

# CDMA 蜂窝通信系统的容量问题

## Capacity Problems of a Cellular CDMA System

(1.兰州理工大学 计算机与通信学院; 2.兰州理工大学 运筹与控制研究所)王 蓉<sup>1</sup> 黎锁平<sup>2</sup> 董 雯<sup>3</sup>

WANG RONG LI SUOPING DONG WEN

摘要:CDMA 系统是干扰受限系统,其容量取决于系统内用户的相互干扰,为了不影响通话质量而使得系统容量最大化,功率控制是有效措施之一,更是系统容量最大化的基础。本文从不同角度讨论了 CDMA 系统的容量问题,以及功率控制对系统容量的影响。仿真表明,CDMA 系统容量在无衰落和有衰落环境下差异较大,有效的功率控制技术不但能够大大降低系统干扰,还能很好地提高系统容量。

关键词:CDMA; 系统容量; 功率控制; 瑞利衰落

中图分类号:TN929.533 文献标识码:A

Abstract:CDMA system is a interferential limited system. It's capacity is lied on the interference between users inside. Power control is one of the most useful methods which could maximize system capacity without affect service quality, and it is basic of maximizing system capacity. In this paper, it considers the capacity of CDMA system in different aspects, as well as the effect result from power control. The illustration shows that if power control is used in CDMA system, the interference could be reduced, and system capacity could be maximize obviously.

Key words:CDMA; system capacity; Power control; Rayleigh decline

技术创新

## 1 引言

CDMA(码分多址)是在扩频通信技术上发展起来的一种利用有限带宽的电波使多个用户能同时通信的多址连接技术。采用 CDMA 方式的系统所覆盖服务区域的众多小区都能使用同一频率,和 TDMA、FDMA 方式相比,它具有抗干扰性好、抗多径衰落、保密安全性高、容易实现多速率服务、容量和质量之间可做权衡取舍等优点。

文献分析了多业务 CDMA 系统的干扰与容量特性,认为干扰信号的统计特性近似服从正态分布。文献所研究的系统爱尔兰容量是基于功率控制问题上的“载波平衡(load balance)”观点,在这种方法中,假定在不同时间点上的变量是统计独立的,那么连续抽样点上的功率控制被当成逐点最优问题。文献提出采用话音激活技术和功率控制技术可以有效提高 CDMA 数字蜂窝通信系统的容量利用率。除了上述文献所讨论的系统容量均在静态假设下外,文献将信道的瑞利衰落影响考虑在内,进一步研究了实际动态环境下的 CDMA 系统容量。本文基于这种思想,研究了瑞利衰落环境下,干扰对系统容量的影响,并且运用 Matlab 系统仿真工具对有无衰落时的系统容量进行了仿真。

## 2 CDMA 系统容量

系统容量是评价无线扩频通信系统性能的主要技术参数之一。CDMA 系统是干扰受限系统,可容纳的用户数并没有严格的限制,它的容量取决于系统内用户的相互干扰。由于所有的用户共用相同的频带,且各用户的扩频码不完全正交,故用户发射功率的大小将直接影响系统的总容量。蜂窝系统的容量

通常由以下方式衡量:每小区或扇区的可用信道数目,即小区容量或扇区容量;对于给定的呼叫阻塞概率,每小区话务传输能力,即小区爱尔兰容量。

### 2.1 基于载波平衡的系统爱尔兰容量

CDMA 系统的爱尔兰容量,是对话务量的数学量度,强调一定质量下的话务量。在实际(非理想、非精确)功率控制下基站接收信号的信噪比呈对数正态分布。

在这种算法中,定义拥塞为干扰功率与热噪声功率的比值超过某一门限,若  $N_0$  为热噪声功率谱密度,  $I_0$  为噪声干扰功率谱密度,  $W$  为扩频后信号的带宽,  $\gamma$  为噪声与干扰门限,则此门限和精确功率控制下反向信道的拥塞率分别为:

$$\frac{I_0 W}{N_0 W} > \frac{1}{\gamma} \quad (\gamma < 1), \quad P_b \approx Q \left\{ \frac{C - \rho(\lambda/\gamma)(1+f)}{\sqrt{\rho(\lambda/\gamma)(1+f)}} \right\}$$

$$Q(X) = \frac{1}{2\pi} \int_X^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad C = (1-\gamma) \frac{W/R}{E_b/I_0}$$

其中,  $\lambda$  为用户的到达率,平均服务时间为  $1/\mu$  秒,  $\sigma_c$  为话音激活因子,  $f$  为小区间干扰因子。  $R$  为数据率。

根据拥塞率与系统爱尔兰容量的关系,得到反向信道的爱尔兰容量为

$$\frac{\lambda}{\mu} = \frac{(W/R)(1-\gamma)}{\rho(1+f)\exp(\beta m_c)} F(B, \sigma_c)$$

$$F(B, \sigma_c) = \frac{1}{\alpha_c} \left[ 1 + \frac{\alpha^3 B}{2} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4}{\alpha^3 B}} \right) \right], \quad B = \frac{[Q^{-1}(P_b)]^2 \exp(\beta m_c)}{(W/R)(1-\gamma)}$$

### 2.2 采用扇区化技术的系统容量

扇区化依靠基站天线的定位来减小同频干扰以提高系统容量。通常情况下,基站使用三个或六个方向性天线,使得每个小区被分为三个或六个扇区,每个扇区分配一组信道。以每小区分为三扇区为例,三个扇区的小区,天线的波束宽度为  $120^\circ$ ;

王 蓉: 硕士研究生

基金资助:教育部“春晖计划”基金(Z2006-1-62006);

甘肃省自然科学基金(ZS032-B25-031)

这样就可以使背景干扰减小到原来的 1/3,即系统容量提高了 3 倍。

令 M 为扇区数,Φ 为语音的占空比(语音时间占通话时间的比值),则小区内每个扇区的容量 N<sub>s</sub> 为:

$$N_s = \frac{(B_c / R_b) - (\eta / S) \times (E_b / N_0)}{\phi \times (E_b / N_0)} + 1$$

当用户数目庞大并且系统是干扰受限而不是噪声受限时,即背景热噪声 η 相对很小,则前式简化为:

$$N_s = (1/\phi) \times (B_c / R_b) / (E_b / N_0), \text{小区总容量为:}$$
$$N = M \times N_s = (M \cdot B_c \cdot N_0) / (\phi \cdot E_b \cdot R_b).$$

### 3 系统容量建模与仿真

#### 3.1 反向功率控制及其对系统容量的影响

功率控制(Power Control)是 CDMA 移动通信系统的核心技术之一。CDMA 系统中的功率控制包括:开环功率控制、闭环功率控制和外环功率控制,也分为前向功率控制和反向功率控制,且反向闭环功率控制是反向功率控制的核心。CDMA 系统功率控制的目的是补偿传输损耗,克服“远近效应”、“角效应”和“多址效应”,控制发射台的发射功率,减少移动台相互间的干扰,增加系统容量,提高系统性能。

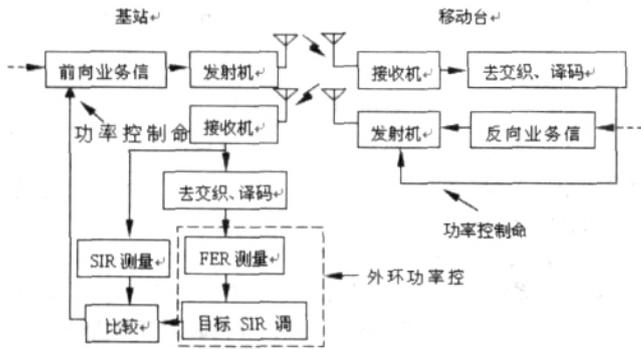


图1 反向闭环功率控制原理

#### 3.2 系统容量建模

移动台到基站的无线链路传输损耗由三部分组成: $l(t)=p(t)+s(t)+f(t)$ , $p(t)$ 是空间传输损耗, $s(t)$ 是阴影效应, $f(t)$ 是多径衰落。在城市环境中,基站和移动台之间通常不存在直视,因此认为城市环境中的短期衰落服从瑞利(Rayleigh)分布,此时  $f(t)$  是瑞利衰落,其概率密度函数为下式,其中  $r$  为短期衰落信号的包络, $r^2$  为短期衰落信号的平均功率, $\sqrt{r^2}$  为  $r$  的均方根:

$$p_f(r) = \frac{r}{\sqrt{r^2}} \exp\left(-\frac{r^2}{r^2}\right)$$

现假设 CDMA 蜂窝通信系统每小区有 N 个用户,信道受链路损耗指数、阴影衰落和多径衰落的影响。移动台 i 和基站 j 之间的链路增益为:

$$G_{ij} = A_{ij} d_{ij}^{-\alpha} = 10 \left(\frac{d_{ij}}{10}\right)^{-\alpha} \quad (1)$$

$\alpha$  是路径损耗指数,且  $\alpha \in (3,5)$ ;  $d^{-\alpha}$  为路径传播衰减因子; $d_{ij}$  是移动台 i 和基站 j 之间的距离; $A_{ij}$  为阴影衰落因子,且  $A_{ij} \sim \text{LN}(0,\delta^2)$  为对数正态分布, $\delta \in (4,10)$ 。

假设干扰用户数量很大,根据中心极限定理,基站处的干扰可以近似为高斯白噪声。移动台平均发射功率为:

$$\bar{p} = \int_0^{\rho_{\max}} \rho p_{\rho}(\rho) d\rho \quad (\rho \geq 0).$$

则已知最小发射功率  $\rho_{\min}$  及最大发射功率  $\rho_{\max}$ ,平均发射功率可以用下式表示:

$$\bar{p} = \int_0^{\rho_{\min}} \rho p_{\rho}(\rho) d\rho + \int_{\rho_{\min}}^{\rho_{\max}} \rho p_{\rho}(\rho) d\rho + \int_{\rho_{\max}}^{\infty} \rho_{\max} p_{\rho}(\rho) d\rho \quad (2)$$

CDMA 系统中,一个载波所支持的最大移动用户数 N 为(3),在衰落信道中,平均发射功率增加,此时的系统容量为(4):

$$N = F \left[ G_p \left( \frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} + 1 \right] \quad (3)$$

$$N' = F' \left[ G_p \left( \frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} + 1 \right] \quad (4)$$

$G_p$  是处理增益; $E_b/N_0$  是接收每比特能量与噪声功率谱密度之比,F 与  $F'$  分别代表无衰落和衰落环境下,小区内移动台在基站处产生的干扰百分比。则平均移动台发射功率的增量为: $\Delta P_{\alpha} = F / F'$ 。

#### 3.2 系统容量仿真

一般城区环境下,链路增益中  $\alpha=4,\delta=6\text{dB}$ 。基站接收处的背景噪声为  $10^{-12}$ ,移动台最大发射功率为 1W,各移动台的初始发射功率从随机选取。功率控制频率为 1kHz,功率控制步长为 1.0dB,移动速度为 1km/h,用户比特率为 10kbit/s,功率控制的动态范围为 50dB,最小和最大发射功率分别为  $\rho_{\min}=0.2,\rho_{\max}=2.0 \times 10^4$ 。

首先由(1)式可以得到系统链路增益,通过(2)式得出发射功率,进而得出 F、 $F'$ 。运用 Matlab 系统仿真工具对有无衰落时的系统容量进行仿真,仿真得出的小区允许的最大的用户数 N 和不同  $E_b/N_0$  关系如图 2 所示。不同信道下,来自邻近小区移动台的干扰百分比  $F'$ 、移动台平均发射功率增量  $\Delta P_{\alpha}$ 、理论相对容量,及仿真相对容量结果如表 1 所示。

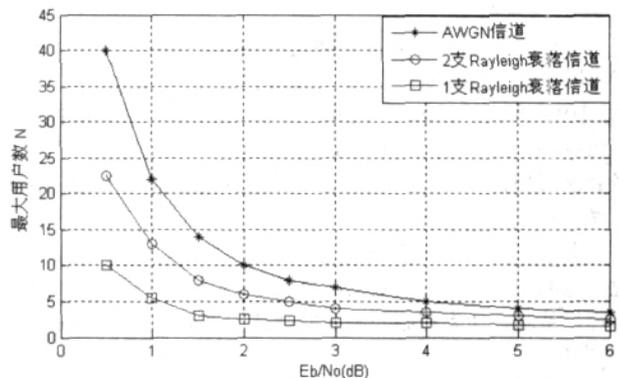


图2 不同下的用户数量

信道	$F'$	$\Delta P_{\alpha}$	理论容量	仿真容量
AWGN 信道	45	0	100	100
1 支瑞利衰落信道	14	9.6	17	26
2 支瑞利衰落信道	35	3.0	70	59

表1 不同参数得出的不同结果

由仿真可见,小区允许的最大用户数 N 随  $E_b/N_0$  增大而减小。当  $E_b/N_0$  在 0dB 到 1dB 之间时系统容量相对较大,超过 1dB 时,用户数量急剧减少。

### 4 结束语

CDMA系统是干扰受限系统,可容纳的用户数并没有严格的限制,它的容量取决于系统内用户的相互干扰,解决 CDMA 系统干扰问题的一个有力措施就是采取功率控制。(下转第 168 页)

技术创新

```
doc.setDoc_title((DocForm)form.getDoc_title().trim()); .....
HibernateSessionFactory.currentSession ().beginTransaction ().
save(doc);
session.beginTransaction().commit();
return mapping.findForward("add");
```

### 4 结束语

基于正交软件体系结构和三层 c/s 软件体系结构的电子政务模型系统,不仅实现了各个模块的功能独立,在 Web 应用开发中也实现了表现和业务逻辑分离,做到了持久和业务逻辑的分离,降低了各层间的耦合,有助于提高代码的可重用性和灵活性。尤其是,在 Struts 框架的模型层引入 Hibernate 技术,优化持久层的实现,使得持久化的维护更容易。

本文作者创新点:将基于正交软件体系结构和三层 c/s 软件体系结构的电子政务模型系统应用于北京某城镇的电子政务建设中,使政务系统具有易于复用、开发成本低、应用效率高特点,适应我国当前政务建设的实际情况,为城镇信息化中电子政务标准化做准备。

#### 参考文献

[1] 中科永联. 软件体系结构. <http://www.itisedu.com/phrase/200603131358465.html>, 2006- 12.  
 [2] 孙卫琴. 精通 Struts: 基于 MVC 的 Java Web 设计与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.  
 [3] 谷毅, 王爽心, 刘鑫. 利用 Struts 开发 Web 应用程序在工业自动化中的实现[J]. 微计算机信息 2004, (4): 86-88.  
 [4] Hibernate Architecture [EB/OL]. <http://www.hibernate.org/hib-Docs/reference/en/html/arch-itecture.html>, 2006- 12.

作者简介: 李美英(1981-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为智能技术、电子政务; 赵春江(1964-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为农业信息技术及智能应用。吴华瑞(1975-), 男, 助研, 博士研究生, 主要研究方向为计算机软件理论和中间件技术; 赵丽(1982-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为智能技术、电子政务; 杨宝祝(1966-), 男, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为农业信息技术。

Biography: Li Meiyang (1981-), female, graduate student, Major in intelligence technology, e-government. Zhao, Chunjiang (1964-), male, researcher and Doctor Tutor in NERCITA, Major in Agricultural information and intelligent application. Wu, Huarui (1975-), male, doctor, Major in computer software theory and middleware technology; Zhao, Li (1982-), female, graduate student, Major in intelligence technology, e-government. Yang Baozhu (1966-), male, researcher and Master Tutor, Major in Agricultural information.

(100037 北京 首都师范大学信息工程学院) 李美英 赵丽  
 (100097 北京 国家农业信息化工程技术研究中心) 李美英 赵春江 吴华瑞 赵丽 杨宝祝

(College of Information and Engineering, Capital Normal University, Beijing 100037) LI Mei-ying WU Hua-rui YANG Bao-zhu

(National Engineering Research Center For Information Technology In Agriculture, Beijing 100089) LI Mei-ying ZHAO Chun-jiang ZHAO li

通讯地址: (100097 北京市 海淀区西郊板井曙光花园中路 11 号农科大厦 A 座 317 室北京农业信息技术研究中心) 李美英

(收稿日期: 2007.03.23)(修稿日期: 2007.6.05)

(上接第 150 页)

功率控制的目标是调整前向和反向链路的发射功率, 解决“远近效应”, 降低干扰, 保证链路质量。具体对前向链路来说, 就是减小基站发射功率; 对反向链路来说是指调整移动台发射功率, 使到达基站端的接收功率或者测得的信噪比达到指定水平。本文在阐述了 CDMA 系统容量和功率控制原理的基础上, 对 CDMA 系统容量在不同  $E_b/N_0$  的情况下做了仿真, 结果表明采取功率控制技术能有效降低干扰, 缓解 CDMA 系统的容量受限问题。

本文作者创新点: 从不同角度讨论了 CDMA 系统的容量问题, 仿真了在瑞利衰落环境下功率控制对系统容量的影响。

#### 参考文献

[1] S.J.Lee, D.K.Sung, Capacity evaluation for DS-SS-CDMA systems with multi-class on/off traffic, IEEE Communication Letters, 1998, 2 (6): 153- 155.  
 [2] A.M.Viterbi, A.J.Viterbi, Erlang Capacity of a Power-Controlled CDMA System. IEEE Selected Areas in Communications, 1993, 11 (6): 892- 900  
 [3] 董飞鹏, 王跃科, CDMA 数字蜂窝通信系统容量分析[A]. 通信技术 2002 年第 11 期  
 [4] D.K.Kim and D.K.Sung, Capacity estimation for a multicode CDMA system with SIR-based power control, IEEE Trans.Vehicular Technology, 2001, 50(3): 701- 710.  
 [5] SEO Shunsuke, DOHI Toshihiro, ADACHI Fumiyuki, SIR-Based Transmit Power Control of Reverse Link for Coherent DS-SS-CDMA Mobile Radio. IEICE Trans Communication, 1998, 81: 81- 83  
 [6] 覃为, 刘宏立, 童调生, 况菲, CDMA 移动通信中外环功率控制研究[A]. 微计算机信息 2006 2- 3: P178- 180

作者简介: 王蓉(1981-), 女, 甘肃兰州人, 通信与信息系统专业硕士研究生, 研究方向为信息理论与现代通信信号处理。黎锁平(1965-), 男, 甘肃合水人, 教授, 博士, 主要从事随机控制理论与应用随机过程, 信息理论与现代通信信号处理的研究。

Biography: Wang Rong (1981-), female, Gansu Lanzhou, Lanzhou university of technology, graduate student, information and modern communication signal processing. Li Suoping (1965-), male, Gansu Heshui, professor, doctor, stochastic control and applied stochastic processing, information and modern communication signal processing.

(730050 甘肃兰州 兰州理工大学 计算机与通信学院) 王蓉  
 (730050 甘肃兰州 兰州理工大学 运筹与控制研究所) 黎锁平 董雯  
 (School of Computer and Communication, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China) Wang Rong  
 (Institute of Operations Research and Control sciences, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China) Li SuoPing Dong Wen

通讯地址: (730050 甘肃 兰州理工大学 计算机与通信学院 04 研) 王蓉

(收稿日期: 2007.11.23)(修稿日期: 2008.01.05)

**变频器与软启动器应用 200 例》已出版,**  
**每册定价 110 元(含邮资), 汇至**  
 地址: 北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室  
 微计算机信息杂志收 邮编: 100081  
 电话: 010-62132436 010-62192616(T/F)

技术创新