

# cdma2000 系统中导频干扰抵消方案研究

陈 玉, 尤肖虎

(东南大学 移动通信国家重点实验室, 江苏南京 210096)

**摘 要:** 本文介绍了 cdma2000 系统中计算和消除导频信号干扰的一种有效方法, 并将其应用于单个和多个蜂窝小区的环境中. 仿真结果表明, 采用本方法的 RAKE 接收机既可以保证信道估计的精度, 合并接收到的多径信号; 又可以有效地消除由导频信号所引入的多址干扰, 使得系统性能得到较大程度的提高. 同时, 符号速率上的导频干扰抵消运算大大降低了实际系统中硬件实现时的复杂度.

**关键词:** 导频干扰抵消; RAKE 接收机; cdma2000

**中图分类号:** TN929. 533 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 10-1565-03

## A Pilot Cancellation Scheme for cdma2000 Systems

CHEN Yu, YOU Xiao-hu

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

**Abstract:** An effective method of calculating and eliminating the multiple-access interference (MAI) introduced by the pilot signal in cdma2000 systems is presented in this paper. Its applications to single-cell and multi-cell environments are also described. Computer simulations show that the RAKE receiver with the proposed pilot cancellation scheme can not only ensure the accuracy of channel estimation and combine separable multi-path components but also effectively eliminate the MAI due to the pilot signal. So the system performance is greatly improved. Besides, pilot cancellation at symbol rate leads to relatively low hardware complexity in its implementation for practical systems.

**Key words:** pilot cancellation; RAKE receiver; cdma2000

### 1 引言

在 cdma2000 蜂窝移动通信系统中, 导频 (Pilot) 信道传送带有确知信息的导频序列, 不仅可以用于系统定时、载波提取以及越区切换等, 而且可以对多径衰落信号的幅度和相位信息进行估计, 从而使得多径分集和相干 RAKE 接收成为可能<sup>[1]</sup>.

为了保证信道参数估计的准确性, 导频信道的发射功率通常高于用户业务信道, 这样会对用户业务信道产生额外的多址干扰. 在扩频通信系统中, 有效地抵消导频信道引入的多址干扰是进一步改善系统性能和提高系统容量的重要途径. 文[2]介绍了一种用于室内环境的导频干扰抵消方案, 在 RAKE 合并前计算导频干扰并加以抵消. 由于 Chip 速率很高, 因此这种导频干扰抵消方案在实际系统中实现时会带来很大的硬件开销. 本文所介绍的导频干扰抵消算法适用于室内及室外各种移动环境, 在 RAKE 合并后的符号序列中计算并消除导频干扰, 不仅简单易行, 而且在符号速率上处理将大大降低硬件实现时的复杂度.

本文的第二部分给出了导频干扰抵消算法, 并将其应用

于单个和多个蜂窝小区的环境中. 第三部分给出了计算机仿真的结果, 将传统 RAKE 接收机和带有导频干扰抵消算法的 RAKE 接收机的性能进行了比较. 第四部分为结论.

### 2 导频干扰抵消算法

#### 2.1 通信系统与信道模型

以 cdma2000 下行链路为例, 前向信道由导频信道和  $M$  个业务信道及控制信道组成, 则等效基带发射信号可表示为

$$u(t) = \sum_{i=0}^M u_i(t) = \sum_{i=0}^M \sqrt{P_i} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} d_i(n) \cdot w_i(t - nT_s) \cdot p(t) \quad (1)$$

式中:  $u_i(t)$  ( $1 \leq i \leq M$ ) 为第  $i$  个码道的等效基带信号;  $d_i(n)$  为第  $i$  个码道上扩频前的信息符号序列, 是取值为  $+1/-1$  的等概序列;  $w_i(t)$  为第  $i$  个码道所指定的编号为  $i$  的正交 Walsh 序列, 其值仅在  $0 < t < T_s$  区间内取非零值;  $T_s$  为所发送信息符号的时间间隔;  $P_i$  为第  $i$  个码道的发射功率.  $u_0(t)$  对应于导频信道, 其发射功率为  $P_0$ , 扩频前所发送的信息符号恒等于 1, 即  $d_0(n) = 1$ , 且  $w_0(t) = 1, 0 < t < T_s$ . 在实际系统中, 导频信道的发射功率要比用户业务信道提高  $A_0$  倍, 定义  $A_0 = P_0/P_i$ , 称为导频功率增益因子;  $p(t)$  是本小区中所有用

户使用的公共复扰码。

经过具有  $L$  个抽头的延时线衰落信道模型<sup>[3]</sup>后,接收信号为

$$r(t) = \sum_{l=0}^{L-1} c_l(t) \cdot u(t - \tau_l) + z(t) \quad (2)$$

式中:  $c_l(t)$  为时变多径信道第  $l$  径的衰落因子;  $\tau_l$  为时变多径信道第  $l$  径的时延;  $z(t)$  为零均值的复高斯白噪声,其双边功率谱密度为  $N_0/2$ 。

## 2.2 单个蜂窝小区中的导频干扰抵消算法

假设移动信道为频率选择性慢衰落信道模型,则可以认为  $c_l(t)$  在一个信道估计区间内近似为常数  $c_l$ 。由此可以得到其估计值为

$$\hat{c}_l = \frac{1}{NE_c} \int_0^{NT_c} r(t + \tau_l) \cdot p^*(t) dt = c_l + N_a + N_c + N_z \quad (3)$$

式中:  $N_a$ 、 $N_c$  和  $N_z$  分别为扩频序列的相关特性不够理想所造成的多径干扰、其他用户所引入的多址干扰以及复高斯白噪声通过相关信道估计器后产生的输出;  $NT_c$  为信道估计的积分区间;  $T_c$  为 chip 周期;  $E_c$  为导频信道在一个 Chip 之内的发送能量。

对于第  $i$  个码道的信号进行 RAKE 解调和最大比合并后,得到最优判决变量

$$v_i(m) = \sum_{l=0}^{L-1} \hat{c}_l^* \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} r(t + \tau_l) \cdot w_i(t - mT_s) \cdot p^*(t) dt \\ = \sum_{l=0}^{L-1} \hat{c}_l^* \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} \sqrt{P_i} T_s c_l d_i(m) + v_i^p(m) + v_i^q(m) + z(m) \quad (4)$$

式中:  $v_i^p(m)$  为导频信道所引入的码道间干扰;  $v_i^q(m)$  为所有用户码道对当前所接收码道的互干扰;  $z(m)$  为 RAKE 输出中的噪声分量。进一步推导,可以得到

$$v_i^p(m) = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{L-1} \hat{c}_l^* c_k \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} \sqrt{P_0} p(t - \tau_k + \tau_l) \cdot w_i(t - mT_s) \cdot p^*(t) dt \\ v_i^q(m) = \sum_{j=1}^M \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{L-1} \hat{c}_l^* c_k \int_{mT_s}^{(m+1)T_s} \sqrt{P_j} d_j(m) \cdot w_j(t - mT_s - \tau_k + \tau_l) p(t - \tau_k + \tau_l) \cdot w_i(t - mT_s) \cdot p^*(t) dt \quad (6)$$

考虑到  $v_i^p(m)$  为导频信道所引入的确定的干扰项,因此可以从最大比合并后的输出信号中消除;而  $v_i^q(m)$  为所有用户码道对当前所接收码道的互干扰,涉及到复杂的多用户联合检测问题,暂时加以忽略;由此得到修正后的 RAKE 输出为

$$\bar{v}_i(m) = v_i(m) - v_i^p(m) \quad (7)$$

## 2.3 多个蜂窝小区中的导频干扰抵消算法

我们可以很方便地将导频干扰抵消算法应用于多个蜂窝小区的情形,消除相邻小区中基站发送的导频信号对于本小区中用户产生的多址干扰。

多小区所造成的导频干扰问题大多出现在越区软切换和宏分集状态,但导频干扰抵消算法可以容易地推广到移动台处于非越区软切换和宏分集状态时的邻近小区导频干扰抵消情形。假定移动台同时接收来自  $R$  个基站所发送的信息,而每个基站所发送的信息又包括各自的导频信号及其它调制信号,则通过与以上相类似的推导可以得到本小区的导频干扰

抵消结果为

$$\bar{v}_i(m) = v_i(m) - \sum_{r=1}^R v_i^{p,r}(m) \quad (8)$$

其中  $v_i^{p,r}(m)$  为第  $r$  个基站的导频信号对当前接收码道的干扰。若移动台需要进行宏分集,则需要对多个基站重复进行式(8)所示的运算,并把结果在时间上对齐后进行二次合并。

在实际系统中,只需在传统 RAKE 接收机的基础上增加一个独立的功能模块,即可抵消导频信号引入的多址干扰,而且在符号速率上处理将大大降低硬件实现时的复杂度。

## 3 仿真结果与分析

基于以上的分析和描述,我们将导频干扰抵消算法应用于建立在 COSSAP 上的 cdma2000 1x 下行链路<sup>[4]</sup>仿真平台,对系统性能进行了仿真和研究。在三个蜂窝小区的情形下,本小区中的系统用户数为 6,我们选择速率为 9.6 Kbit/s 的前向基本业务信道进行研究,信号采用 QPSK 调制,扩频增益为 64;信道编码采用码率为 1/4 的卷积编码,约束长度为 9;使用大小为 768 的块交织;chip 速率为 1.2288 Mchip/s,载波频率为 1.9 GHz;信道模型采用 ITU 推荐的 M.1225 车载信道模型,车速为 100 km/h;信道估计区间为 16 个符号,RAKE 接收机中采用最强三径合并。两个相邻蜂窝小区中的基站导频功率与本小区相同。仿真时假设接收端的 chip、符号及帧已经完全同步,且暂未考虑越区软切换和宏分集的情形。

图 1 给出了不同导频功率增益因子条件下、不带导频干扰抵消算法的传统 RAKE 接收机的误码率性能。当  $A_0$  从 0 dB 提高到 6 dB 时,系统性能大约有 1.5 dB 的明显改善。当  $A_0$  进一步提高到 9 dB 时,系统性能的改善程度已不明显,而且在信噪比较高时,导频信道所引入的多址干扰的影响非常显著,导致接收机的性能迅速恶化, $A_0 = 9$  dB 对应的曲线与  $A_0 = 6$  dB 及  $A_0 = 3$  dB 对应的曲线发生交叉。不适当地提高导频信道的功率,虽然可以提高信道参数估计的精度,但是接收机所接收的多址干扰也随之增加,使得系统性能恶化。

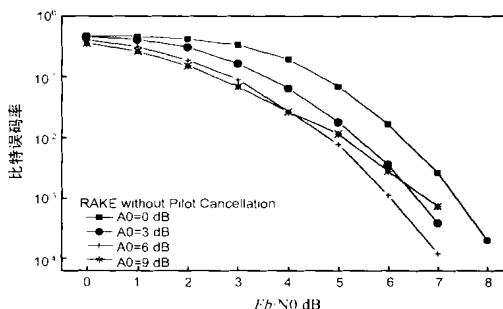


图 1 传统 RAKE 接收机的误码率性能曲线

图 2 给出了不同导频功率增益因子条件下、带有导频干扰抵消算法的 RAKE 接收机的误码率性能。由于有效地抵消了导频信道所引入的多址干扰,导频信道功率的增加不仅提高了信道估计的精度,而且在信噪比较高时, $A_0 = 9$  dB 对应的曲线与  $A_0 = 6$  dB 及  $A_0 = 3$  dB 对应的曲线不再发生交叉,系统性能得到进一步的改善。

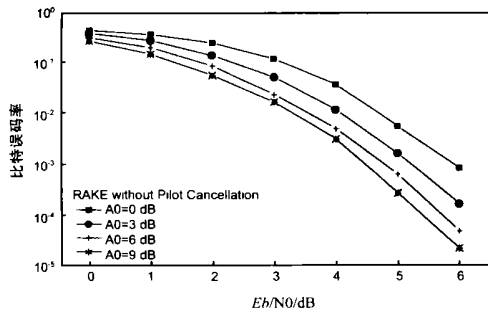


图 2 带有导频干扰抵消算法的 RAKE 接收机的误码率性能曲线

图 3(a) 和图 3(b) 给出了不同导频功率增益因子条件下、传统 RAKE 接收机与带有导频干扰抵消算法的 RAKE 接收机的误码率性能比较。采用导频干扰抵消算法,可以明显改善 RAKE 接收机的性能;这同时也意味着系统可接入的用户数可以增加,通信系统的容量得到进一步的提高。

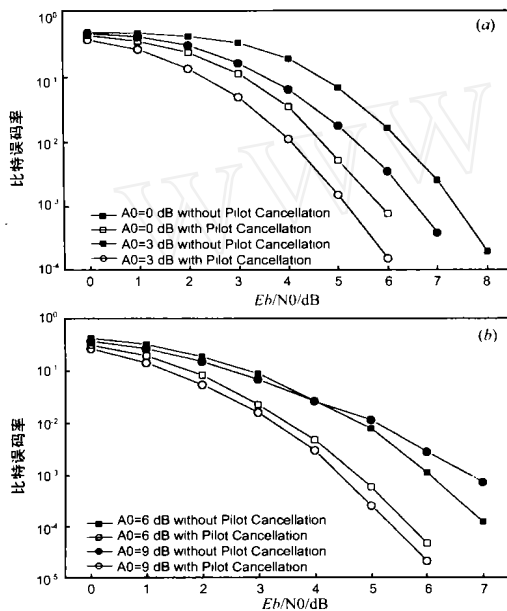


图 3 传统 RAKE 接收机与带有导频干扰抵消算法的 RAKE 接收机的误码率性能比较

## 4 结论

本文提出的导频干扰抵消算法适用于任何具有导频辅助的 CDMA 移动通信系统,包括 3GPP WCDMA 和 3GPP2 cdma2000 系统。不仅能够应用于单个蜂窝小区,有效地克服传统 RAKE 接收机中信道参数估计的准确性提高与接收机性能下降之间的矛盾;而且可以很方便地推广到多个蜂窝小区的情形,有效地消除相邻小区中基站发送的导频信号对于本小区中用户产生的多址干扰,更好地满足话音和数据业务的传输要求。

## 参考文献:

- [1] J G Proakis. Digital Communications [M]. New York: Mc Graw-Hill, 1989, 第 14 章, 第 5 节.
- [2] R Fantacci, A Galligani. An efficient RAKE receiver architecture with pilot signal cancellation for downlink communications in DS-SS indoor wireless networks[J]. IEEE Trans Commun, 1999, 47(6): 823 - 827.
- [3] Boujemaa H, Siala M. On the Rake Receiver Performance [A]. VTC 2000 Fall [C]. 2000, Boston, USA. 52(3): 1483 - 1488.
- [4] TTA/EIA/IS-2000-2, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum System [S]. [http://www.3gpp2.org/Public\\_html/specs/C.S0002-A-1.pdf](http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0002-A-1.pdf). 2000-09-12/2001-08-30.

## 作者简介:



陈 玉 男,1974 年 1 月生于江苏省南京市,分别于 1996 年和 1999 年在南京航空航天大学电子工程系获工学学士及硕士学位,现在东南大学无线电工程系移动通信国家重点实验室攻读博士学位。

尤肖虎 男,1962 年 8 月生于江苏省苏州市,东南大学无线电工程系系主任,博士生导师,中国第三代移动通信系统研究开发项目总体组组长。