

不同叠加训练序列 PTS 降低 PAPR 性能比较

张 杰,罗仁泽,党煜蒲,牛 娜,李 芮,杨 娇

(西南石油大学,四川 成都 610500)

摘 要:部分传输序列(PTS)能有效降低正交频分复用(OFDM)系统的峰均功率比(PAPR),但是其存在降低性能有限和边带信息占用频谱资源的问题。文中在传统 PTS 方法的基础上,基于叠加训练序列 PTS 降低 PAPR 的方法,分析了叠加不同训练序列、不同训练序列作相位旋转因子及功率分配因子对降低 PAPR 性能的影响。仿真结果表明:叠加自相关性较好的训练序列,降低 PAPR 的能力更强;不同训练序列作相位旋转因子时,对降低 PAPR 的效果影响不大;采用 Hadama 码、功率分配因子大于 0.15 时,降低 PAPR 的能力增强。该方法中的训练序列,不仅可以用于同步、信道估计,而且可以降低 PAPR,并提高系统频谱利用率。

关键词:正交频分复用;部分传输序列;峰均功率比;叠加训练序列;频谱利用率

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)05-0113-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.05.027

Comparison of Different Superimposed Training Sequence PTS for PAPR Reduction

ZHANG Jie, LUO Ren-ze, DANG Yu-pu, NIU Na, LI Rui, YANG Jiao

(Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: Partial Transmit Sequences (PTS) is an efficient scheme for Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) reduction in Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) system, but the performance of reduction is limited and the sideband information occupied the spectrum resources. Based on the traditional PTS method and the method of superimposed training PTS, the performance of PAPR reduction from the superposition of different training sequences and the different training sequences for phase rotation factors and power allocation factor is analyzed. The simulation results show that the better autocorrelation superimposed training sequence has the better capacity of PAPR reduction, different training sequences for phase rotation factor has little effect on PAPR reduction, and when using Hadama code and the power allocation factor is greater than 0.15, the ability of PAPR reduction is enhanced. In this scheme, the training sequences can not only use for synchronization and channel estimation, but also promote the band efficiency and PAPR reduction ability of the system.

Keywords: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM); Partial Transmit Sequences (PTS); Peak-to-Average Power Ratio (PAPR); superimposed training sequence; band efficiency

0 引 言

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 多载波系统采用了正交频分复用技术,凭借其很强的抗符号间干扰(Inter-Symbol Interference, ISI)和抗衰落的能力等优点,在通信领域得到了广泛应用^[1-2]。OFDM 信号是多个子载波信号的叠加,如果在某一时刻,多个相位相同或相近的子载波叠加,就可能产生比较大的峰值功率(Peak Power),于是就会有较大的峰值平均功率比(Peak-to-Average Power Ratio,

PAPR)。较大的 PAPR 是 OFDM 系统一个很大的缺点,它要求功率放大器的线性范围很高,这样会降低功放的工作效率。故降低 PAPR 对 OFDM 系统具有重要意义。目前,降低 PAPR 的方法大致可以分为:信号预畸变技术^[3]、编码类技术^[4]和概率类技术三大类。其中,概率类技术的基本思想是降低峰值出现的概率,不会导致信号发生畸变。部分传输序列^[5](Partial Transmit Sequences, PTS)技术是概率类技术中的一种典型方法。

收稿日期:2013-07-12

修回日期:2013-10-17

网络出版时间:2014-02-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61072073);四川省教育科研重点项目(10ZA072)

作者简介:张 杰(1987-),女,硕士研究生,CCF 会员,研究方向为 OFDM 系统技术;罗仁泽,教授,研究方向为通信信号传输、处理技术,OFDM 系统中同步、信道估计等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140211.1453.027.html>

传统的 PTS 方法首先将数据向量 $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]$ 划分成 V 个互不重叠的子向量 $X_v (v = 1, 2, \dots, V)$, 然后对每一个子向量 X_v 中的每一个子载波都乘以相同的旋转因子 $R_d^{(v)}$, 从中找出 PAPR 最小的一组数据用于传输^[6]。

文中基于不同训练序列并融合叠加训练序列 PTS 方法来有效改进系统 PAPR 性能。仿真结果表明: 与传统 PTS 方法相比, 系统的 PAPR 性能得到了改进。

1 基于叠加训练序列的 PTS 算法

由文献[7]可知, 发射符号的自相关性越强, 则系统的 PAPR 越低。利用相关性强的训练序列与发射符号进行叠加, 可以使叠加后的发射符号的自相关性变得更好^[8], 从而降低系统的 PAPR。

算法的基本思想是: 利用自相关性强的训练序列 M , 既将其作为叠加序列与 OFDM 符号按一定功率比叠加, 又作为相位旋转因子, 同时运用两种方式改进

PTS 方法, 从而达到降低系统 PAPR 的目的。

图 1 表示把按一定方式产生的自相关性强的训练序列与 OFDM 符号分别按照 $\sqrt{\beta}$ 倍和 $\sqrt{1-\beta}$ 倍的比例进行叠加, 得到一个叠加信号; 叠加后的混合序列 X 经过串并变换和信号分割, 分成 V 组信号 X_1, X_2, \dots, X_V 并行传输, 对每一组信号进行 IFFT 变换, 得到信号组 x_1, x_2, \dots, x_v , 与训练序列加权后得到信号组 b_1, b_2, \dots, b_v , 最后从中选出符合条件的最优组 y 。所述训练序列与待传输的 OFDM 符号叠加时, 功率分配因子 $\beta = \frac{\sigma_M^2}{\sigma_M^2 + \sigma_o^2}$, 其中, σ_o^2 表示分配给 OFDM 符号的功率, σ_M^2 表示分配给训练序列的功率。

不难看出, 利用叠加训练序列 PTS 方法的核心思想是牺牲少部分发射功率及选用新的旋转因子来更好地降低系统 PAPR 的性能。同时, 选用的训练序列还可以用于信道估计^[9-10] 和同步^[11-12], 这样就提高了系统频谱利用率。

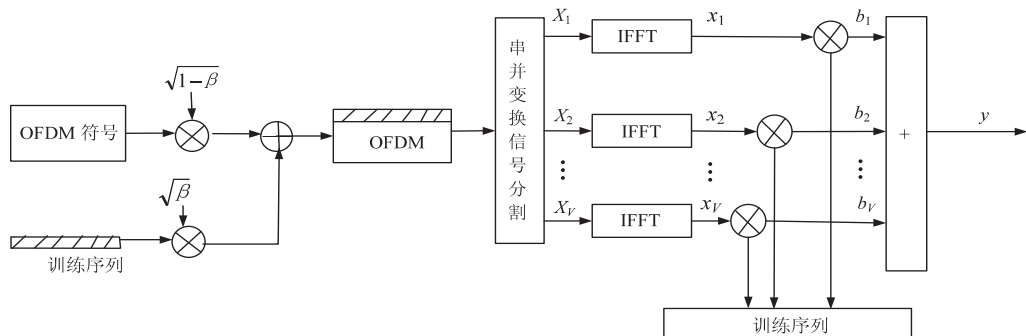


图 1 叠加训练序列 PTS 方法

设训练序列的非周期自相关性系数为:

$$\rho(k) = \sum_{n=1}^{N-k} r(n) + kr^*(n) \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

由(3)~(5)式可得:

$$|R(t)|^2 = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^N r(k) r^*(n) e^{i(k-n)t} = N + 2\text{Re}\left\{ \sum_{k=1}^{N-1} e^{ikt} \sum_{n=1}^{N-k} r(n) + kr^*(n) \right\} \quad (6)$$

又由于 $\text{Re}(z) \leq |z|$ 和 $\sum z(n) \leq \sum |z(n)|$, 于是可以推论得到:

$$\gamma \leq 1 + \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{N-1} |\rho(k)| \quad (7)$$

由(7)式可以得到, 自相关系数 $\rho(k)$ 越小, 则峰值因子 γ 越小, 即所选用的训练序列的自相关性越好, 则系统的 PAPR 越小。

3 性能分析

算法仿真参数设置如下: 系统中每个 OFDM 信号包含 128 个子载波, 采用 QPSK 调制, 整个系统是在高

2 叠加训练序列降低 PAPR 算法理论分析

将已知叠加训练序列 $r(n)$ 按照上文提到的比例加到原始 OFDM 符号 $x(n)$ 中, 得到叠加后的 OFDM 符号 $x'(n)$, 即

$$x'(n) = \sqrt{1-\beta}x(n) + \sqrt{\beta}r(n) \quad (1)$$

设 $h(n)$ 为频率选择性衰弱信道所具有的冲激响应, 则接收到的信号为:

$$y'(n) = x'(n) * h(n) + v(n) \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

其中, $*$ 表示线性卷积; $v(n)$ 表示均方差为 0 的加性噪声。

令周期性多项式

$$R(t) = \sum_{n=1}^N r(n) e^{int} \quad t^2 = -1; r(n) = \pm 1 \quad (3)$$

设 $\|R(t)\|_{\infty} = \max |R(t)|$, 定义 $R(t)$ 的峰值因子为:

$$\gamma = \frac{\|R(t)\|_{\infty}^2}{N} \quad (4)$$

斯信道下进行仿真。文中从不同训练序列作叠加序列和相位旋转因子以及训练序列的不同功率分配因子这些方面,对降低 PAPR 的性能进行分析。

3.1 叠加不同训练序列对降低 PAPR 的性能分析

图2给出的是叠加不同的训练序列对 PAPR 的影响,图中 PTS-pn 表示叠加 PN 序列后再用 PTS 方法,PTS-jun 表示叠加服从均匀分布的序列,PTS-gold 是叠加 Gold 码序列。文中所用的 PN 序列的函数为 $p(x) = x^3 + x^2 + 1$ 。Gold 码序列是由特征多项式 $f_1 = x^6 + x + 1$ 和 $f_2 = x^6 + x^5 + x^2 + x + 1$ 经过模二相加得到。

从图2中可以看出叠加不同的训练序列,对 PAPR 的降低效果不同。服从均匀分布的训练序列降低 PAPR 的效果与原始 PTS 差不多,叠加 Gold 码后性能有所降低,而叠加 PN 序列降低 PAPR 的能力最好。

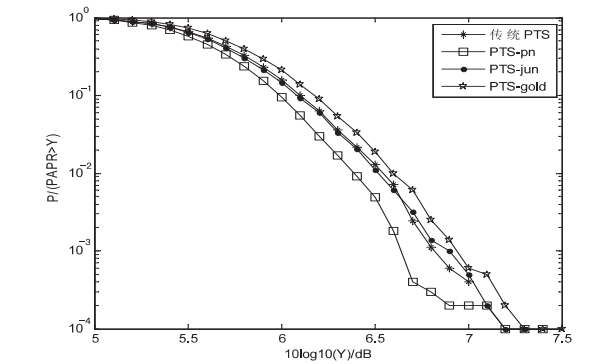


图2 叠加不同的训练序列对 PAPR 的影响

图3给出了仿真中所用的序列的自相关性曲线,PN 表示的是 PN 序列,JUN 表示的是服从均匀分布的序列,Gold 表示的是 Gold 序列。从图3中可以得到,PN 序列的自相关性最好,服从均匀分布的序列次之,Gold 序列最差。从而验证了叠加的训练序列自相关性越好,降低 PAPR 效果就越好这一结论。

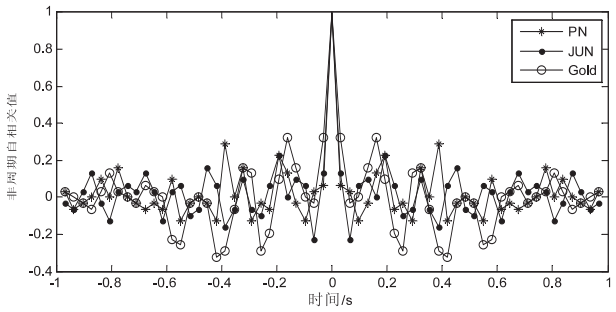


图3 自相关函数曲线

3.2 不同训练序列作相位旋转因子对降低 PAPR 的性能分析

图4给出了不同训练序列作旋转因子对 PAPR 的影响,图中 PTS-pn 表示用 PN 序列作为传统 PTS 方法的旋转因子,PTS-jun 表示用服从均匀分布的序列作为旋转因子,PTS-gold 表示用 Gold 序列作为旋转因子。从图中可以看出训练序列为 PN 序列、Gold 序列

和服从均匀分布的序列,即不同序列仅作相位旋转因子时,对 PAPR 的降低效果基本相同。同时,可以得到,在叠加训练序列 PTS 方法中,当训练序列只作相位旋转因子时,降低 PAPR 的效果没有传统 PTS 方法好。

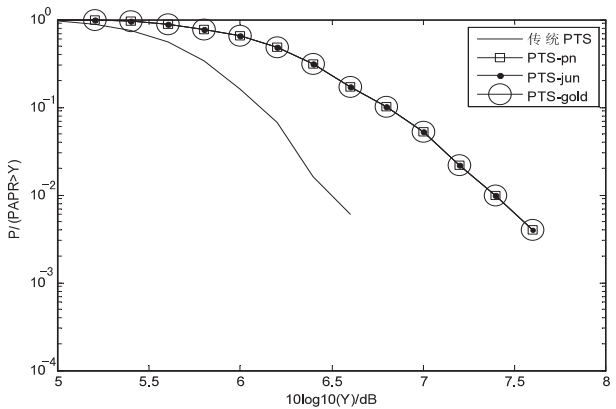


图4 不同训练序列作相位旋转因子对 PAPR 的影响

3.3 叠加训练序列不同功率分配因子对降低 PAPR 的性能分析

图5给出的是在不同功率分配因子下基于叠加训练序列 PTS 降低 PAPR 的仿真曲线图,其中训练序列是 Hadama 码;图中 β 为叠加训练序列的功率分配因子。针对傅里叶逆变换后的信号利用叠加训练序列方法进行处理,设置相应的叠加训练序列所占功率分配因子 β ;其中功率分配因子 β 的大小由叠加训练序列对系统性能的影响以及实际对系统性能的要求而定。

图5表明当 β 取值为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.5 和 0.8 时,对不同的功率分配因子 β ,降低 PAPR 程度不同,随着 β 的增大,降低的效果越来越好。在 β 值为 0.2 附近时,降低 PAPR 的效果与原始的 PTS 方法相差不多。

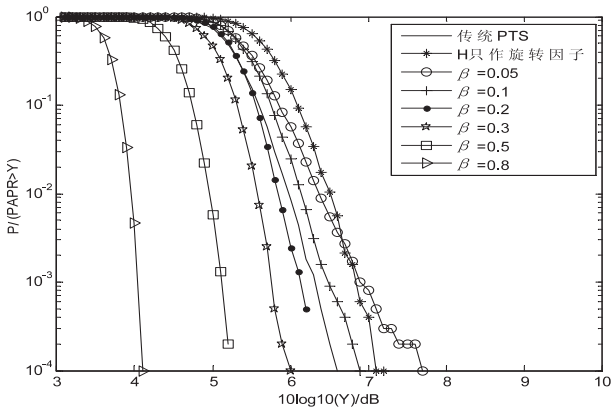


图5 不同功率分配因子对 PAPR 的影响

为了更清楚地研究 β 值为 0.2 附近的 PAPR,图6给出了 β 值为 0.1、0.125、0.15、0.2、0.25 时,不同的 β 值对应的 PAPR 曲线。从图中可以看出原始 PTS 算法降低 PAPR 的 CCDF 曲线在叠加训练序列的功率分配因子 β 为 0.125 和 0.15 的两曲线之间。在 β 小于 0.125 时叠加训练序列降低 PAPR 的能力没有原始

PTS 方法好,当 β 大于 0.15 时,叠加训练序列降低 PAPR 的能力比原始 PTS 好。为确保发送信号所占的功率分配因子最优化,在保证系统性能的前提下,应尽可能降低所融合的叠加训练序列所占的功率分配比值。

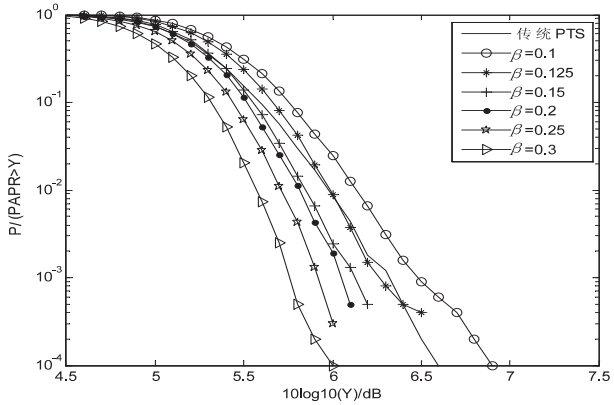


图 6 功率分配因子的值在 0.2 附近的 PAPR 曲线

4 结束语

与传统的 PTS 算法相比,基于叠加训练序列的 PTS 算法,不仅可以提高系统的带宽利用率,而且可以较好地降低系统的 PAPR。对整个 OFDM 系统来说,训练序列 M 并行叠加在信号上,它还可以用于信道估计和系统同步;训练序列 M 作为相位旋转因子时,边带信息的传输就不需要占用新的频谱资源,于是提高了频谱利用率。文中比较了不同自相关性的训练序列作叠加序列、旋转因子以及功率分配因子的大小对降低 PAPR 性能的影响。仿真结果表明:叠加训练序列的自相关性越好,降低 PAPR 的能力就越好;当训练序列只作相位旋转因子时,降低 PAPR 的效果并没有传统 PTS 方法好;当 Hadama 码序列做叠加及相位旋转因子、功率分配因子大于 0.15 时,该方法能够更有效地降低系统的 PAPR。

参考文献:

[1] Weinstein S B. The history of orthogonal frequency-division multiplexing [J]. Communications Magazine, 2009, 47 (11) : 26-35.

[2] Wu Yiyen. Orthogonal frequency division multiplexing: A multi-carrier modulation scheme [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1995, 41 (3) : 392-399.

[3] Jiang Tao, Wu Yiyen. An overview: Peak-to-average power ratio reduction techniques for OFDM signals [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2008, 54 (2) : 257-268.

[4] Wang Yingming, Zhang Guodong, Wang Xiaodong. Polyphase codes for uplink OFDM-CDMA systems [J]. IEEE Transactions on Communications, 2008, 56 (3) : 435-444.

[5] Lee B M, de Figueiredo R J P, Kim Y. A computationally efficient tree-PTS technique for PAPR reduction of OFDM signals [J]. Wireless Personal Communications, 2012, 62 (2) : 431-442.

[6] 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.

[7] Tellambura C. Upper bound on peak factor of N-multiple carriers [J]. IEEE Electronics Letters, 1997, 33 (19) : 1608-1609.

[8] 黄润林, 周克. 利用伪随机序列降低 OFDM 系统 PAPR 方法 [J]. 电子科技大学学报, 2007, 36 (6) : 1515-1518.

[9] He Shuangchi, Tugnait J K. On Doubly selective channel estimation using superimposed training and discrete prolate spheroidal sequences [J]. IEEE Transactions on Signal Process, 2008, 56 (7) : 3214-3228.

[10] Nair J P, Kumar R V R. An iterative channel estimation method using superimposed training in OFDM systems [C]//Proc of IEEE international conference on vehicular technology conference. Calgary, BC: IEEE, 2008: 1-5.

[11] Ma Yangjun, Hu Yaonu. An improved training sequence-based OFDM synchronization algorithm [J]. Study on Optical Communications, 2009, 35 (6) : 65-67.

[12] Pan Zongshan, Li Xiaomin. A novel synchronization algorithm for OFDM system based on training sequence added scramble code [C]//Proceedings of IEEE international conference on communications technology and applications. Beijing: IEEE, 2009: 527-531.

definite programming [M]//Semi-supervised Learning. Massachusetts: MIT Press, 2006: 119-135.

[10] Zhu Xiaojin. Semi-supervised learning literature survey [R]. Wisconsin: University of Wisconsin Madison, 2008.

[11] Chapelle O, Weston J, Scholkopf B. Cluster kernels for semi-supervised learning [C]//Proceedings of the 16th annual conference on neural information processing systems. Massachusetts: MIT Press, 2003: 321-328.

[12] Zhou Z H. Co-training paradigm in semi-supervised learning [C]//Proceeding of the Chinese workshop on machine learn-

ing and applications. Nanjing, China: [s. n.], 2007.

[13] Weston J, Leslie C, Le E, et al. Semi-supervised protein classification using cluster kernels [J]. Bioinformatics, 2005, 21 (15) : 3241-3247.

[14] Szummer M, Jaakkola T. Partially labeled classification with Markov random walks [M]//Advances in Neural Information Processing Systems. Cambridge, MA: MIT Press, 2002: 945-952.

[15] Bach F R, Jordan M I. Learning spectral clustering [C]//Proceedings of 17th annual conference on neural information processing systems. Massachusetts: MIT Press, 2003: 305-312.

(上接第 112 页)

不同叠加训练序列PTS降低PAPR性能比较

作者：

张杰，罗仁泽，党煜蒲，牛娜，李芮，杨娇，ZHANG Jie，LUO Ren-ze，DANG Yu-
pu，NIU Na，LI Rui，YANG Jiao

作者单位：

西南石油大学, 四川 成都, 610500

刊名：

计算机技术与发展

英文刊名：

Computer Technology and Development

年，卷(期)：

2014(5)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201405027.aspx