

文章编号:1001-893X(2011)04-0089-04

一种利用叠加训练序列降低 OFDM 系统 PAR 的方法^{*}

刘秋格, 穆晓敏, 陆彦辉

(郑州大学 信息工程学院, 郑州 450001)

摘要:峰均比(PAR)过高是正交频分复用(OFDM)技术亟待解决的关键问题之一。在基于判决指导信道估计的叠加训练序列 OFDM 系统中,提出一种选择性叠加训练序列降低系统 PAR 的方法。该方法使用多个相互独立的训练序列分别与数据序列叠加,选择其中 PAR 性能最好的用于传输,接收端完成信道估计的同时消除了训练序列对数据序列的影响,因此没有增加接收端的复杂度。计算机仿真结果表明:该方法在不增加接收端复杂度的前提下,有效降低了系统 PAR,且对信道估计性能不造成任何影响,因此该方法可用于实际系统中。

关键词:正交频分复用;峰均比;叠加训练序列;信道估计

中图分类号:TN911.72 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2011.04.019

A PAR Reduction Method Based on Selective Superimposed Training Sequence for OFDM Systems

LIU Qiu-ge, MU Xiao-min, LU Yan-hui

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The over high value of PAR(Peak-to-Average Ratio) is one of the key problems to be solved in the field of OFDM. A PAR reduction method based on selective superimposed training sequence is proposed in the situation of using the decision-directed channel estimation algorithm in the OFDM systems with superimposed training sequence. It makes some independent training sequences superimposed on the data sequence and selects one with the best PAR performance for transmission. As the achievement of the receiver channel estimation can eliminate the influence of the training sequence on data sequence, it doesn't increase the complexity of the receiver. Computer simulation results show the method effectively reduces the system PAR and makes no influence on the performance of channel estimation without any increase of receiver complexity. Therefore, this method can be used in practical systems.

Key words: OFDM; PAR; superimposed training sequence; channel estimation

1 引言

叠加训练序列的思想最早由 C. Kastenholz 在模拟通信系统中提出^[1], 1995 年, B. Farhang-Boroujeny

将该思想首次应用于数字通信系统中^[2]。近年来, 叠加训练序列 OFDM 系统的信道估计方法受到了广泛关注^[3-6]。该方法在发送端将一个低功率的训练序列叠加到数据序列上, 接收端利用叠加的训练序列进行信道估计。由于训练序列与数据序列叠加在

^{*} 收稿日期:2010-12-28;修回日期:2011-02-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60702020);河南省科技项目(082102210013)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No.60702020); Henan Scientific and Technological Projects (No.082102210013)

一起,不再另外占用信道资源,因此提高了系统频谱利用率,且能快速跟踪信道的变化。另外,叠加所得序列具有与原数据序列不同的幅值和相位,因此叠加训练序列对系统峰均比 (Peak-to-Average Ratio, PAR)产生了影响。

OFDM 系统主要的一个缺点就是具有较高的峰均比。当 OFDM 信号峰值进入放大器的非线性区域时,就会产生子载波间的交调干扰和带外辐射,从而大大降低了 OFDM 的系统性能^[7],因此采用合适的技术来降低 PAR,对 OFDM 系统很重要。目前有许多降低 OFDM 系统 PAR 的方法,如选择性映射^[8]和部分传输序列^[9]等,但是在接收端需要做相应的逆操作,以消除加扰序列对数据序列的影响,因此增加了接收端的复杂度。如何利用叠加训练序列实现降低 PAR 的研究较少。文献[3]研究了叠加训练序列的 OFDM 系统中训练序列对 PAR 的影响,并证明了训练序列具有恒模特性时可降低系统 PAR,但此结论是在基于统计平均的信道估计方法^[4]前提下得到的,该信道估计方法只能使用于时不变信道或慢时

变信道下,对快时变信道的估计性能很差,而在相同的系统中,基于判决指导信道估计方法^[5]可较好地估计快时变信道。

本文在基于判决指导信道估计方法的叠加训练序列 OFDM 系统环境中^[6],提出一种选择性叠加训练序列降低系统 PAR 的方法,记为选择性叠加 (Selective Superimposed, SLS)方法。其思想为:在系统发送端,使用几个相互独立的训练序列分别与数据序列叠加,选择其中 PAR 性能最好的用于传输,在接收端利用叠加的训练序列进行信道估计,完成信道估计的同时消除了训练序列对数据序列的影响,相对于以往降低 PAR 的方法,没有增加接收端的复杂度。仿真结果表明,该方法在对信道估计性能没有造成任何影响的前提下,有效地降低了系统 PAR。

2 OFDM 原理及峰均比定义

包含叠加训练序列的 OFDM 系统的离散基带等效模型如图 1 所示,其中系统的子载波数为 N 。

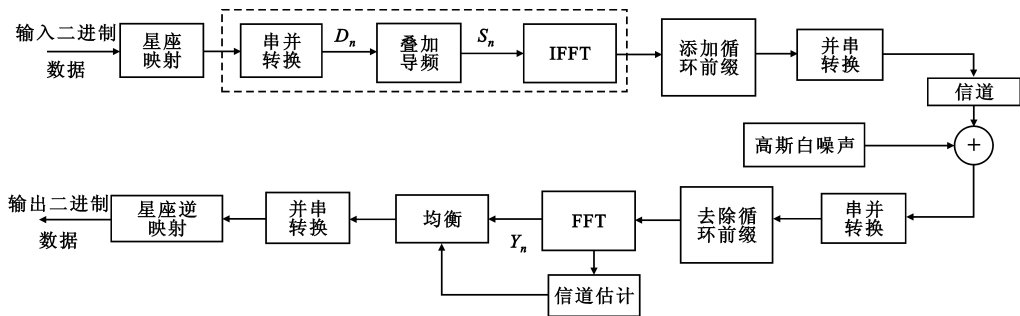


图 1 离散基带 OFDM 系统结构框图
Fig.1 Discrete-time baseband OFDM system model

记第 n 个 OFDM 符号的第 k 个子载波上的数据符号为 $D_n(k)$,导频符号为 $C(k)$,数据符号与导频符号相互独立,故传输符号可表示为

$$S_n(k) = \sqrt{\rho}C(k) + \sqrt{1-\rho}D_n(k) \tag{1}$$

式中, $0 \leq k \leq N-1$,系数 $\sqrt{\rho}$ 和 $\sqrt{1-\rho}$ 分别控制导频符号和数据符号的平均功率比($0 < \rho < 1$)。经过 IFFT 运算之后得到的输出信号可以表示为

$$x_n(m) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} S_n(k) \exp\left(\frac{j2\pi mk}{N}\right) \tag{2}$$

式中, $0 \leq m \leq N-1$, $x_n(m)$ 代表第 n 个 OFDM 符号的第 m 个时域采样值。

PAR 是指信号峰值功率与平均功率的比值(单

位为 dB),OFDM 系统的峰均比定义如下^[1]:

$$R_{PAR} = 10 \lg \frac{\max_m |x_n(m)|^2}{E(|x_n(m)|^2)} \tag{3}$$

式中, $E(\cdot)$ 代表求均值。当 OFDM 系统的多个子信号以相同的相位求和时,就有可能产生较大的峰值功率(也即较大的峰均比),如果信号的峰值进入了放大器非线性区域,则会引起信号非线性失真,进而影响系统性能,因此要考虑如何减小峰均比。

3 选择性叠加(SLS)方法原理

选择性叠加(SLS)方法的原理框图如图 2 所示,对应于图 1 中虚线框部分。

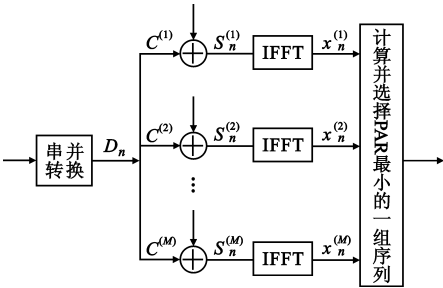


图 2 选择性叠加(SLS)方法的原理框图
Fig.2 Principle diagram of SLS

传统的训练序列叠加方式为将一个固定的序列叠加到数据序列上,而选择性叠加方法存在 $M(M \geq 1)$ 个长度为 N 的相互独立的训练序列:

$C^\mu = (C^\mu(0), C^\mu(1), \dots, C^\mu(N-1)), 1 \leq \mu \leq M$
令这 M 个训练序列分别与数据序列:
 $D_n = (D_n(0), D_n(1), \dots, D_n(N-1))$

进行叠加,则可以得到 M 个不同的序列:
 $S_n^\mu = (S_n^\mu(0), S_n^\mu(1), \dots, S_n^\mu(N-1))$

即:
$$S_n^\mu = \sqrt{\rho}C^\mu + \sqrt{1-\rho}D_n \tag{4}$$

然后对这 M 个序列 S_n^μ 分别实施 IFFT 运算,相应得到 M 个不同的输出序列

$x_n^\mu = (x_n^\mu(0), x_n^\mu(1), \dots, x_n^\mu(N-1))$

最后从这 M 个时域信号序列中选择 PAR 最小的用于传输。通过以上分析我们可以看出,传统的训练序列叠加方法是 SLS 方法的一个特例,即 $M = 1$ 时 SLS 方法即为传统的训练序列叠加方法。

4 算法仿真

为验证算法的有效性,对 SLS 方法进行了计算机仿真实验。系统仿真条件如下:基带调制方式为 QPSK,子载波数 N 为 256,本系统在 6 条多径瑞利衰落信道下对算法性能进行研究。

4.1 系统 PAR 性能仿真

系统中可以设置 M 个独立的训练序列,当 M 取不同的值时,降低系统 PAR 的程度应该是不同的,因此有必要研究一下 M 值对系统 PAR 的影响。图 3 为 M 分别取 1、5、10 和 20 时系统 PAR 的互补累积分布函数(CCDFF)曲线图。从图中可以看出,只使用一种训练序列($M = 1$)时,系统 PAR 的分布没有得到改善,这是因为 $M = 1$ 时,系统退化为传统的训练序列叠加方法,也证明了传统的训练序列叠加

方法不能降低系统 PAR;使用多种训练序列($M = 5、10、20$)选择性叠加时,显著地改善了系统 PAR 的分布,在 CCDF 达到 10^{-3} 时, $M = 5、10$ 和 20 分别比 $M = 1$ 所对应的 PAR 值降低了约 1.5 dB、1.8 dB 和 2.2 dB,即 M 值越大,改善的程度越明显。但其代价是需额外计算 $M - 1$ 组 IFFT 运算,随着 M 的增大,计算量线性增加,因此可以在计算复杂度和系统性能之间权衡,选择合适的 M 值。

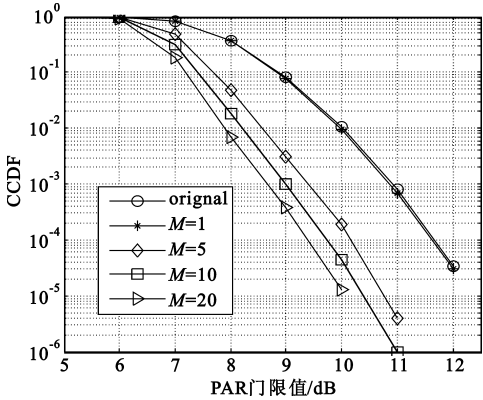


图 3 不同叠加数目下的 SLS 方法的系统 PAR 分布曲线
Fig.3 The PAR distribution curves of SLS with different superimposed number

4.2 算法的性能比较

为验证选择性叠加训练序列对系统信道估计性能的影响,利用文献[6]中的信道估计方法进行了仿真,不同信噪比(SNR)下的信道估计均方误差(MSE)曲线和误比特率(BER)曲线分别如图 4 和图 5 所示。

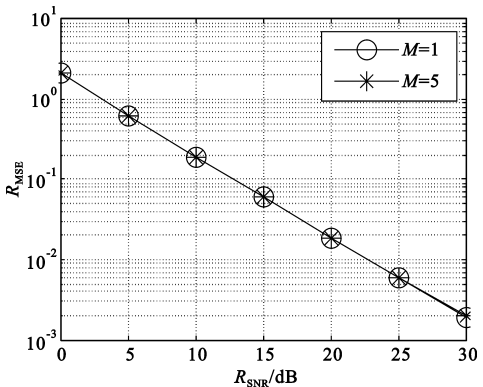


图 4 不同叠加数目下的均方误差曲线
Fig.4 The MSE curves of different superimposed number

兼顾计算复杂度和改善系统 PAR 分布两方面,取 $M = 5$ 为代表验证选择性叠加训练序列对系统信道估计性能的影响,与传统的训练序列叠加方法(即

$M=1$ 时)进行比较。从图中可以清楚地看到,选择性叠加训练序列对信道估计的性能没有造成任何影响。

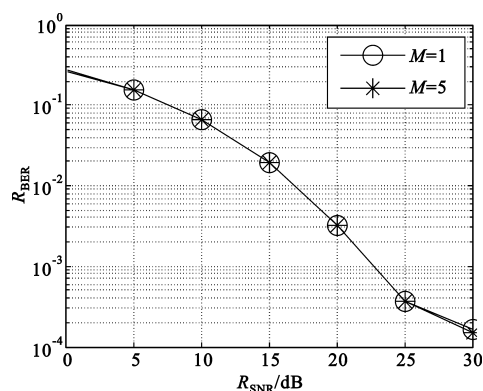


图5 不同叠加数目下的误比特率曲线

Fig.5 The BER curves of different superimposed number

5 结 论

对峰均比敏感是 OFDM 系统的主要弱点之一。本文在基于迭代判决指导信道估计的叠加训练序列 OFDM 系统中,提出一种降低系统峰均比的方法,即选择性叠加训练序列方法,并对其进行了计算机仿真。仿真结果表明:该方法在不增加接收端复杂度的前提下,既有效降低了 OFDM 系统峰均比,又保证了信道估计的性能。但该方法需计算额外的 $M-1$ 组 IFFT 运算,随着大规模集成电路技术的发展和 FFT 运算处理器的应用,在实际应用中容易实现 M 组 IFFT 运算,因此本文所提方法可用于实际系统中。另外,对于本文方法与以往降低 PAR 方法的结合可做进一步研究,以更好地降低系统的 PAR。

参考文献:

- [1] Kastenholz C, Birkemeier W. A simultaneous information transfer and channel-sounding modulation technique for wide-band channels[J]. IEEE Transactions on Communications, 1965, 13(2):162-165.
- [2] Farhang-Boroujeny B. Pilot-based channel identification: proposal for semi-blind identification of communication channels[J]. Electronics Letters, 1995, 31(13):1044-1046.
- [3] Ning Chen, Zhou G T. Superimposed Training for OFDM: a Peak-to-average Power Ratio Analysis[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2006, 54(6):2277-2287.
- [4] Orozco-Lugo A G, Lara M M, McLernon D C. channel estimation using implicit training[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(1):240-254.

- [5] Ohkubo N, Ohtsuki, T. Added pilot semiblind iterative channel estimation for OFDM packet transmission[C]//Proceedings of 2003 Global Telecommunications Conference. San Francisco, USA: IEEE, 2003:878-882.
- [6] 刘秋格,穆晓敏,陆彦辉. 叠加训练序列的判决指导信道估计方法[J]. 电讯技术, 2010, 50(11):44-48.
LIU Qiu-ge, MU Xiao-min, LU Yan-hui. Superimposed training sequence with decision-directed channel estimation[J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(11):44-48. (in Chinese)
- [7] 尹长川,罗涛. 多载波宽带无线通信技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2004.
YIN Chang-chuan, LUO Tao. Multi-carrier broadband wireless communications technology[M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2004. (in Chinese)
- [8] Seok-Joong Heo, Hyung-Suk Noh, Jong-Seon No, et al. A Modified SLM Scheme with Low Complexity for PAPR Reduction of OFDM Systems[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2007, 53(4):804-808.
- [9] XIAO Yue, LEI Xia, WEN Qingsong, et al. A Class of Low Complexity PTS Techniques for PAPR Reduction in OFDM Systems[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2007, 14(10):680-683.

作者简介:

刘秋格(1985—),女,河南濮阳人,2008年获郑州大学工学学士学位,现为郑州大学硕士研究生,主要研究方向为 OFDM 的信道估计;

LIU Qiu-ge was born in Puyang, Henan Province, in 1985. She received the B.S. degree from Zhengzhou University in 2008. She is now a graduate student. Her research concerns channel estimation of OFDM.

Email: liuqiuge2007@163.com

穆晓敏(1955—),女,河南郑州人,1982年获北京理工大学学士学位,现为郑州大学教授、博士生导师,主要研究方向为通信信号处理、图像信号处理、图像数字水印技术等;

MU Xiao-min was born in Zhengzhou, Henan Province, in 1955. She received the B.S. degree from Beijing Institute of Technology in 1982. She is now a professor and also the Ph.D. supervisor. Her research interests include communication signal processing, image signal processing, digital watermarking for image, etc.

Email: iexmmu@zzu.edu.cn

陆彦辉(1972—),女,河南许昌人,2006年获北京邮电大学博士学位,现为郑州大学副教授、硕士生导师,主要研究方向是无线通信系统资源管理。

LU Yan-hui was born in Xuchang, Henan Province, in 1972. She received the Ph.D. degree from Beijing University of Posts and Communications in 2006. She is now an associate professor. Her research concerns resource management of wireless communication system.