

盲速率判决技术在 OFDM 系统中的应用

刘胜美 赵春明 李灿伟

(东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210096)

摘要 该文借助 CDMA 系统中的盲速率判决技术解决交织与相位旋转(IPR-OFDM)(IPR: Interleaving and Phase Rotation), 系统中接收端恢复交织序号, 对接收信号进行检测的问题。IPR-OFDM 系统在发送端使用了 V 个交织器, 接收端为了恢复数据需要知道发送端使用的交织器序号进行解交织。一种解决方法是发送辅助信息(SI: Side Information), 这需要占用信道容量; 该文借助于 CDMA 系统中速率判决的思想提出一种在接收端进行盲判的方法, 它通过检测 CRC(循环冗余校验码)和反转误码率(SER)信息等来获得所需要的交织序号, 这种方法相对于前者提高了信道利用率。

关键词 正交频分复用, 峰均比, 交织与相位旋转, 速率判决

中图分类号: TN919.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-5896(2006)03-0396-04

Blind Rate Detection Applied in the IPR-OFDM System

Liu Sheng-mei Zhao Chun-ming Li Can-wei

(The National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract This paper presents a blind detection method for the IPR-OFDM (Interleaving and Phase Rotation- Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system. The proposed method is used to recover the interleaving order and detect the received data in the receiver. How to recover the original information in the receiver is the main motivation in this paper. In the IPR-OFDM system, it uses V interleavers to produce V permutations of the input data frame. To recovery the data, the receiver must know the interleaving order in the transmitter. In IPR-OFDM system, the Side Information(SI) is used to get it. But in this letter, a blind rate detection approach for CDMA systems can be modified and applied to the receiver structure. The interleaving order is obtained by the CRC (Cyclic Redundancy Check) and reverse SER information mainly. The blind detection can increase the channel capacity compared to that of SI method.

Key words Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM), Peak-to-sverage power ratio, Interleaving and phase potation, Rate decision

1 前言

正交频分复用 (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 是一种在无线环境中能获得高数据速率传输的颇具潜力的技术。目前 OFDM 技术已经应用于数字音频广播(DAB)、数字视频广播(DVB)、非对称数字用户线(ADSL)、无线局域网(WLAN)等标准中, 并且已经被提议作为超宽带(UWB)技术的国际标准, 并即将在无线 USB(wireless USB)标准中应用。OFDM 也是下一代移动通信系统(Bypass 3G, B3G)中的热门技术, 已经有许多机构在研究 OFDM 在高速移动通信系统中的应用。OFDM 具有如下优点: 频谱效率高、能有效消除符号间干扰(ISI)及衰落影响而不需要复杂的均衡器、通过 IFFT 及 FFT 能简单地实现多

载波调制和解调等等。

由于 OFDM 系统输出信号是多个子载波信号的叠加, 按照中心极限定理可知, 当子载波数目充分大时, 产生的信号近似高斯分布, 当多个子载波信号的相位一致时, 输出的叠加信号的瞬时功率就会远远大于信号的平均功率, 所以 OFDM 的一个主要缺点是存在较高的峰值平均功率比(Peak-to-Average power Ratio, PAR)。在 OFDM 系统的发送和接收端的设计都要考虑 PAR 的影响, 因为 RF 功率放大器应在线性区域工作, 否则如果信号进入非线性区域会引起信号失真。较大的 PAR 要求放大器有较大的动态范围, 这就增加了系统的成本, 而且大 PAR 的信号出现的概率很低, 导致放大器的工作效率低下。较大的 PAR 同时也要求高精度的 D/A、A/D 转换器, 这也增加了系统的成本。如果放大器引起信号失真, 会使叠加信号的频谱发生变化, 导致各子载波信号之间的正交性被破坏, 产生相互干扰(ICI), 使系统性能

恶化。

为了解决 PAR 问题,出现了许多降低 PAR 技术,这些技术都是以降低数据速率或增加复杂度或降低系统 BER 性能为代价的。

文献[1]中我们研究了发送端利用交织^[2,3]和相位旋转(Interleaving and Phase Rotation, IPR)来降低PAR的技术。通常信号的长相关模式导致高的幅度(如一长串0或1)。因此通过交织器扰乱输入比特流,可以降低由这些比特模式引起的大峰值功率出现的概率。而相位旋转方法能降低信号同相的概率,从而降低系统的PAR。IPR方法就是联合了交织原理和相位旋转技术来降低系统的PAR。IPR方法针对同一个原始信号序列使用 $V-1$ 个交织器产生 $V-1$ 个交织后的信号序列,接着对这 V 个(连同原始序列)序列点乘SPI(Side Phase of IFFT, 由IFFT得来的辅助相位)并作IFFT、计算其PAR,最后从这 V 个序列当中选择具PAR最小的那个序列进行传送。其中SPI是文中提出的一种相位旋转向量。这种方法与选择性映射(SeLected Mapping, SLM)^[4]类似,接收端需要知道发送端使用的是哪一个交织器 v ,这需要发送端发送辅助信息,需要 $\lceil \log_2 V \rceil$ 个比特,这就降低了系统传送速率,减小了信道利用率。

为了不减少信道利用率,本文提出一种类似于码分多址(CDMA)系统的基于盲速率判决的解决方案。在CDMA系统发送端,语音编码器对语音以可变的数据速率进行编码,产生几种不同速率的语音数据。而发送端不包含任何有关数据速率的明确信息,所以接收端必须通过分析接收数据来决定语音编码速率。我们将这种盲判技术移植到OFDM系统中,用于在不传辅助信息的情况下,检测接收信号。借助于CDMA中的速率判决^[5](Rate Decision, RD)思想,我们提出一种不需要传辅助信息(No Side Information, NSI)的IPR-OFDM系统,称为NSI-IPR-OFDM系统,其系统模型与IPR-OFDM系统不同。这种系统相对于文献[1]中系统不降低系统信道利用率。

2 系统模型

假设一个 OFDM 系统,子载波数为 N 。图 1 是 NSI-IPR-OFDM 系统发送端框图。在发送端,备用 V 种交织器(包含不交织情况),原始数据先经过 CRC 编码及卷积码编码,再分别用这 V 种交织方式交织;对第 v ($v=1,2,\dots,V$) 种交织后的数据实施下列操作:(1)进行数字调制(如 QPSK)得到各个子载波上的数据 $\mathbf{X}=(X_1,\dots,X_k,\dots,X_N)$;(2)对子载波上的数据 $\mathbf{X}$ 点乘与 IFFT 变换有关的辅助相位(SPI)进行相位旋转,相位序列矢量 SPI 为 $\mathbf{P}=(P_1,P_2,\dots,P_k,\dots,P_N)$,其

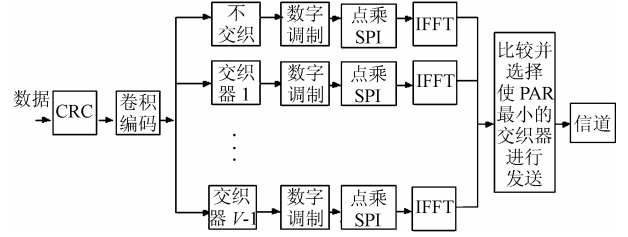


图1 NSI-IPR-OFDM 系统发送端框图

中 $P_k = \exp(-j2\pi(k-1)(k-1)/N)$, 点乘后变成新的序列 $\mathbf{X}_{\text{new}} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{P} = (X_1 P_1, \dots, X_k P_k, \dots, X_N P_N)$; (3) 对 $\mathbf{X}_{\text{new}}$ 作 IFFT 变换得到时域信号 $\mathbf{x}^v = \text{IFFT}(\mathbf{X}_{\text{new}}^v)$, 并计算第 v ($v=1,2,\dots,V$) 种交织方式对应的 PAR_v 。 V 种 PAR 值计算完成后,比较 V 种 PAR_v ($v=1,2,\dots,V$) 值,系统选择使 PAR 最小的那个交织器并且发送相对应的信息序列。所以,发送端对每一个 OFDM 符号需要 VN 次乘法和 V 次 IFFT。

图 2 是 NSI-IPR-OFDM 系统接收端框图。接收操作流程如下:

(1)接收信号先经过 FFT,解 SPI,解调。其中解 SPI 是发送端“点乘 SPI”的反操作,当接收端需要解辅助相位时,只需要对第 k 个子载波上的数据 $X(k)_{\text{new}}$ ($k=1,2,\dots,N$) 乘以解辅助相位(de_SPI): $\exp(j2\pi(k-1)(k-1)/N)$ 即能得到 $X(k)$; de_SPI 是一个只与子载波序号有关的向量,所以不需要发送端传送。

(2)接收端备用 V 个(包含不交织情况)解交织器进行解交织,对每一个解交织序列执行如下操作:

(a)维特比译码。

(b)CRC 解码,将 CRC 判决结果存入一个 V 长 CRC 判决向量中。如果 CRC 检测出符号有错,对应的指示值为 1;如果 CRC 检测出符号无错,对应的指示值为 0。所以生成的 CRC 判决向量元素为 0 或 1。如 $V=4$ 、发送端交织器序号为 2 时,CRC 判决向量为 $[1 \ 0 \ 1 \ 1]$ 或 $[1 \ 1 \ 1 \ 1]$ 或其它形式。

(c)计算反转误码率(SER),计算方法如图 3 所示,即(a)中维特比译码的输出序列再进行卷积码编码(采用与发送端相同的卷积码),重编码后的序列与维特比译码器输入序列进行比较,将两者“异或”,统计误码率,将结果存入一个 V 长

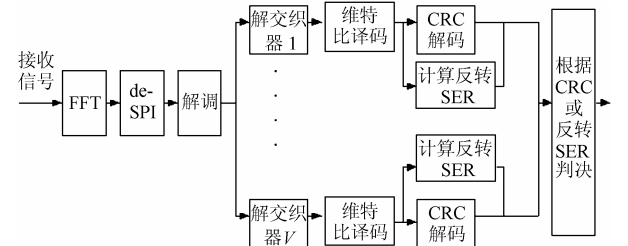


图2 NSI-IPR-OFDM 系统接收端框图

的反转误码率向量中。当解交织器选择正确时,此时统计的反转误码率会是 V 个反转误码率中最小的^[5]。

(3)最后根据 CRC 判决向量和反转误码率向量来选择解交织器。判决准则如下:(a)当 CRC 判决向量中有且只有一个为 0 时,如类似 $[1 \ 0 \ 1 \ 1]$ 的形式,则 0 对应的序号判定为发送端的交织器序号。(b)当 CRC 判决向量为其它形式时,则转由反转误码率向量来度量,反转误码率向量中最小值对应的序号判定为发送端的交织器序号。

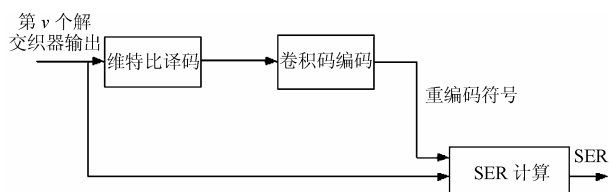


图3 接收端计算反转误码率框图

接收机的总体性能通常由误帧率(Frame Error Rate, FER)来评估。在可变速率数据传送系统中,出现帧差错(误帧)的原因有如下两点^[6]:一是由于速率判决错误(误判);二是速率判决正确,但解码帧有一个或更多的比特错。如果在某一个 SNR 处,误判率低于误帧率至少一个量级以上,则认为由误判率造成的误帧率是很少的、判决算法是较有效的并且基本不影响系统的工作性能。

在下面的仿真中,我们用 FER、误判率(False Detection Rate, FDR)来评估接收机的检测性能。

3 仿真实验及结果

假设 OFDM 系统子载波数为 N , 采用 QPSK 调制,共有 V 种交织器。本文采用周期交织(periodic interleavers)方式,假设交织矩阵尺寸为 $N=CR$,交织器将数据 $X_n (n=1,2,\dots,N)$ 逐列写入 $C \times R$ 的矩阵,再逐行读出。

文献[1]中我们研究了多种 OFDM 系统在发送端降低 PAR 的性能,在此不再累述。本节我们主要研究接收端的判决检测信号的性能。仿真中采用的度量有(1)CRC 度量;(2)误码计数度量(SER 度量):它反映的是维特比译码器的纠错能力和信道恶劣程度。判决模式采用简单的分支度量模式,即先以某一种度量(CRC 度量)为指标进行判断,若判断困难,则转入下一级,以另外一个度量(SER 度量)进行判断。

下面我们仿真研究 NSI-IPR-OFDM 系统,它采用 16 位 CRC,编码效率 $R=1/2$ 、约束长度为 3 的卷积码,信道为 AWGN(加性白高斯噪声)信道。

图 4 是 $N=64$ 时, NSI-IPR-OFDM 系统误判率与误帧率比较图。图中有三条曲线:(1)FER:误帧率,即利用正确的交织序号,比较发送端和接收端的符号继而计算 FER;

比较发送端和接收端的符号继而计算 FER;(3)FDR:误判率。由图看出,FER 曲线和 RATE-FER 曲线几乎重合,即判决算法优良,几乎不会影响接收端的 FER 性能。由图还可以看出,误判率远远低于误帧率且至少一个量级;在 SNR 为 4dB 时,误判率低于误帧率约 2.5 个量级;在 SNR 为 6dB 时,误判率低于误帧率约 5 个量级。

图 5 是 $N=256$ 时, NSI-IPR-OFDM 系统误判率与误帧率比较图。图中三条曲线含义同上。由图 5 可以看出:(1)FDR 性能优于 FER 好几个量级,当 SNR 为 2dB 时, FDR 低于 FER 3 个量级;当 SNR 为 3dB 时, FDR 低于 FER 5 个量级;(2)RATE-FER 和 FER 曲线几乎重合。这都说明盲判决算法的有效性和可靠性,它几乎不会造成系统 FER 的上升,不会影响接收端系统工作性能。

由这些图可以看出,在某一个 SNR 处,误判率低于误帧率至少一个量级,所以本文提出的接收端盲判方案有着优良的检测信号的能力,能提供可靠的判决性能。

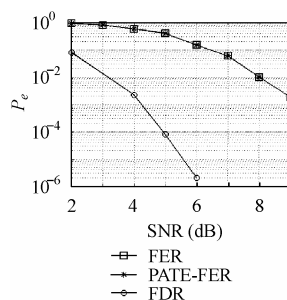


图4 $N=64$, NSI-IPR-OFDM

系统误判率与误帧率比较图

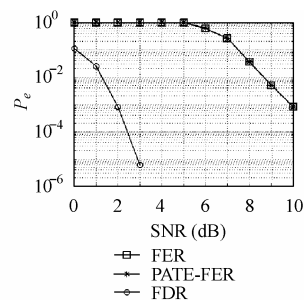


图5 $N=256$, NSI-IPR-OFDM

系统误判率与误帧率比较图

4 结束语

在文献[1]中我们研究了 OFDM 中基于交织理论与相位旋转技术(IPR)的降低 PAR 技术。它使用一种新的相位旋转向量 SPI(Side Phase of IFFT), 这种向量与 SLM 方法中采用的相位旋转向量不同, 它只与子载波序号有关, 所以接收端不需要发送端发送有关相位的辅助信息就可以进行解相位旋转(de-SPI), 但是发送端还是要发送有关交织器序号的辅助信息以便于接收端进行解交织, 这势必降低了系统数据传送速率、减少了系统信道容量。

为了不减少系统信道容量, 本文研究了不需要传送辅助信息的 NSI-IPR-OFDM 系统。它借助于 CDMA 中的速率判决思想, 以增加接收机复杂度为代价, 在接收端进行盲判以恢复信号, 判决依据主要是 CRC 解码信息和反转误码率信息。由仿真结果可以看出, 文中给出的盲判决算法具有有效的、可靠的判决性能。

本文研究了串行结构的判决模型, 即先考虑一个优先级较高的判决因子, 如 CRC 解码信息; 再考虑其它的判决因子。关于判决模型还可以考虑其它的, 如并行结构融合法,

即将几种局部判决因子通过检测中心、融合后得到一个全局判决因子。文中我们通过误帧率和误判率的比较可以看出盲判决方案能获得有效的判决性能。

参 考 文 献

- [1] Liu Sheng-mei, Zhao Chun-ming, Li Can-wei. A novel PAR reduction approach for OFDM systems. IEEE 6th Circuits and Systems Symposium on Emerging Technologies. Shanghai, China, 31 May-2 June, 2004, 2: 449 – 452.
 - [2] Jayalath A, Tellambura C. The use of interleaving to reduce the peak-to-average power ratio of an OFDM signal. IEEE GLOBECOM. San Francisco, USA, 2000, 1: 82 – 86.
 - [3] Jayalath A, Tellambura C. Reducing the peak-to-average power ratio of an OFDM signal through bit or symbol interleaving. *Electronics Letters*, 2000, 36(13): 1161 – 1163.
 - [4] Breiling M. SLM peak-power reduction without explicit side information. *IEEE Comm. Letters*, 2000, 5(6): 239 – 241.
 - [5] Jalaludeen C, Luke W. Rate decision at the IS-95A CDMA handset receiver. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications (ICPWC'99), Jaipur, India, Feb. 1999: 309 – 310.
 - [6] Yang G, Kallel S. Joint blind rate detection and data decoding scheme for CDMA mobile stations in frequency selective Rayleigh fading channels. ICPWC'2000. Hyderabad, India 2000: 449 – 452.
- 刘胜美: 女, 1977 年生, 博士生, 研究方向为多用户检测技术、OFDM 中关键技术.
- 赵春明: 男, 1959 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为扩频通信、编解码、自适应信号处理等.
- 李灿伟: 男, 1974 年生, 工程师, 中兴通讯公司南京研发中心.