

文章编号:1671-6833(2008)03-0051-03

## TD-SCDMA 系统中基于线性预测的内环功率控制

李 鹏<sup>1</sup>, 李 莉<sup>2</sup>

(1. 中国石油大学(华东) 计算机与通信工程学院, 山东 东营 257061; 2. 山东胜利职业学院 建设工程分院, 山东 东营 257000)

**摘 要:** 针对 TD-SCDMA 系统的特点, 基于其系统中内环功率控制的方法, 提出了一种基于线性预测参数的内环功率控制算法, 结合开环、外环功率控制, 对不同信道条件、不同控制输入参数的内环功率控制进行了仿真, 结果表明, 该算法可以适当补偿路径损耗和慢衰落, 对系统性能的提高有一定的益处。

**关键词:** 时分双工同步码分多址; 功率控制; 信干比; 开环; 内环

**中图分类号:** TN 914

**文献标识码:** A

### 0 引言

TD-SCDMA 是一种由我国提出的全面满足 IMT-2000 要求的移动通信标准, 系统码片速率为 1.28 Mcps, 扩频带宽约为 1.6 MHz, 采用不需要成对频率的 TDD 工作方式能较好地解决当前频率资源紧张的矛盾, 结合智能天线、联合检测等技术, 大大提高了系统性能。TD-SCDMA 基于 CDMA 技术, 而 CDMA 通信系统是一个干扰受限的系统。因此, 为了保证系统的设计容量和性能, 必须采用严格的功率控制技术。

### 1 TD-SCDMA 系统中的功率控制

在 TD-SCDMA 系统中, 功率控制分为开环、外环和内环控制。这三部分在整个系统中的功能和作用有所不同, 但又互相结合, 形成了整体的功率控制。

开环功率控制主要用于随机接入过程, 为了粗略补偿路径损耗和阴影、拐角等效应带来的功率变化, 移动台(或基站)根据下行链路(或上行链路)接收到的信号质量, 对信道衰落情况进行估计, 从而对发送功率进行调整。开环功率控制对移动台发射功率的调整使用“一步到位”的方法, 具有很高的功率控制“梯度”, 这在快变的信道里将会产生误调。因此, 这种功率控制的不确定性要通过更精确的外环、内环功控来补偿。

外环功控的主要功能是根据接收的质量(误

码率 BER 或误帧率 FER)动态地调整内环功控中的 SIR 门限。

内环功率控制又称快速功率控制, 它根据实时测量的 SIR 得到信噪比的估计值  $SIR_{est}$ , 与目标信噪比  $SIR_{target}$  比较, 产生功率控制命令 TPC (Transmit Power Control), 发射端按照接收到的功率控制命令进行功率调整。

### 2 内环功率控制算法

#### 2.1 控制算法及控制命令的生成

具体来说, 内环功率控制是指接收端通过测量, 得到信噪比  $SIR_{est}$  的估计值, 然后将此估计值  $SIR_{est}$  与外环输出的目标信噪比  $SIR_{target}$  进行比较, 产生功率控制命令 TPC, 这个命令通过无线信道传到发送端, 发射端根据此命令在开环功率控制设定的功率值基础上调整某一功率值  $\Delta_{tpc}$ , 即

$$P(n+1) = P(n) + b_{tpc} \cdot \Delta_{tpc} \quad (1)$$

$$b_{tpc}(n) = \begin{cases} 1, & SIR(n-1) < SIR_{target} \\ -1, & SIR(n-1) > SIR_{target} \end{cases} \quad (2)$$

即第  $n+1$  时刻的发射功率由第  $n$  时刻的发射功率、TPC 命令和调整步长决定。两个时刻之间的时间长度就是控制周期  $T$ , 所调整的幅度就是调整步长。

根据当前( $n$  时刻)测得的 SIR, 通过预测量的方法可得到( $n+T$ )时刻的 SIR。计算得到预测 SIR 后, 通过与目标 SIR 的对比产生功率控制命令

$$\Delta SIR = SIR_{est} - SIR_{target} \quad (3)$$

功控命令用下式生成

收稿日期: 2007-04-07; 修订日期: 2008-06-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60572020)

作者简介: 李 鹏(1975-), 男, 山东潍坊人, 中国石油大学讲师, 硕士, 主要从事第三代、第四代移动通信研究。

$$\text{TPC} = \begin{cases} 00, & \Delta \text{SIR} < 0 \\ 11, & \Delta \text{SIR} \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

根据 3GPP 规范,功率控制命令是“00”时表示提高发送功率,功率控制命令是“11”时表示降低发射功率.内环功率控制调整的步长,可选值为 1,2,3 dB<sup>[1]</sup>.

## 2.2 线性预测和递归平均

测量和功率控制命令的传输会产生时延,TD-SCDMA 系统中内环功率控制的周期最小为 5 ms,即一个无线子帧的长度.但时延的存在使得不能用当前帧得到的功率控制信息作为下一帧信息的估计,因为当移动台速度较快时,5 ms 的时间里信道会经历 1 次以上的衰落,这使得前后两帧的功率或 SIR 会相差很大.所以需要根据当前帧和最近一些帧的信息来预测下一帧(或隔几帧)的功率和 SIR 值.

另外,无论是信号功率、干扰功率,还是解调后的 SIR,这些值的测量都是不准确的,只有在经过统计平均之后才逼近实际值<sup>[2]</sup>,不能直接用瞬时值来进行功率控制,因为不准确的测量值很可能会导致过调,使经过功率控制的系统性能反而变差.

### 2.2.1 测量值的计算

在系统中,为了节省存储空间,对测量值的平均可采取“递归平均”的算法,即

$$\bar{x}(n) = px(n) + (1-p)\bar{x}(n-1) \quad (5)$$

式中: $x(n)$ 为测量值序列; $\bar{x}(n)$ 为测量值的均值; $p$ 称为遗忘因子,由平均的测量窗长决定.为简便起见,后面用  $x_n$  表示  $x(n)$ , $\bar{x}_n$  表示  $\bar{x}(n)$ .

利用线性预测,若当前值的序号为  $n$ ,则对  $n+D$  个值的预测为:

$$x_{n+D} = (x_n - \bar{x}_n)\rho_n^{(D)} + \bar{x}_n \quad (6)$$

式中: $D$ 为大于或等于 1 的整数; $\rho_n^{(D)}$ 为信号序列的自相关系数,依赖于  $x_n$  的统计特性,可以用下式计算:

$$\rho_n^{(D)} = \frac{\bar{r}_n^{(D)} - \bar{x}_n^2}{\bar{r}_n^{(0)} - \bar{x}_n^2} \quad (7)$$

式中: $\bar{r}_n^{(0)}$ 为序列  $x_n$  自相关(功率)的均值; $\bar{r}_n^{(D)}$ 为序列  $x_{n-m}$  和  $x_{n-m-D}$  互相关的均值,所有均值都由递归平均得到.

### 2.2.2 SIR 的预测

以上行链路为例.令基站测到的特定移动台的瞬时信号功率为  $RxP$ ,移动台的瞬时发送功率为  $TxP$ .实际中,基站并不知道移动台每次都用什么功率来发送,只能进行估计,基站是通过移动台

的测量汇报周期汇报的发送功率和基站向移动台发送的功率控制命令来估计的.理论分析中认为  $TxP$  已知,设计计算中所有的功率值和 SIR 值都已化成 dB 形式,则信道增益(路径损耗、阴影衰落和 Rayleigh 衰落)可以表示为:

$$g = RxP - TxP \quad (8)$$

进而推导得接收信干比的预测值为<sup>[3]</sup>:

$$\text{SIR}_{est} = \text{SIR}_{n+D} = (\text{SIR}_n - \overline{\text{SIR}_n})\rho_n^{(D)} + \overline{\text{SIR}_n} \quad (9)$$

式中: $D$ 为预测值与当前帧所隔的帧数,如当前帧号为  $n$ ,预测第  $n+1$  帧的 SIR 则  $D=1$ ,预测第  $n+2$  帧的 SIR 则  $D=2$ . $\rho_n^{(D)}$ 在这里为信道增益的自相关系数,由下式计算<sup>[4]</sup>

$$\rho_n^{(D)} = \frac{\bar{r}_n^{(D)} - \bar{g}_n^2}{\bar{r}_n^{(0)} - \bar{g}_n^2} \quad (10)$$

上式中,

$$g_n = RxP_n - TxP_n \quad (11)$$

$$r_n^{(0)} = (RxP_n - TxP_n)^2 \quad (12)$$

$$r_n^{(D)} = (RxP_n - TxP_n)(RxP_{n-D} - TxP_{n-D}) \quad (13)$$

## 3 功率控制的仿真模型和仿真结果分析

### 3.1 仿真模型框图

TD-SCDMA 系统内环功率控制调整步长的选择受到周围环境、移动台速度、业务类型等因素的影响,如果上述因素在通信过程中发生了变化,调整步长可能就需要进行调整以适应新的传播环境.本节就调整步长对功控的影响做了仿真,条件为:信道取 Case2,  $v=3$  km/h 和 Case3,  $v=50$  km/h<sup>[5]</sup>,用户数为 8,每用户占用一个码道,扩频因子  $SF=16$ ,理想信道估计,联合检测算法取 ZF-BLE<sup>[6]</sup>.

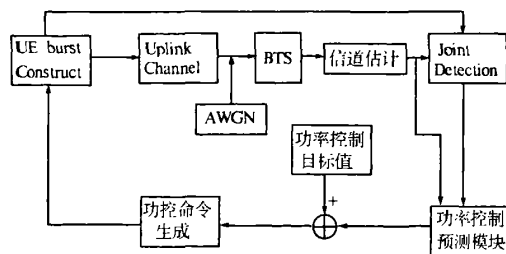


图 1 功率控制仿真模型(上行链路)

Fig.1 Simulation model of PC for up-link

### 3.2 结果及分析

从图 2 可以看出,在 Case2 信道情况下(终端速度较低),功率控制能够使系统性能得到很大的提高.3 种不同的步长中,当  $BER=0.01$  时,1 dB 步长提高 7 dB,2 dB 步长和 3 dB 步长相差不多,大约提高 7.8 dB,当  $E_b/N_0$  较高时,3dB 步长稍好一些, $BER$  较 2dB 步长要好,并且明显好于

1 dB步长的情况;在 Case3 信道情况下(终端速度较高),功率控制并不能使系统性能得到提高,这说明当终端速度大于 50 km/h 后,TD-SCDMA 系统的内环功率控制并不能补偿快衰落的影响,反而由于跟不上衰落的速度产生过调,使系统性能

反而变坏.这时内环功率控制的主要目的应该是补偿由于路径损耗和阴影衰落(速率慢)造成的信号的衰减和起伏;同时可以看到,功控调整步长越大,性能越差,说明当终端速度很高时,应该用较小调整步长.

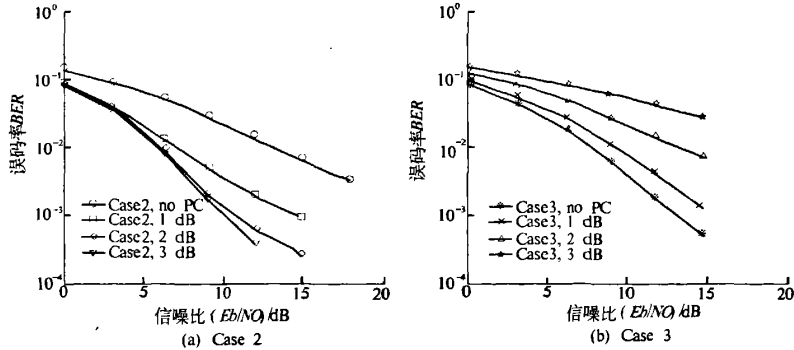


图2 Case2、Case3 多径条件下不同步长对功控的影响

Fig.2 The effect of different step to PC under Case2 and Case3 multi-paths conditions

#### 4 结束语

基于线性预测的内环功率控制算法对于提高 TD-SCDMA 系统性能具有重要意义.虽然对高速移动产生的快衰落(衰落速率  $\geq 200$  Hz)的控制效果并不理想,但由于它对路径损耗和慢衰落仍有一定的补偿作用,对系统性能也会带来一定的益处.这说明功率控制的作用是有限的,需要同时引入良好的联合检测算法、智能天线等能够有效减小和抵抗干扰的技术,最终解决 TD-SCDMA 系统的干扰和容量问题.

#### 参考文献:

[1] 3GPP: TS 34.122 V4.6.0, Radio Transmission and

Reception (TDD) [S].

- [2] 冉晓龙. TD-SCDMA 系统基带测量算法研究[D]. 北京:信息产业部电信科学研究院.
- [3] 李小文,李贵勇. TD-SCDMA 第三代移动通信系统、信令及实现[M]. 北京:人民邮电出版社,2003:142-143.
- [4] 罗鹏飞,张文明. 随机信号分析与处理[M]. 北京:清华大学出版社,2006:48-53.
- [5] CWTS: TSM05.05.3.1.0, Radio Transmission and Reception[S].
- [6] 康绍莉,李世鹤. 线性联合检测算法在 TD-SCDMA 系统中的性能分析与比较[J]. 通信学报, 2002, 23(6): 74-81.

### Inner-loop Power Control Based on the Linear Prediction in TD-SCDMA

LI Peng<sup>1</sup>, LI Li<sup>2</sup>

(1. Computer and Communication Engineering College, China University of Petroleum, Dongying 257061, China; 2. Jianshe Engineering Academy, Shandong Shengli Vocational College, Dongying 257000, China)

**Abstract:** In view of the characteristics of the TD-SCDMA system, the inner-loop power control algorithms in the system are elaborated, and a power control algorithm based on linear prediction of the input parameters of the power control is also put forward. In combination with open-loop and outer-loop power control, the inner-loop power control under some conditions such as different channel environments and different control parameters has been simulated. It shows that the algorithm can counteract the power loss of path loss and slow fading to a certain extent, so as to benefit the system performance.

**Key words:** TD-SCDMA; power control; SIR; open-loop; inner-loop