

基于码分多址系统的多级业务接纳研究

肖登坤¹, 张其善¹, 李世鹤²

(1. 北京航空航天大学, 北京 100083; 2. 大唐移动公司, 北京 100081)

摘 要: 基于码分多址系统, 本文在理想功率控制条件下和非理想功率控制条件下, 首次提出了多级业务接纳域的求解方法. 该方法可将接纳域做成数据表格的形式, 在实时的通信过程中可通过查表的方式对用户进行接纳判断.

关键词: 信号处理; 码分多址; 服务质量

中图分类号: TN91 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 08 1473-03

Research of Multilevel Operation Admission Based on CDMA

XIAO Deng-kun¹, ZHANG Qi-shan¹, LI Shi-he²

(1. Beijing University of Aeronautics and Astronautics; Beijing 100083, China; 2. Datang Mobile Company Beijing 100081, China)

Abstract: Based on Code Division Multiple Access (CDMA) system, under the conditions of perfect power control and imperfect power control, the solution of multilevel operation admission region was proposed for the first time. The admission region can be formed to tabulation by the method. In real time communications, check the tabulations in order to make the admission decision for a new user.

Key words: signal processing; code division multiple access; quality of service

1 引言

用基于多码 DS-SS CDMA 系统来传递无线多级业务一直是人们研究的热点, 因为在 3G 所采纳的所有系统中, 多码 CDMA 系统都是必选的方案. 文献[1, 2, 3]研究了利用该系统来传递语音及数据综合业务的接纳方案. 文献[4]研究了线速率的选取和激活因子(ACF)对系统容量的影响. 文献[5]分别在两级和多级业务的情况下分析了该系统的容量特性.

文献[1, 2]在理想条件下, 建议了适合于接纳两级业务的门限模型. 文献[5]虽然建议了基于多级业务的接纳方案, 但改方案没有考虑各种业务的激活因子. 在多级业务情况下, 文献[6]建议了基于预测的接纳方法, 这个方案的特点是计算量大, 实时性差. 本文在衰落信道中, 基于各业务的中断特性研究了接纳域的求解方法, 设计了更为实用的接纳方案, 该方案把接纳域做成数据表格的形式, 当新的呼叫到来时, 通过查表就可以决定是否接纳该呼叫. 该方法避免了基于测量、基于预测进行接纳所需要的繁琐的测量和计算, 实现简单, 实时性强.

2 衰落环境中多级业务接纳域求解

下面的研究假设系统支持 M 级业务, 且以多码 CDMA 为参考系统. 为了进行以下的研究, 对于某 i 类业务而言, 与其相应的中断概率定义为

$$P_{out,i} \triangleq P_r^L \langle E_b/I_0 \rangle_i < \gamma_i^L \quad (1)$$

其中, E_b 是信号的比特能量; I_0 是总的干扰密度; γ_i 是该业务要求的标准的服务质量 QoS 指标.

2.1 理想功率控制条件下的接纳域求解

在理想功率控制条件下, 考虑 WSSUS 信道, 参考文献[7], 为了满足任一业务的 QoS, 其比特能量对干扰密度比使下式成立.

$$\left\langle \frac{E_b}{I_0} \right\rangle_i = \frac{(3/2) \cdot G \cdot S}{(1 + 2v^2) \cdot (I_{int})_i + I_{int} + (3/2) \cdot G \cdot F(G) \cdot S_i + \eta^2} \geq \gamma_i \quad (2)$$

其中, $(I_{int})_i$ 是对第 i 个用户而言, 小区内其他用户对其产生的干扰, I_{int} 是区间干扰, η^2 是背景噪声功率. 系数 $(3/2)$ 来自 Chip 信号为矩形脉冲的假设. G 是扩频增益. S_i 是基站所收到的任一 i 级业务用户的信号功率. $F(\cdot)$ 是衰落附加项, 由文献[7]中的式(2)得到. 由此可得到下式

$$(I_{int})_i = \sum_{k=1, k \neq i}^M \sum_{l=1}^{n_k} x_{kl} \cdot c_k \cdot S_k + \sum_{l=1}^{n_i-1} x_{il} \cdot c_i \cdot S_i \quad (3)$$

上式中, M 是系统中的业务种类数; n_i, c_i 分别是第 i 级业务被接纳的用户数及每个用户分配的码字数. $x_k (k=1, 2, \dots, M)$ 是 iid 随机变量, 可表示为

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{with probability } \alpha_k \\ 0, & \text{with probability } 1 - \alpha_k \end{cases}$$

α_k 是第 k 级业务激活因子(ACF). 对式(2)进行简化, 为

为了满足各业务的中断概率指标, 它们对应的中断概率应该满足式(4).

$$P_{out, i} = Q\left[\frac{A_i S_i - m_i}{\sigma_i}\right] \leq \alpha_i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

其中, $A_i = \frac{3}{2} G \cdot \left[\frac{1}{\gamma_i} - F(G) \right]$,

$$Q(x) = \int_x^\infty (1/\sqrt{2\pi}) e^{-(y^2/2)} dy,$$

$$m_i = E[(1 + 2v^2) \cdot (I_{in})_i + I_{int\sigma} + \eta^2] = (1 + 2v^2) \cdot \left(\sum_{k=1}^M n_k \cdot c_k \cdot \alpha_k \cdot S_k - c_i \cdot \alpha_i \cdot S_i \right) + E[I_{int\sigma}] + E[\eta^2],$$

$$\sigma_i^2 = (1 + 2v^2)^2 \cdot \left(\sum_{k=1}^M n_k c_k^2 \cdot \alpha_k \cdot (1 - \alpha_k) \cdot S_i^2 - c_i^2 \cdot \alpha_i \cdot (1 - \alpha_i) \cdot S_i^2 \right) + \text{Var}[I_{int\sigma}]$$

设 $Q(t_i) = \alpha_i$, 那么, 式(4)和式(5)是等效的.

$$\frac{A_i S_i - m_i}{\sigma_i} \geq t_i, \quad \frac{A_i S_i - m_i}{\sigma_i} \geq t_i \quad (5)$$

其中, 存在关系 $Q(t_i) = \alpha_i$. 式(5)是个非线性方程组, 可通过下面的数值迭代法计算.

$$S_i(0) = 0,$$

$$m_i(j) = (1 + 2v^2) \cdot \left(\sum_{k=1}^M n_k \cdot c_k \cdot \alpha_k \cdot S_k(j) - c_i \cdot \alpha_i \cdot S_i(j) \right) + E[I_{int\sigma}] + E[\eta^2],$$

$$\sigma_i^2(j) = (1 + 2v^2)^2 \cdot \left(\sum_{k=1}^M n_k \cdot c_k^2 \cdot \alpha_k \cdot (1 - \alpha_k) \cdot S_i^2(j) - c_i^2 \cdot \alpha_i \cdot (1 - \alpha_i) \cdot S_i^2(j) \right) + \text{Var}[I_{int\sigma}],$$

$$S_i(j+1) = \frac{1}{A_i} (t_i \cdot \sigma_i(j) + m_i(j)),$$

$$S_i^* = \lim_{j \rightarrow \infty} S_i(j)$$

设 S_{\max}^i 为所被允许的接收的第 i 类业务的最大接收功率. 使 $0 \leq S_i^* \leq S_{\max}^i$ ($i = 1, 2, \dots, M$) 成立的点 (n_1, n_2, \dots, n_M) 称为可接纳的点, 所有这样的点组成的集合就是接纳域. 如果系统对应的接纳域已知, 那么, 当新的呼叫到来时, 如果加上新的呼叫后, 新的状态仍处于接纳域内, 就接纳该呼叫, 否则拒绝.

2.2 非理想功率控制条件下接纳域的求解

在非理想功率控制下, 基站对某一信号的接收功率为 $S_i = S_{T1} \cdot \varepsilon_i$. 其中 S_{T1} 是理想功率控制条件下基站所接收到的信号功率的目标值. 偏差量 $\varepsilon_i = \exp(\beta \cdot x_i)$. 其中, $\beta = \log(10)/10$, x 是均值为 $m_x = 0$, 标准差 $\sigma_x = 2.5$ dB 的高斯随机变量. ε 的均值和方差如下.

$$m_\varepsilon = E(\varepsilon) = E(e^{\beta x}) = \exp(\beta^2 \sigma_x^2 / 2) \cdot \exp(\beta m_x) \quad (6)$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = E(\varepsilon^2) - E^2(\varepsilon) = \exp(2\beta^2 \sigma_x^2) \exp(2\beta m_x) - m_\varepsilon^2 \quad (7)$$

和 2.1 节相似, 该情况下接纳域变为使下面式(8)成立的点集

$$P\left[\frac{(3/2) \cdot G \cdot e^{\beta x_i} \cdot S_{T1}}{(1 + 2v^2) \cdot (I_{in})_i + (3/2) \cdot G \cdot F(G) \cdot S_{T1} \cdot e^{\beta x_i} + I_{int\sigma} + \eta^2} < \gamma_i\right] \leq \alpha_i \quad (8)$$

$$\text{令 } A_i = (1 + 2v^2) \cdot (I_{in})_i + I_{int\sigma} + \eta^2, \quad g_i =$$

$$\frac{3}{2} \cdot G \cdot \left[\frac{1}{\gamma_i} - F(G) \right] \text{ 则上式等效为下式.}$$

$$\begin{aligned} P\left[X_i < \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{g_i}{S_i A_i}\right)\right] \\ = 1 - \int_0^\infty Q\left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{g_i}{S_i} \cdot a\right)}{\sqrt{\sigma_x^2}}\right] f_{A_i}(a) dA_i \\ \approx \frac{1}{3} \text{erfc}\left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{g_i \mu_{A_i}}{S_i}\right)}{\sqrt{2\sigma_x^2}}\right] \dots \\ - \frac{1}{12} \text{erfc}\left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{g_i (\mu_{A_i} + \sqrt{3} \sigma_{A_i})}{S_i}\right)}{\sqrt{2\sigma_x^2}}\right] \\ - \frac{1}{12} \text{erfc}\left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{g_i (\mu_{A_i} - \sqrt{3} \sigma_{A_i})}{S_i}\right)}{\sqrt{2\sigma_x^2}}\right] \leq \alpha_i \quad (9) \end{aligned}$$

上面的式子用到了 Stirling 近似公式, 其中 $Q(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^\infty e^{-t^2/2dt}$, erfc 为误差函数的补函数, 相关的参数用下面的公式表示.

$$\mu_{A_i} = (1 + 2v^2) \cdot E[(I_{in})_i] + E[I_{int\sigma}] + \eta^2$$

$$\sigma_{A_i}^2 = (1 + 2v^2)^2 \cdot \text{Var}[(I_{in})_i] + \text{Var}[I_{int\sigma}]$$

$$E[(I_{in})_i] = (n_i - 1) \cdot \alpha_i \cdot c_i \cdot m_\varepsilon \cdot S_i + \sum_{k=1, k \neq i}^M n_k \cdot \alpha_k \cdot c_k \cdot m_\varepsilon \cdot S_k$$

$$\text{Var}[(I_{in})_i] = (n_i - 1) \cdot c_i^2 \cdot \alpha_i \cdot (1 - \alpha_i) + \alpha_i^2 \cdot L \cdot \sigma_\varepsilon^2 + m_\varepsilon^2 \cdot S_i^2 - (n_i - 1) \cdot \alpha_i^2 \cdot c_i^2 \cdot m_\varepsilon^2 \cdot S_i^2 + \dots$$

$$\sum_{k=1, k \neq i}^M \{ (n_k) \cdot c_k^2 \cdot [\alpha_k \cdot (1 - \alpha_k) + \alpha_k^2] \cdot L \cdot \sigma_\varepsilon^2 + m_\varepsilon^2 \cdot S_i^2 - (n_k) \cdot \alpha_k^2 \cdot c_k^2 \cdot m_\varepsilon^2 \cdot S_k^2 \}$$

3 数字实验

实验用到了语音业务和交互式数据业务 (IDT1, IDT2) 相关参数如下表. 为了便于计算, 设 $R^{\text{chip}} = \frac{2}{3} \times 10 \text{ Mcps}$; $E[I_{int\sigma}] = 10^{-3} \text{ mW}$; $\text{Var}[I_{int\sigma}] = 10^{-8} \text{ mW}^2$; $v^2 = 0.2$. 其他参数如下表.

表 1 语音及交互数据业务的性能参数

业务种类	R_j	$S_{j\max}^i$ (mW)	C_j	α_j	O_j	γ_j
语音	32kbps	1.0×10^{-4}	1	0.375	0.5×10^{-3}	5.472
IDT1	64kbps	0.5×10^{-3}	2	0.2	0.5×10^{-6}	10.58
IDT2	128kbps	0.25×10^{-3}	4	0.1	0.5×10^{-6}	10.58

通过搜索的方法, 在理想功率控制条件下和非理想功率控制条件下接纳域如图 1 和图 2 所示.

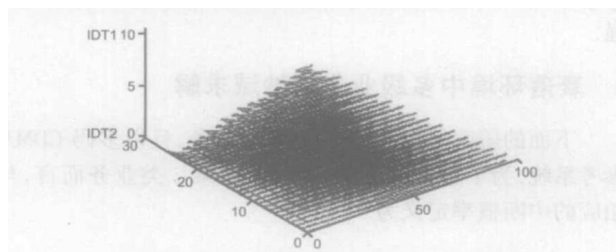


图 1 理想功率控制条件下的接纳域

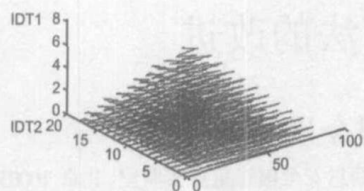


图 2 非理想功率控制条件下的接纳

4 结论

本文通过分析和计算机搜索的方法, 分析了 CDMA 系统多级业务情况下接纳域的求解方法. 该方法在已知小区间干扰平均值和方差的情况下通过计算机搜索的方法进行求解. 求解出的接纳域可做成表格的形式存放在网络层, 依据此表格进行接纳判断.

参考文献:

- [1] Zhao Liu, Mark J, Karol Magda, El Zarki, Kai Y Eng. A demand assignment access for multi code DS-SS CDMA wireless packet (ATM) networks[A]. IEEE, INFORCOM' 96[C]. IEEE, 1996. 713- 717.
- [2] ChirLin I, Gregory P, pollini. Performance of Multi-Code CDMA Wireless Personal Communications Networks[A]. IEEE, ICC' 95[C]. IEEE, 1995. 907- 911.
- [3] Tony Ottosson, Torgny Palenius. The impact of using multicode transmission in the WCDMA system[A]. IEEE, PIMRC' 99[C]. IEEE, 1999. 1550- 1553.
- [4] Hans Dieter Schotten, et al. Adaptive multi-code CDMA system for variable data rates[A]. IEEE, ICPWC' 97[C]. IEEE, 1997. 794- 798.

- [5] Tara Javidi, Demosthenis Teneketzis. An approach to connection admission control in single hop multiservice wireless networks with qos requirements[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2003, 52(4): 1110- 1124.
- [6] Jae Yong Lee, et al. Realistic cell oriented adaptive admission control for qos support in wireless multimedia networks[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 2003, 52(4): 512- 524.
- [7] Seung Joon Lee, Hyeon Woo Lee, Dan Keun Sung. Capacity of single code and multicode DS-SS CDMA systems accommodating multiclass services[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1999, 48(1): 377- 383.

作者简介:



肖登坤 男, 1964 年 12 月出生于山东省聊城市, 1988 年本科毕业于南京通信工程学院. 分别于 1979 年 3 月和 2000 年 9 月在国防科技大学获得硕士学位和博士学位. 2004 年, 在北京航空航天大学完成博士后研究, 研究的主要方向为 3G 系统中的 RRM 技术. E-mail: peterk@263.net.

张其善 男, 1936 年 3 月出生于浙江蒲江, 北京航空航天大学教授, 博士生导师, 长期从事遥科学, 智能 IC 卡, 智能交通, 桥涵函数等领域的教学和科研工作.

李世鹤 男, 重庆市人, 大唐移动通信设备有限公司的总工程师, 博士生导师, 第三代移动通信系统 TD-SSCDMA 的创始人和奠基者, 长期从事移动通信系统的研究和开发工作.