

无边带信息传输的低复杂度改进 SLM 方案

刘 臣, 黄丽亚, 朱文俊

(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 针对 SLM 方法计算复杂度高以及传输边带信息会导致传输效率下降的缺陷, 提出了一种改进的 SLM 方案。改进方案在发送端对数据分组进行选择映射, 在接收端通过分析接收到的数据的功率变化获得随机相移序列。改进方案既能降低计算复杂度, 又不需要传输边带信息, 避免了传输效率的损失。

关键词: 正交频分复用; 峰均功率比; 选择映射; 计算复杂度; 边带信息

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)18-0069-03

Improved SLM scheme with low complexity and no side information

LIU Chen, HUANG Li Ya, ZHU Wen Jun

(School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: SLM method is high computational complexity and needs to transmit side information which may contribute to reduce the transmission efficiency. Against to these two drawbacks, an improved SLM scheme was proposed. In the improved SLM scheme, data was grouped to selective map in sender and random phase shift sequence was gained by analyzing power change of received data at receiver. The improved SLM scheme could both reduce computational complexity and transmit random phase shift sequence without side information which avoided transmission efficiency loss.

Key words: OFDM; PAPR; SLM; computational complexity; side information

正交频分复用(OFDM)技术具有频谱利用率高、可以有效对抗多径干扰等优点, 近年来得到广泛应用。但是 OFDM 存在峰均功率比(PAPR)较高的问题。由于功率放大器的线性范围有限, 因此 PAPR 较高的信号通过功率放大器会产生非线性失真。为了减小这种非线性失真, 需要扩大功率放大器的线性范围, 而这又会导致功率发射效率下降和成本提高^[1]。

目前降低 OFDM 系统 PAPR 的方法可以分为三类: 限幅类、编码类和概率类^[2]。参考文献[3]~[5]提出的方法分别属于限幅类、编码类和概率类。选择映射(SLM)方法能够有效降低 OFDM 系统的 PAPR, 但是计算复杂度高, 需要额外带宽传输边带信息, 从而降低传输效率。目前对 SLM 的改进工作主要是针对 SLM 方法的上述两个缺点进行的, 比如参考文献[6]、参考文献[7]提出的改进方案可以降低计算复杂度, 参考文献[8]、参考文献[9]提出的改进方案能够不需要传输边带信息, 但是还没有能够同时解决这两个缺点的改进方案。本文通过分析 SLM 原理, 将参考文献[7]和参考文献[9]提出的方案有机结

合, 提出一种新的 SLM 方案, 既降低了计算复杂度, 又不需要传输边带信息。

1 SLM 方法原理

设要发送的 OFDM 符号频域数据向量为 $X=[X_1, X_2, \dots, X_N]$ 。SLM 方法首先产生 M 个长度为 N 的不同随机相移序列:

$$P^{(\mu)}=[P_0^{(\mu)}, P_1^{(\mu)}, \dots, P_{N-1}^{(\mu)}] \quad (\mu=1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

其中, $P_i^{(\mu)}=\exp(j\varphi_i^{(\mu)})$, $\varphi_i^{(\mu)}$ 服从 $[0, 2\pi]$ 之内的均匀分布。将这 M 个相移序列分别与要发送的频域数据向量 X 点乘, 得到 M 个不同的输出向量 $X^{(\mu)}$, 即

$$X^{(\mu)}=\langle X \cdot P^{(\mu)} \rangle=[X_0 P_0^{(\mu)}, X_1 P_1^{(\mu)}, \dots, X_{N-1} P_{N-1}^{(\mu)}] \quad (2)$$

式中, $\langle \cdot \rangle$ 表示向量之间的点乘。然后对所得到的 M 个不同的输出序列 $X^{(\mu)}$ 分别实施 IFFT 变换, 相应得到 M 个不同的输出序列 $x^{(\mu)}=[x_0^{(\mu)}, x_1^{(\mu)}, \dots, x_{N-1}^{(\mu)}]$, 最后从这 M 个输出序列中选择峰均功率比最小的序列进行发送。

为了能够提供多个 OFDM 信号进行选择, SLM 方法

技术与方法 Technique and Method

需要 M 个 IFFT 计算器,使得计算复杂度有了很大的提高。在接收端,为了能够正确接收信号,需要知道随机相移序列信息,因此需要将随机相移序列作为边带信息进行传输,而传输边带信息会占用额外的带宽,从而降低传输效率。

2 改进的 SLM 方案

针对 SLM 方法计算复杂度高,传输边带信息导致传输效率降低的缺点,提出了改进的 SLM 方案。改进方案在发送端对数据分组进行选择映射,从而降低计算复杂度,利用发送数据的幅值变化表示随机相移信息,从而不需要传输边带信息,提高传输效率。

2.1 分组选择映射

如果 SLM 方法在发送端产生的随机相移序列个数为 M ,要处理的数据向量长度为 N ,则在发送端需要进行 $\frac{MN}{2} \log_2 N$ 次复数乘法和 $MN \log_2 N$ 次复数加法,再考虑相位调整的工作量,则在发送端共需要进行 $MN(1 + \frac{1}{2} \log_2 N)$ 次复数乘法和 $MN \log_2 N$ 次复数加法。

通过分组选择映射降低 SLM 方法的复杂度的思路源于 IFFT 的性质。IFFT 的计算量与数据的长度成正比。在 OFDM 系统的发送端将数据分组,分组后每组数据长度都会减小,这样每组进行 IFFT 的计算量就会减小。另外,OFDM 符号的数据长度越长,子载波个数越大,OFDM 系统的峰均功率比就越大,因此,数据分组能够降低信号峰均功率比。下面分两组数据为例具体介绍分组选择映射。

在 OFDM 系统发送端,将 N 个数据向量分为两组,长度均为 $N/2$,分别用 X^U 和 X^L 表示,分别将 X^U 和 X^L 与 M 个随机相移序列点乘,随机相移序列长度为 $N/2$,得到的数据用 $X^{(U,\mu)}(\mu=1,2,\dots,M)$ 和 $X^{(L,\mu)}(\mu=1,2,\dots,M)$ 表示,则

$$\begin{aligned} X^{(U,\mu)} &= \langle X^U \cdot P^{(U,\mu)} \rangle \\ &= [X_0^U P_0^{(U,\mu)}, X_1^U P_1^{(U,\mu)}, \dots, X_{N/2-1}^U P_{N/2-1}^{(U,\mu)}] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} X^{(L,\mu)} &= \langle X^L \cdot P^{(L,\mu)} \rangle \\ &= [X_0^L P_0^{(L,\mu)}, X_1^L P_1^{(L,\mu)}, \dots, X_{N/2-1}^L P_{N/2-1}^{(L,\mu)}] \end{aligned} \quad (4)$$

对 $X^{(U,\mu)}(\mu=1,2,\dots,M)$ 和 $X^{(L,\mu)}(\mu=1,2,\dots,M)$ 分别进行 IFFT 处理,从得到的两组 OFDM 时域数据中分别选择 PAPR 值最小的输出信号进行合并发送。使得两组 OFDM 符号的 PAPR 值最小的两组随机相移序列也要进行合并,作为边带信息发送。

采用分组选择映射,如果分组数为 S ,则在发送端需要进行 $MN(1 + \frac{1}{2} \log_2 \frac{N}{S})$ 次复数乘法和 $MN \log_2 \frac{N}{S}$ 次复数加法,计算量相对于改进前的 SLM 方法大大减小。

2.2 随机相移序列的处理

传统 SLM 方法中,随机相移序列的幅值均为 1。这

里利用幅值对随机相移序列进行标记,达到不需要传输边带信息的目的,具体方法为:

将 M 个随机相移序列组成随机相移表。将随机相移表中的每个随机相移序列 $P^{(\mu)}$ 都分成 L 个子序列,每个子序列长度为 $D=N/L$,用 $p_{d,l}$ 表示第 $l+1$ 个子序列中的第 $d+1$ 个元素,其中 $d \in \{0,1,\dots,D-1\}, l \in \{0,1,\dots,L-1\}$ 。在每个子序列中选择 K 个元素,将其幅值设为定值 $C>1$,其余 $(D-K)$ 个元素的幅值仍为 1。同一随机相移序列中的各个子序列的幅值为 C 的元素在子序列中的位置是相同的,也就是说 $p_{d,l}$ 幅值大小与 d 无关,与 l 也无关。

对于给定的随机相移序列,幅值为 C 的元素在子序列中的位置构成含有 K 个元素的集合 $S^{(\mu)}$ 。如果随机相移序列对应的集合 $S^{(\mu)}=\{0,3\}$,则在随机相移序列的所有子序列中,在 $d=0$ 和 $d=3$ 的元素 $p_{d,l}$ 的幅值等于 C 。由于不同随机相移序列对应的集合 $S^{(\mu)}$ 不同,因此集合 $S^{(\mu)}$ 可以作为区分随机相移序列在随机相移表中位置的标识,而发送的随机相移序列的幅值包含着集合 $S^{(\mu)}$ 的信息,因此可以不必发送包含集合 $S^{(\mu)}$ 的边带信息。

由排列组合可知,集合 $S^{(\mu)}$ 的个数最多为 $C_D^K = \frac{D!}{K!(D-K)!}$,因此随机相移表中的随机相移序列的个数最多为 $M = \frac{C_D^K}{C_D}$ 。图 1 列出了按照以上方法生成的一组随机相移序列的幅值,其中随机相移序列被分为 $L=3$ 个长度为 $D=4$ 的子序列,参数 $K=1$,这些随机相移序列可用于含有 12 个子载波的 OFDM 系统。

	子序列 1	子序列 2	子序列 3
$S_\mu=\{0\}$	C 1 1 1	C 1 1 1	C 1 1 1
$S_\mu=\{1\}$	1 C 1 1	1 C 1 1	1 C 1 1
$S_\mu=\{2\}$	1 1 C 1	1 1 C 1	1 1 C 1
$S_\mu=\{3\}$	1 1 1 C	1 1 1 C	1 1 1 C
$n=$	0 1 2 3	4 5 6 7	8 9 10 11
$d=$	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3

图 1 一组随机相移序列的幅值

发送端与接收端采用同样的算法产生相同的随机相移表。随机相移序列被标识后,其他部分与传统 SLM 方法一致。

由于随机相移序列的元素 $p_{d,l}$ 的幅值可能为 1,也可能为 C ,频域采样数据 X_n 与随机相移序列元素 $p_{d,l}$ 相乘后得到的输出数据的幅值将大于或等于 X_n 的幅值,因此信号的平均功率将会增大,这种功率的增加可能会影响 OFDM 系统的 PAPR 性能。

接下来分析接收端如何从接收到的数据中提取随机相移序列。假设接收端接收到的发送符号为 $x^{(\mu)}$,通过信道估计能够较准确地排除信道衰落的干扰,经过 FFT 变化得到 $Y^{(\mu)}$ 。

技术与方法 Technique and Method

接收端将接收到的信号序列 $Y^{(u)}$ 分成 L 个长度为 D 的子序列, 在每个子序列里寻找 K 个平均功率较大的符号的位置。用 $y_{d,l}$ 表示在第 $l+1$ 个子序列中第 $d+1$ 个接收符号采样点, 其中 $d \in \{0, 1, \dots, D-1\}, l \in \{0, 1, \dots, L-1\}$, 则子序列第 $d+1$ 个位置上的各个符号的平均功率为:

$$E_d = \frac{1}{L} \cdot \sum_{l=0}^{L-1} |y_{d,l}|^2, d \in \{0, 1, \dots, D-1\} \quad (5)$$

通过式(5)得出功率最大的 K 个符号的位置集合 $S^{(u)}$, 根据集合 $S^{(u)}$ 和随机相移序列的对应关系在相移序列表中得到发送数据的随机相移序列, 进而恢复发送数据。

将分组选择映射与上述随机相移序列处理方法结合, 就能达到既降低计算复杂度, 又不需要传输边带信息的目的。图 2 所示是分组数为 2 时, 改进 SLM 方法的实现原理图。

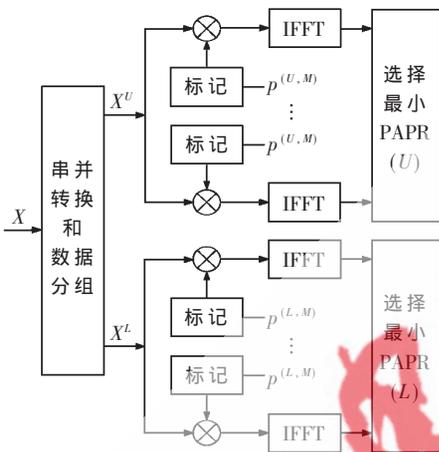


图 2 改进 SLM 方法实现原理图(分组数为 2)

3 仿真结果与分析

对基于 IEEE 802.16a 标准的 OFDM 系统进行仿真, 采用 QPSK 调制, 过采样因子为 4, OFDM 符号数为 10 000, 子载波数为 256, 随机相移序列取值范围为 $\{1, j, -1, -j\}$, 误码率性能仿真采用高斯白噪声信道。为便于描述, 将参考文献[7]和参考[9]提出的改进方案分别称为改进方案 a 和改进方案 b, 测试结果分别如图 3、图 4 所示。

可以看出, 本文提出的改进方案 PAPR 性能要比改进方案 a 差, 但是当 C 取值比较小时, PAPR 性能要优于原始 SLM 方法; 在 C 取值相同的情况下, 本文提出的改进方案 PAPR 性能要优于改进方案 b。

图 5 所示是 SLM 改进方案 a、改进方案 b 与本文改进方案的误码率性能比较, 其中非线性放大器的输入回退为 6 dB, 理想情况指接收端完全正确接收到边带信息。可以看出, 改进方案 b 和本文提出的改进方案的误码率性能优于改进方案 a, 并且信噪比越大, 误码率性能越接近于理想状态。在 C 取值相同的情况下, 本文提出的改进 SLM 方案的误码率性能与改进方案 b 几乎相同。

降低 OFDM 系统 PAPR 的 SLM 方法计算复杂度高,

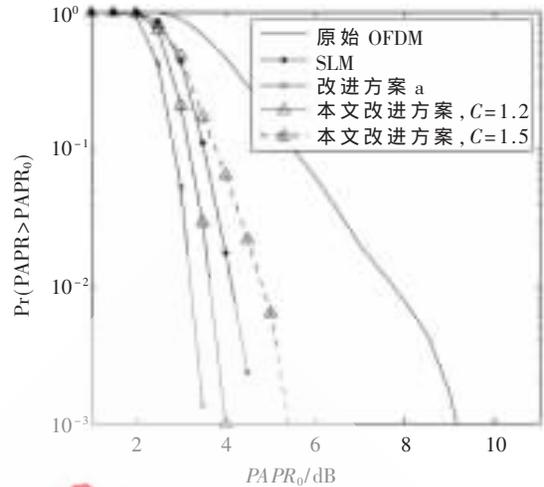


图 3 改进方案 a 和本文改进方案的 CCDF 曲线

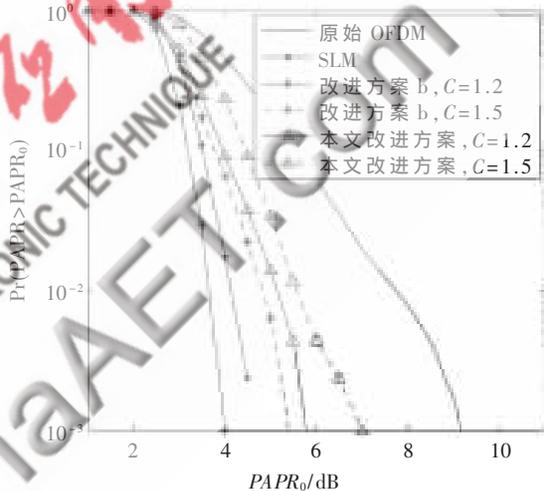


图 4 改进方案 b 和本文改进方案的 CCDF 曲线

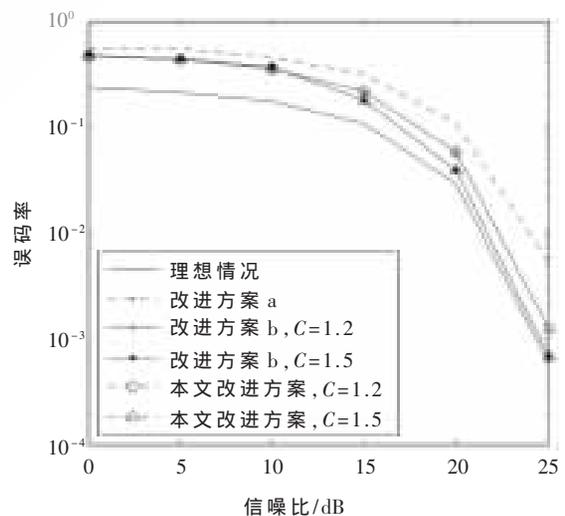


图 5 SLM 改进方案 a、改进方案 b 和本文改进方案的误码率曲线

需要额外的带宽用于传输边带信息, 降低了传输效率。针对这些缺点, 本文提出的改进 SLM 方案既能降低计算

复杂度,又不需要传输边带信息。

参考文献

- [1] CIMINI L J. Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing[J]. IEEE Trans Commun, 1985, 33(3): 665-675.
- [2] SEUNG H, HAN J, HONG L. An overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission[J]. Wireless Communications, IEEE. 2005, 12(2): 56-65.
- [3] DINUR N, WUICH D. Peak to average power ratio in amplitude clipped high order OFDM[J]. Proc. IEEE, 1998, 2: 18-21.
- [4] DAVIS J A, JEDWAB J. Peak-to mean power control in OFDM golay complementary sequences and reed-muller codes[J]. IEEE Transaction on Information Theory, 1999, 45(7): 2397-2417.
- [5] BAURUL R W, FISCHER R F H, HUBER J B. Reducing the peak to-average power ratio of multi-carrier modulation by selected mapping[J]. Electronics Letters, 1996, 32(22): 2056-2057.
- [6] YANG L, SOO K K, SIU Y M, et al. A low complexity selected mapping scheme by use of time domain sequence superposition technique for PAPR reduction in OFDM system [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2008, 54(4): 821-824.
- [7] 李莉, 王珂, 韩力. 基于MSLM的MIMO-OFDM系统PAPR减小方案[J]. 吉林大学学报(工学版), 2009, 39(6): 37-39.
- [8] BREILING M, MULLER-WEINFURTNER S H, HUBER J B. SLM peak-power reduction without explicit side information[J]. IEEE Communication Letters, 2001, 5(6): 239-241.
- [9] BOON K K, STEPHANE Y, GOFF L, et al. OFDM PAPR reduction using selected mapping without side information[C]. Proc of IEEE Int Conf on Comm. Glasgow, Scotland: IEEE Press, 2007: 4341-4345.

(收稿日期: 2010-04-26)

作者简介:

刘臣, 男, 1985年生, 硕士生, 主要研究方向: 通信系统的可靠性。

黄丽亚, 女, 1972年生, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 通信网络性能分析、流量建模和网络安全。

朱文俊, 男, 1987年生, 硕士生, 主要研究方向: 微机械系统。