

使用不同扩频码和解扩码降低峰均功率比的性能分析^{*}

Performance Analysis of Peak-to-Average Power Ratio Reduction Based on Using Different Spreading and Despreading Codes

崔 嵩, 覃团发

Cui Song, Qin Tuanfa

(广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004)

(Coll. of Comp. & Elec. Info., Guangxi Univ., Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要: 在文献[4]采用不同扩频码和解扩码来降低高峰均功率比的基础上, 通过仿真实验分析不同扩频码和解扩码对系统性能的影响。结果发现, 使用不同的扩频码和解扩码虽然确实能有效降低系统的 $PAPR$, 但是也在一定程度上增大系统的误码率。建议在采用这种方法降低 $PAPR$ 时, 必需兼顾 $PAPR$ 的降低和对系统的误码率性能影响, 才能使得系统的整体性能得到改善。

关键词: 多载波 CDMA 峰均功率比 误码率 扩频码 解扩码

中图分类号: TN911.3 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2005)03-0194-03

Abstract: We analyze the effect of the method to performance of system, which was proposed on reference[4] based on using different spreading and despreading codes to reduce peak-to-average power ratio ($PAPR$). The research results demonstrate that this method using different spreading and despreading codes can reduce $PAPR$ efficiently, but it also results in the degradation of bit error rate (BER) in some sense. In order to gain the whole amelioration of system, we must give attention to the effect to BER performance when we use this method to reduce $PAPR$.

Key words: multicarrier CDMA, $PAPR$, BER, spreading codes, despreading codes

MC-CDMA 是 CDMA 与 OFDM 技术相结合的一种多载波方案^[1]。MC-CDMA^[2,3] 是移动通信中一项非常有前景的高比特率、大容量传输技术。MC-CDMA 能够提高频谱效率, 在多径环境下通过采用保护间隔来避免延迟波的影响及消除符号间的干扰。多载波的一个不利因素是它的峰均功率比 (Peak-to-Average Power Ratio, 简称 $PAPR$) 会引起高功率放大器的非线性失真并造成误码率性能恶化。为了避免这种非线性失真, 非线性功率放大器需要工作在线性区, 这就造成了功率效率的损失。因此, 必须要降低 MC-CDMA 的 $PAPR$ 。

近年来, 人们对降低 MC-CDMA 的 $PAPR$ 进行了深入广泛的研究。目前主要有有限幅法^[2]、部分传输序

列^[2]、选择性映射和编码^[4]等方法。文献[4]提出使用不同的扩频码和解扩码来降低 $PAPR$ 。该方法被证明是一种降低 $PAPR$ 的有效方法, 但是作者并未对使用该方法后系统的性能进行分析。本文进一步研究使用不同扩频码及解扩码来降低 $PAPR$, 并通过仿真实验分析其对系统性能的影响。

1 MC-CDMA 系统模型

系统模型如图 1 所示, 每一个符号被扩频序列扩展。接着进行串并变换, 每一个码片均独立地被一个子载波传输。子载波的数目等于码长 N 。此处假设系统的下行链路是同步的, 那么将保护间隔设为零, 并定义 $d^{(k)}$ 为用户 k 在某一时间间隔内传送的信息码元。用户 k 的基带传输信号的表达式为:

$$s_k(t) = d^{(k)} \sum_{l=0}^{N-1} c_l^{(k)} e^{j2\pi l/T} \quad (1)$$

这里 T 是符号周期, $c_l^{(k)}$ 是第 k 个用户扩频码, N 是扩频码的长度。

峰均功率比 ($PAPR$) 定义为:

收稿日期: 2004-09-16

修回日期: 2005-04-18

作者简介: 崔 嵩(1974-), 男, 黑龙江省尚志县人, 硕士研究生, 主要从事移动通信研究。

^{*} 广西高校百名中青年学科带头人资助项目(桂教人[2002]467号)。

$$PAPR(c) = \max \frac{|Re\{s(t)e^{j2\pi f_c t}\}|}{P_{av}} \leq \frac{\max |s(t)|^2}{\|c\|^2}; P_{av} = \|c\|^2, \quad (2)$$

在(2)式中 f_c 代表载波频率, 在(1)式和(2)式中 c_t 代表扩频码的码元。

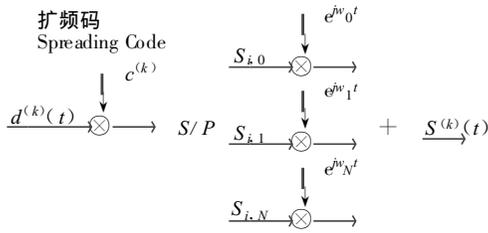


图1 MC-CDMA 系统模型

Fig. 1 Block diagram of MC-CDMA

2 使用不同扩频码和解扩码降低 PAPR 的基本原理

使用不同扩频码和解扩码降低 PAPR 的基本思路是发射端的扩频码不必与接收端的解扩码相同。设 PN_1 和 PN_2 是携带相同能量的正交扩频码, 在发射端可以用 $1/\sqrt{2}(PN_1 + PN_2)$ 或者 PN_1 来进行扩频, 而接收端只使用 PN_1 来进行解扩。假如选择 $1/\sqrt{2}(PN_1 + PN_2)$ 进行扩频, 则接收端将损失一半的能量。

公式推导如下:

$$\begin{aligned} & 1/\sqrt{2}(PN_1 + PN_2) * PN_1 = \\ & 1/\sqrt{2}PN_1 * PN_1 + 1/\sqrt{2}PN_2 * PN_1 = \\ & 1/\sqrt{2}PN_1 * PN_1 = 1/\sqrt{2}N. \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 式中由于 PN_1 与 PN_2 是正交的扩频码, 所以 $PN_1 * PN_2$ 的值为零。N 代表扩频码的码长 (或者等于 PN_1 的能量)。通过选择合适的 PN_2 我们可以减少发射端的 PAPR。为了更详细的阐述这一理论, 令 PN_1, PN_2, \dots, PN_m 是 m 个正交的扩频码。选择其中的一个, 例如 PN_i 为减少 PAPR 用。表 1 是这 $(m-1)$ 个用户的扩频码和解扩码的分配表。在这种方法中, PN_i 只是被用来降低 PAPR, 而不再分配给任何用户。因此, 采用这种方法后可提供给用户的扩频码的数量减少了一个。在实际使用中系统提供给用户的扩频码的数量通常比可用扩频码的数量要少, 因此, 影响并不大。

系统的 PAPR 被定义为:

$$PAPR = \max_{k=1, 2, \dots, m-1} PAPR_k, \quad (4)$$

其中 $PAPR_k$ 是第 k 个用户的 PAPR。上面已经提到, 合理地选择 PN_1, PN_2, \dots, PN_m 中选择合适的 PN_i , 可以使系统的 PAPR 最低。值得注意的是, 对某个用户 k 来说, 究竟是选择 $1/\sqrt{2}(PN_i + PN_k)$ 还是 PN_k 作为扩频

码, 依据是谁能提供更低的 PAPR。我们也可以使用更多的扩频码来更大地降低 PAPR。例如, 我们选择 PN_i 和 PN_j 作为降低 PAPR 用, 对于用户 k, 扩频码可以是 $1/\sqrt{3}(PN_k + PN_i + PN_j), 1/\sqrt{2}(PN_k + PN_i), 1/\sqrt{2}(PN_k + PN_j)$ 或者 PN_k , 选择哪一个的依据是谁能提供更低的 PAPR。但是, 解扩码只能是 PN_k 。

表 1 扩频码和解扩码的分配

Table 1 Distribution of spreading and despreading codes

用户 User	扩频码 Spreading code	解扩码 Despreading code
1	$1/\sqrt{2}(PN_i + PN_1)$ or PN_1	PN_1
2	$1/\sqrt{2}(PN_i + PN_2)$ or PN_2	PN_2
...
$i-1$	$1/\sqrt{2}(PN_i + PN(i-1))$ or $PN(i-1)$	$PN(i-1)$
i	$1/\sqrt{2}(PN_i + PN(i+1))$ or $PN(i+1)$	$PN(i+1)$
...
$m-1$	$1/\sqrt{2}(PN_i + PN_m)$ or PN_m	PN_m

3 误码率性能分析

下面比较两种方法的误码率性能, 它们分别采用 $1/\sqrt{2}(PN_1 + PN_2)$ 和 PN_1 来进行扩频, 解扩均用 PN_1 。

在分析误码率性能时, 考虑了信道噪声干扰, 并选择加性高斯白噪声进行分析。令两种方法在发射端发射功率相同。在下面的表达式中, 两种方法在信道中受到的噪声干扰分别为 n_1 和 n_2 , 这两个表达式演示了两种不同的方法实现扩频、加入信道噪声及解扩的整个过程。

$$\begin{aligned} & (1/\sqrt{2}(PN_1 + PN_2) + n_1) * PN_1 = \\ & 1/\sqrt{2}PN_1 * PN_1 + 1/\sqrt{2}PN_2 * PN_1 + n_1 * PN_1 = 1/ \\ & \sqrt{2}PN_1 * PN_1 + n_1 * PN_1, \end{aligned} \quad (5)$$

$$(PN_1 + n_2) * PN_1 = PN_1 * PN_1 + n_2 * PN_1, \quad (6)$$

在(5)式中, 由于 PN_1 与 PN_2 是相互正交的, 所以 $PN_1 * PN_2$ 为零。由于两种方法在发射端的发射功率相同, 在相同信噪比的情况下它们在信道中受到的干扰噪声的功率是一样大的, 即 $n_1 = n_2$ 。由于解扩时采用的是相同的解扩码, 加上两噪声的功率是一样的, 所以解扩后 $n_1 * PN_1 = n_2 * PN_1$ 。但是, 在接收端经解扩之后(5)式中被发射的用户信号的能量损失了一半。

那么, 两种方法在接收端的噪声功率与用户信号功率之比分别为

$$\eta_1 = (n_1 * PN_1 / (1/\sqrt{2} * PN_1 * PN_1))^2, \eta_2 = ((n_2 * PN_1) / (PN_1 * PN_1))^2.$$

那么 $\eta_1 = 2\eta_2$ 。即在采用 $1/\sqrt{2}(PN_1 + PN_2)$ 进行

扩频并用 PN_1 解扩后, 由于在接收端用户信号的能量损失了一半, 噪声对用户信号的干扰程度增大了, 这将导致误码率性能恶化。

如果为了更大地降低 $PAPR$, 我们可以使用更多的扩频码作为降低 $PAPR$ 用。例如, 扩频和解扩按 $1/\sqrt{3}(PN_1 + PN_2 + PN_3) * PN_1$ 进行。因接收端有用信号的能量损失了 $2/3$, 误码率性能恶化得更严重。总之, 接收端损失的能量越多, 误码率性能恶化得越严重。

4 仿真结果

采用长度为 64 的 Walsh-hadamard codes 进行仿真, 扩频码长度等于子载波数。采用 BPSK 调制, 信道为高斯白噪声信道。非线性功率放大器采用预失真功率放大器^[3], 其表达式如下:

$$f(r) = h(r) = \begin{cases} r, & r < A, \\ A, & r \geq A. \end{cases} \quad (7)$$

比较 $PN_1 * PN_1$, $1/\sqrt{2}(PN_1 + PN_2) * PN_1$, $1/\sqrt{3}(PN_1 + PN_2 + PN_3) * PN_1$ 三种情况。

从仿真结果(图 2)中可以看出 $1/\sqrt{3}(PN_1 +$

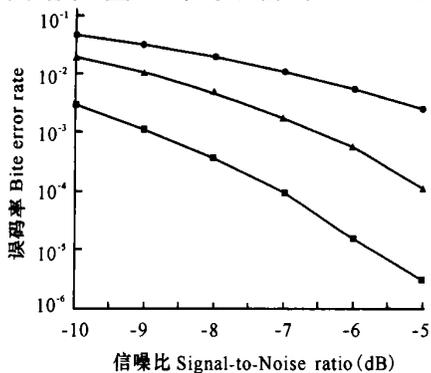


图 2 不同程度降低 $PAPR$ 时的误码率比较

Fig 2 Comparison of BER under different reduction of $PAPR$
 -■-: $PN_1 * PN_1$; -▲-: $1/\sqrt{2}(PN_1 + PN_2) * PN_1$; -●-: $1/\sqrt{3}(PN_1 + PN_2 + PN_3) * PN_1$

(责任编辑: 邓大玉)

$PN_2 + PN_3) * PN_1$ 和 $1/\sqrt{2}(PN_1 + PN_2) * PN_1$ 都造成了误码率性能恶化, $1/\sqrt{3}(PN_1 + PN_2 + PN_3) * PN_1$ 恶化最严重。

5 结论

虽然使用不同的扩频码和解扩码确实能有效降低系统的 $PAPR$, 但是也在一定程度上增大系统的误码率。因此, 在采用这种方法降低 $PAPR$ 时, 必需兼顾 $PAPR$ 的降低和对系统的误码率性能影响, 使得系统的整体性能得到改善。

参考文献:

- [1] R van Nee, R Prasad. OFDM for Wireless Multimedia Communications [C]. Artech House, 2000.
- [2] Yee N, Linnartz J P, Fettweis G. Multicarrier CDMA in indoor wireless radio networks [C]. Proc of IEEE PIMRC '93 [A], Yokohama, Japan, 1993. 109-113.
- [3] Hara S, Prasad R. Overview of Multicarrier CDMA [J]. IEEE Commun Mag. 1997, 35(12): 126-133.
- [4] Talasaz A H, Kenani M N. Peak-to-average reduction in MC-CDMA based on using different spreading and despreading codes [C]. [Conference Paper]. 2002 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Record. WCNC 2002 (Cat. No. 02TH8609). IEEE Part [A]. Piscataway, NJ, USA, 2002. 665-668.
- [5] Banelli P, Caccioparti S. Theoretical analysis and performance of OFDM signals in nonlinear AWGN channels [J]. IEEE Trans Commun, 2000, 48(3): 430-441.

活性氧与老化无关

日本东京大学研究人员最近发现, 一向被认为是催人老化的活性氧实际上与老化没有关系。他们的动物实验同时证实, 细胞内线粒体 DNA (脱氧核糖核酸) 的损伤不断增加是老化的原因之一。

活性氧一直被认为是对基因和细胞膜造成损害的有害物质。科学家过去认为, 活性氧通过攻击线粒体促使人衰老, 因此, 抑制活性氧作用、有抗氧化效果的保健食品在市场上销路很广。东京大学工学研究室特聘教师染谷慎一等人通过老鼠实验否定了这种结论。

研究人员用基因技术培育出对线粒体 DNA 失去修复功能的老鼠, 结果发现, 和正常老鼠相比, 实验鼠线粒体 DNA 受损速度加快, 进而出现掉毛、白毛、脊背骨弯曲的现象, 并且经确认患有老年性耳聋。正常老鼠平均活 18 个月, 而实验鼠的最长寿命只有 15 个月。该项研究显示, 线粒体 DNA 损伤不断增加, 可导致细胞凋亡, 加快老化进程。

据《科学时报》