin{aligned}
 x[k+nL] &= \sum_{m=0}^{M-1} \frac{1}{\sqrt{M}} e^{j\frac{2\pi}{N}(k+nL)m} \left\{ \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{l=0}^{L-1} c[LM+m] \right. \\
 &\quad \left. e^{j\frac{2\pi}{N}nl} \right\} e^{j\frac{2\pi}{L}kl}
 \end{aligned}$$

可见,  $x$  的计算, 先计算  $M$  个长度为  $L$  的 IFFT, 再将这  $M$  个 IFFT 结果与  $Q_{n,m}$  向量相乘, 拼接得出  $N$  点的  $x$  值。  $M$  个长度为  $L$  的 IFFT 乘法次数为  $\frac{1}{2}ML\log_2 L$ ; 不同的频域翻转情况, 对应每个  $C_m$  最多可能被翻转到  $M$  种情况, 所以共需要  $M^2L = MN$  次乘法。

综上, 总运算复杂度为:  $\frac{1}{2}ML\log_2 L + MN$ 。

### 2.3 结果仿真

计算机仿真采用子载波数  $N = 256$ , 分块数为  $M = 4$ , 对 3000 个 OFDM 符号进行统计, 得出不同算法下 PAPR 的互补概率分布函数 (CCDF) 及误码率图。新方法与传统 OFDM 系统 PAPR 的 CCDF 分布如图 1 所示。

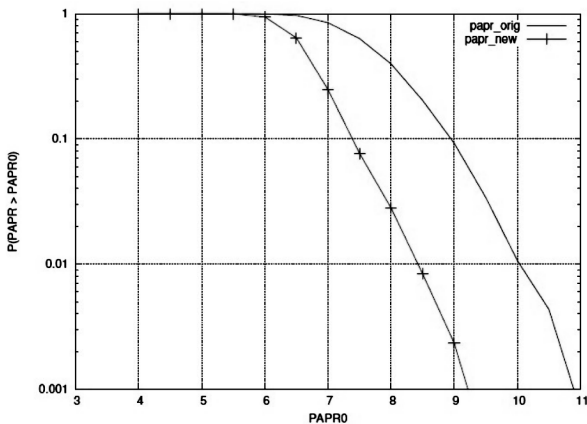


图1 CCDF 分布

可见经典 OFDM 有 0.001 的概率高于 11 dB, 而新方法能控制在 9.2 dB 左右, 有效地抑制了

OFDM 系统的 PAPR。

不同信噪比之下的误码情况如图 2 所示, 可见新方法与原始方法有相同的误码率表现, 即没有对 OFDM 系统引入干扰。

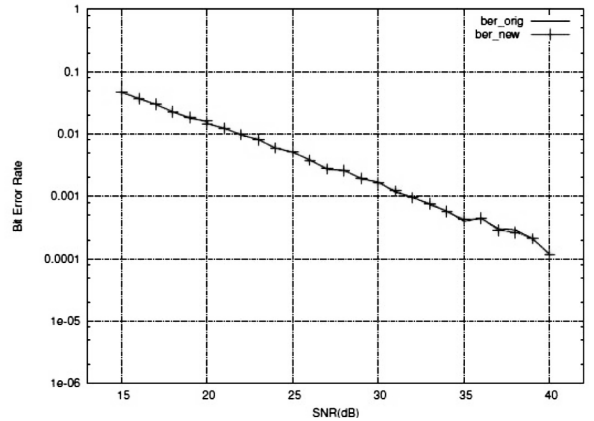


图2 误码率分布

### 3 结论

OFDM 系统的高峰均功率比 (PAPR) 是其面临的主要问题之一。就此提出一种基于频域信号翻转的新技术, 并对其计算复杂度进行优化。仿真结果表明, 提出的技术能在较低复杂度下有效地降低 PAPR, 而且不引入干扰, 具有很强的应用灵活性。

#### 参考文献:

- [1] 佟学俭, 罗涛. OFDM 移动通信技术与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社.
- [2] 罗仁泽. 新一代无线移动通信系统关键技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2007.
- [3] S H Han, J H Lee. An Overview of Peak - to - Average Power Ratio Reduction Techniques for Multicarrier Transmission[J]. IEEE Wireless Communications, 2005, 12 (2): 56-65.
- [4] T Jiang, Y Wu. An Overview: Peak - to - Average Power Ratio Reduction Techniques for OFDM Signals[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2008, 54(2): 257-268.
- [5] Y J Kou, W S Lu, A Antoniou. A New Peak - to - Average Power - Ratio Reduction Algorithm for OFDM Systems via Constellation Extension[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(5): 1823-1832.
- [6] 尹志伟, 万毅. 基于星座图扩展降低 OFDM 峰均功率比的新方法[J]. 中国科技论文在线.
- [7] A R S Bahai, B R Saltzberg. Multi - carrier Digital Communications: Theory and Application of OFDM[M]. Mc - Graw - Hill, 1999.
- [8] J G Proakis. Digital Communications[M]. Mc - Graw - Hill, 2000.