

CDMA 系统下行链路容量研究

杨光, 杨大成, 马亚宁

(北京邮电大学 93 信箱, 北京 100876)

摘要: 本文从基本的码分多址(CDMA)理论出发,根据 WCDMA 系统建立系统模型,从基站发射功率受限和小区间的相互干扰与影响的角度入手,结合计算机仿真,对 CDMA 系统的下行链路的容量特性作了分析与计算,分析了传播环境、小区半径、切换门限等参数对下行容量的影响,并使用计算机仿真对分析结果作了验证.对比表明,该分析结果与计算机仿真所得结果吻合的较好,可以作为分析、设计 CDMA 网络的基础.

关键词: CDMA; 容量; 下行链路; 功率受限

中图分类号: TN914.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 01-0009-05

The Analysis on the CDMA Downlink Capacity

YANG Guang, YANG Da-cheng, MA Ya-ning

(Beijing University of Posts and Telecommunications, P. O. Box 93, Beijing 100876, China)

Abstract: An analysis of CDMA downlink capacity is presented in this paper. The analysis is derived from the basic CDMA theory, and is then fitted into the scenario in question with a help of a number of reference simulations. Some results of analysis and simulation are presented. Comparison with the system simulations shows that the analysis result follows well the simulation results.

Key words: CDMA; capacity; downlink; power limited

1 引言

码分多址(CDMA)移动通信系统是一种自干扰受限的移动通信系统,其系统容量受到系统中的干扰功率电平、移动台与基站的功率动态范围等的限制.在传统的 CDMA 理论中^[1],认为上行链路是系统容量受限的主要因素,其理论分析的重点也主要放在上行链路上,对下行链路情况的分析相对较少.但实际的系统规划与运行过程表明,下行链路往往是系统容量受限的主要方向.尤其是在第三代移动通信系统中,由于新技术的采用,上行链路性能大大改善,下行链路的瓶颈作用更为明显.

近年来对 CDMA 系统下行链路性能的研究逐渐增多,如文[4]和[5].其中,文[4]以 IS-95 系统为基础,重点分析了不同的多径信道环境对系统性能的影响.而文[5]则以新一代的 WCDMA 系统为基础,分析了下行链路性能.但 CDMA 系统相邻小区的相互影响并未在文[5]的分析中得到明确体现.本文根据 WCDMA 系统建立系统模型,从基站发射功率受限和小区间的相互干扰与影响的角度入手,结合计算机仿真,对 CDMA 系统的下行链路的容量特性作了分析与计算,分析了传播环境、小区半径、切换门限等参数对下行容量的影响,并使用计算机仿真对分析结果作了验证.

本文第二节提出了研究中的主要模型,第三节中结合系统模型分析了下行信道的容量,第四节和第五节分别给出了

分析与仿真结果以及结论.

2 系统模型

2.1 传播模型

通常,传播损耗的模型是距离的 m 次幂和表示阴影衰落的对数归一化值的乘积.这样,当用户离基站距离为 r 时,损耗正比于:

$$(r, \alpha) = r^m 10^{-\alpha/10} \quad (1)$$

其中 α 为阴影衰落的分贝损耗,均值为 0,标准方差为 σ .用分贝表示的衰落可写为:

$$10 \log (r, \alpha) = 10 m \log r + \alpha \quad (2)$$

此模型必须考虑到从一个移动用户到两个不同基站间传播损耗的关系.文[1]中的有关假设,认为对数正态的阴影衰落意味着用分贝表示的传播损耗是高斯型,对两个或多个基站的损耗分贝数可以用联合高斯概率密度来表示.同样,我们将分贝损耗的随机分量表示为两个量之和:一个在用户的近场,它对所有的基站都一样;一个仅对所接收的基站而对其它的基站无关.这样,可将对第 i 个基站 ($i = 0, 1, 2, 3 \dots$) 的分贝损耗的随机分量表示为:

$$\alpha_i = a + b_i \quad a^2 + b_i^2 = 1 \quad a \leq 1 \quad (3)$$

其中: $E(\alpha_i) = E(\alpha_j) = E(\alpha_k) = 0$, $D(\alpha_i) = D(\alpha_j) = D(\alpha_k) = \sigma^2$, $E(\alpha_i \alpha_j) = 0$ 对所有 i 以及

$$E(i, j) = 0 \quad \text{对所有 } i, j$$

这样对两个基站 i 和 j 损耗的归一化协方差为:

$$E(i, j)^2 = a^2 = 1 - b^2 \quad (i, j) \quad (4)$$

我们有理由假设:近场与确定基站的传播变化有相同的标准方差.于是有

$$a^2 = b^2 = 1/2$$

并对所有基站对,其归一化协方差为 $1/2$.

在仿真中,参照文[2]中的车辆环境的传播模型,定义绝路径损耗公式为:

$$L_p = 128.1 + 37.6 \log_{10}(R) \quad (\text{dB}) \quad (5)$$

其中: R 是移动台与基站距离,单位为 km.

2.2 系统配置模型

我们假设小区是典型的六边形小区.系统忙时,每个小区中有 k_u 个移动台同时通话.为满足一定的服务质量,移动台接收到的载波干扰比要达到一定的门限值 $(C/I)_{\text{target}}$.对于同种业务,该门限值一致.根据该门限值对业务信道进行功率控制,使移动台的载波干扰比能满足门限值的要求.

软切换是 CDMA 系统一项关键技术,假设用户只与两个邻近小区进行软切换.设我们要研究的小区为 $0^{\#}$ 小区,其周围的小区为 $j^{\#}$ 小区 ($1 < j < 6$).对于 $0^{\#}$ 小区内可能与 $j^{\#}$ 小区进行软切换的区域设为 S_{0j} ,对于 $j^{\#}$ 小区内可能与 $0^{\#}$ 小区进行软切换的区域设为 S_{j0} ,如图 1 所示.下节中专门讨论软切换模型.

在仿真中,使用 6×6 的六边形小区配置方案,模拟无限大的服务区环境,并且动态的模拟了移动台的通话、移动、切换等过程.

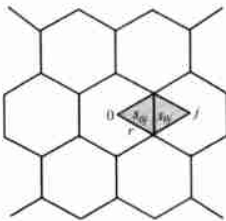


图 1 小区配置模型

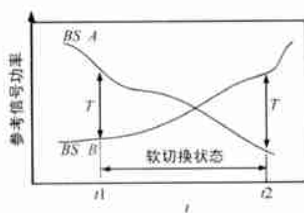


图 2 软切换模型

2.3 软切换模型

设系统使用相对门限的软切换模型,如图 2 所示.设软切换窗口为 T (dB),当移动台接收到来自基站 B 的参考信号强度与基站 A 的差值小于 T 时,移动台进入软切换窗口,处于软切换状态,同时接收两个基站的信号,当两者的差值超过 T 时,则退出软切换状态^[6].在软切换过程中,下行链路采用最大比值合并的方法,获得最终的有用信号.对应的载波干扰比如下式^[3]:

$$\left(\frac{C}{I} \right)_{\text{final}} = \left(\frac{C}{I} \right)_A + \left(\frac{C}{I} \right)_B \quad (6)$$

通过仿真可以发现,处于软切换状态的移动台,其某一个基站的业务信道功率控制的载波干扰比的目标值,平均降为原来目标值的一半.所以在分析中进行简化,假设软切换状态中的 C/I 功控目标值降为原来的一半.

当各个基站参考信号功率一致时,软切换窗口就体现为不同的传播损耗.

3 系统下行容量分析

设系统中各个小区内均匀分布 k_u 个移动台同时通话,各个基站的平均发射功率一致设为 P_b ,为某个移动台对应的业务信道分配的功率为 P_i ,满负荷时所有移动台分配的功率总和应为 $(1 - \epsilon) P_{\text{max}}$, ϵ 是小区中公共信道所占功率的比例, P_{max} 是基站的最大发射功率.该移动台到达不同基站的传播损耗为 L_i ,正比于 $r_i^m 10^{-\alpha r_i/10}$,小区内用户密度 $k = 2k_u / r^2 \sqrt{3}$ (r 为小区半径).于是某个用户接收到的载波干扰比可以用下式表示.

$$\frac{C}{I} = \frac{P_i / L_0}{P_b / L_0 + \sum_{i=1}^N P_b / L_i + N_0 W} \quad (7)$$

其中: N_0 为系统背景噪声功率谱密度; W 为系统带宽.考虑到同小区内码元不完全正交,设正交因子为 α , $\alpha = 0.4$ (宏蜂窝), $\alpha = 0.06$ (微蜂窝)^[2].

用相对功率值表示,则有 $\rho = P_i / P_b$,则式(7)可表示为:

$$\frac{C}{I} = \frac{\rho}{\rho + \sum_{i=1}^N \left(\frac{r_0}{r_i} \right)^m 10^{-(\alpha r_i/10)} + \frac{N_0 W L_0}{P_b}} \quad (8)$$

$$\rho = \left(\frac{C}{I} \right)_{\text{target}} \left[1 + \sum_{i=1}^N \left(\frac{r_0}{r_i} \right)^m 10^{-(\alpha r_i/10)} + \frac{N_0 W L_0}{P_b} \right]$$

设: $R_i(x, y) = r_0(x, y) / r_i(x, y)$, $\alpha = \ln(10) / 10$,则:

$$\rho = \left(\frac{C}{I} \right)_{\text{target}} \left[1 + \sum_{i=1}^6 R_i^m e^{b(\alpha r_i)} + \frac{N_0 W L_0}{P_b} \right] \quad (9)$$

其中,只考虑了 $0^{\#}$ 小区周围一圈的小区,因为在实际仿真中发现,更远处的基站对 $0^{\#}$ 小区中用户的影响很小,为简化分析不予考虑.

软切换窗口为 T (dB),则用户归属于 $0^{\#}$ 小区的条件为:

$$L_j - L_0 > T,$$

上式中 L_j 和 L_0 分别为到 j 号小区和 0 号小区的传播损耗.

$$\text{也即} \quad \alpha - j < \frac{-T + M_j - M_0}{b} \quad (\text{式中 } T \text{ 为 dB 值}) \quad (10)$$

用户同时归属与两个小区的条件为:

$$-T < L_0 - L_j < T,$$

$$\text{也即} \quad \frac{-T + M_j - M_0}{b} < \alpha - j < \frac{T + M_j - M_0}{b} \quad (11)$$

其中: $M_i(x, y) = 10m \log_{10} r_i(x, y)$.

根据移动台归属关系与软切换状态,我们分四种情况讨论移动台对下行功率的占用情况,得出移动用户占用的相对功率之和.

3.1 在 S_{0j} 内不发生软切换,归属于 0 号小区

此条件下,移动台占用的相对功率之和可以表示为:

$$\begin{aligned} PA_1 &= \sum_{j=1}^6 E \left[\iint_{S_{0j}} a_v k dA; \alpha - j < \frac{-T + M_j - M_0}{b} \right] \\ &= a_v \cdot \sum_{j=1}^6 E \left[\iint_{S_{0j}} E \left[\rho; \alpha - j < \frac{-T + M_j - M_0}{b} \right] k dA \right] \quad (12) \end{aligned}$$

其中 a_v 是话音激活因子。令 $0 < i = y_i, L_{\rho 0}$ 是到达 $0^\#$ 基站的路径损耗,使用 Q 函数表达有下式存在:

$$PA_1 = a_v \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \iint_{S_{j0}} Q(D_a) kdA + \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \iint_{S_{j0}} \left[R_i^m e^{b^2(\cdot)^2} + R_j^m e^{b^2(\cdot)^2} \cdot Q(D_a + \sqrt{2}b) \right] kdA + \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \frac{N_0 W}{P_b} \iint_{S_{j0}} L_{\rho 0} \cdot Q(D_a) kdA \quad (13)$$

其中, $D_a = (T - M_j + M_0) / \sqrt{2}b$ 。

3.2 在 S_{j0} 内归属于 0 号小区的用户

此种情况,计算方法同上,只有积分区域不同。

$$PA_2 = \int_{j=1}^6 E \iint_{S_{j0}} a_v kdA; 0 < j < \frac{-T + M_j - M_0}{b} = a_v \cdot \int_{j=1}^6 E \iint_{S_{j0}} ; 0 < j < \frac{-T + M_j - M_0}{b} kdA \quad (14)$$

使用 Q 函数表示为下式

$$PA_2 = a_v \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \iint_{S_{j0}} Q(D_a) kdA + \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \iint_{S_{j0}} \left[R_i^m e^{b^2(\cdot)^2} + R_j^m e^{b^2(\cdot)^2} \cdot Q(D_a + \sqrt{2}b) \right] kdA + \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \frac{N_0 W}{P_b} \iint_{S_{j0}} L_{\rho 0} \cdot Q(D_a) kdA \quad (15)$$

3.3 在 S_{0j} 内处于软切换状态,归属两个小区的用户

根据式(11)的条件有:

$$PA_3 = a_v \cdot \int_{i=1}^6 E \iint_{S_{0j}} ; \frac{-T + M_j - M_0}{b} < 0 < j < \frac{T + M_j - M_0}{b} kdA \quad (16)$$

使用 Q 函数表示为下式:

$$PA_3 = a_v \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \iint_{S_{0j}} [Q(D_b) - Q(D_a)] kdA + \frac{1}{2} \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \iint_{S_{0j}} \left[R_i^m e^{b^2(\cdot)^2} + R_j^m e^{b^2(\cdot)^2} \cdot [Q(D_b + \sqrt{2}b) - Q(D_a + \sqrt{2}b)] \right] kdA + \frac{1}{2} \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \frac{N_0 W}{P_b} \iint_{S_{0j}} L_{\rho 0} \cdot [Q(D_b) - Q(D_a)] kdA \quad (17)$$

其中, $D_b = (-T - M_j + M_0) / \sqrt{2}b$ 。

3.4 在 S_{j0} 内处于软切换状态,归属两个小区的用户

类似于 3.3 的情况,只是积分区域不同。

$$PA_4 = a_v \cdot \int_{ij=1}^6 E \iint_{S_{j0}} ; \frac{-T + M_j - M_0}{b} < 0 < j < \frac{-T + M_j - M_0}{b} kdA \quad (18)$$

使用 Q 函数表示为下式:

$$PA_4 = a_v \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \iint_{S_{j0}} [Q(D_b) - Q(D_a)] kdA + \frac{1}{2} \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \iint_{S_{j0}} \left[R_i^m e^{b^2(\cdot)^2} + R_j^m e^{b^2(\cdot)^2} \right]$$

$$\cdot [Q(D_b + \sqrt{2}b) - Q(D_a + \sqrt{2}b)] kdA + \frac{1}{2} \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \cdot \frac{N_0 W}{P_b} \iint_{S_{j0}} L_{\rho 0} \cdot [Q(D_b) - Q(D_a)] kdA \quad (19)$$

系统满负荷状态下, $P_b \cdot PA_i = (1 - \cdot) \cdot P_{max}$, 且 $b = 1/\sqrt{2}$, 可得下式:

$$PA_1 + PA_2 + PA_3 + PA_4 = a_v \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \frac{k_u}{S} \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \iint_{S_{j0}} [Q(D_b) + Q(D_a)] dA + \iint_{S_{j0}} \left[\frac{3}{2} \cdot R_i^m e^{b^2(\cdot)^2} + \frac{1}{2} R_j^m e^{b^2(\cdot)^2} \right] [Q(D_b) + Q(D_a) + \cdot] dA + \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \iint_{S_{j0}} [Q(D_b) + Q(D_a)] dA + \iint_{S_{j0}} \left[\frac{3}{2} \cdot R_i^m e^{b^2(\cdot)^2} + \frac{1}{2} \cdot R_j^m e^{b^2(\cdot)^2} \right] [Q(D_b + \cdot) + Q(D_a + \cdot)] dA + \frac{1}{2} \cdot \frac{N_0 W}{P_b} \cdot \iint_{S_{j0}} L_{\rho 0} \cdot [Q(D_b) + Q(D_a)] dA + \iint_{S_{j0}} L_{\rho 0} \cdot [Q(D_b) + Q(D_a)] dA \quad (20)$$

不妨设上式中 $a_v \cdot (C/I)_{target} k_u/S$ 以后的部分为 $X + Y \cdot (N_0 W)/P_b$, 则有:

$$a_v \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{target} \frac{k_u}{S} \cdot (X + Y \cdot \frac{N_0 W}{P_b}) \cdot P_b = (1 - \cdot) \cdot P_{max} \quad (21)$$

可得 k_u 的表达式:

$$k_u = \frac{(1 - \cdot) \cdot S}{a_v \cdot \left[X + Y \cdot \frac{N_0 W}{P_b} \right] \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{target}} \cdot \frac{P_{max}}{P_b} = \frac{(1 - \cdot) \cdot 3\sqrt{3}r^2/2}{a_v \cdot \left[X + Y \cdot \frac{N_0 W}{P_b} \right] \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{target}} \cdot \frac{P_{max}}{P_b} \quad (22)$$

由式(22)可知,系统容量与 r 、 r (km)、 a_v 与 $(C/I)_{target}$ 等参数有关,还与 $X + Y \cdot N_0 W/P_b$ 和 P_{max}/P_b 有关。其中可以认为 X 与系统中不同基站之间的相互干扰及本基站的不同用户间的干扰有关,是受相对的路径损耗影响的,而 Y 可以认为是热噪声对系统的影响,与基站平均发射功率和绝对路径损耗有关。通过数值积分可以得到 X 与 Y 的值,通过系统级仿真可以得到在满负荷时的 P_b 值。这样,我们就可以根据上面的分析估计出系统满负荷时能支持的用户数量。

4 计算与仿真结果

结合理论分析与计算机仿真,研究了上述各种因素对系统容量的影响,并对分析结果与仿真结果进行了比较。对于上面分析中涉及到的参数,设其中一些参数如下:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{target} = -20.4\text{dB}, a_v = 0.5, \cdot = 0.2, N_0 = -169\text{dBm}, W = 3.84\text{MHz}, P_{max} = 43\text{dBm}.$$

4.1 对容量变化趋势的影响

本节中主要分析了传播环境、小区配置和切换参数对系统容量(设为 C)的影响,即研究了在不同参数条件下的容量

变化趋势,这里设定 $P_{\max}/P_b=2$.

4.1.1 不同传播环境对系统容量的影响 在分析中,不同传播模型对应于不同的路径损耗斜率(不同的 m 值,如表 1)和不同的阴影衰落标准差(不同的 σ 值,如表 2),这些参数的变化都将对系统的传播特性产生影响,并进而影响到系统的容量特性.由于在分析计算参数 γ 时涉及到绝对的路径损耗,所以参考式(5),定义路径损耗为: $L_p = 128.1 + 4m \log_{10}(R)$ (dB).同时设定其它参数为: $r = 1\text{km}$, $T = 3\text{dB}$.

首先计算了 m 的影响,此时设 $\sigma = 8\text{dB}$.

表 1 路径损耗斜率对下行容量的影响

	$m=3$	$m=4$	$m=5$
X	35.36	25.70	20.28
Y	125.4dB	124.7dB	124.2dB
C	25.9	35.6	45.1

又计算了 σ 的影响,此时参考式(5),设 $m = 3.76$.

表 2 阴影衰落标准差对下行容量的影响

	$\sigma = 6\text{dB}$	$\sigma = 8\text{dB}$	$\sigma = 10\text{dB}$
X	14.03	27.51	68.69
Y	124.3dB	124.8dB	125.3dB
C	65.2	33.2	13.3

通过观察上表可以发现,传播环境对系统容量有着很大的影响.随着 m 的增大,相邻基站间的干扰减小,明显的增加了系统的容量.而 σ 的增大则导致了传播衰减的变化更加剧烈,使得相邻基站间的平均干扰明显增大,造成容量的大幅度下降.

4.1.2 不同小区半径对系统容量的影响 容量与覆盖是规划移动通信网络所追求的主要目标,所以研究不同的小区半径与系统容量之间的关系具有十分重要的意义.在本文的分析中,使用如下的参数: $T = 3\text{dB}$, $\sigma = 8\text{dB}$, $L_p = 128.1 + 37.6 \log_{10}(R)$ (dB), $P_{\max} = 43\text{dBm}$.这样,调整小区半径,就可以得到不同小区半径条件下的系统容量值,见表 3.

表 3 小区半径对下行容量的影响

	$r = 1.0$ (km)	$r = 1.5$ (km)	$r = 2.0$ (km)	$r = 2.5$ (km)	$r = 3.0$ (km)	$r = 4.0$ (km)	$r = 5.0$ (km)
X	27.51	61.90	110.04	171.93	247.58	440.15	687.73
Y	124.8dB	135.4dB	142.9dB	148.7dB	153.4dB	160.9dB	166.7dB
C	33.2	33.2	33.0	33.0	31.9	29.3	25.0

表 5 仿真假设条件

路径损耗模型	$128.1 + 34.6 \log(R)$	下行信道正交因子	0.4
系统带宽	3.84MHz	热噪声功率谱密度	-169dBm/Hz
对数正态阴影衰落标准差	8dB	移动台到不同基站的阴影相关系数	0.5
基站最大发射功率	43dBm	公共信道功率比例	20%
软切换窗口门限	3dB	激活集个数	2
业务类型	Voice (9.6kbps)	语音激活因子	0.5
目标 C/I	-20.4dB	功率控制	快速理想功控

在实际系统中,由于功率控制与移动台的运动和话音激活等用户行为,使各个业务信道的发射功率在一定范围内呈现一定的分布,进而使基站的总发射功率也呈现一定的分布.该功率分布情况对 CDMA 系统的设计与规划具有重要意义,其平均发射功率也是本文理论估计中的一个重要参数.所以,

可以发现,当维持 $P_{\max}/P_b=2$ 和 $P_{\max} = 43\text{dBm}$ 的假设不变时,随着小区半径的变大,系统容量在一定范围内保持不变,当小区半径超过一定限度后,系统容量开始下降.这是由于在一定的的小区范围内,路径损耗相对较小,用户接收到的干扰功率远大于系统中的热噪声,系统处于纯干扰受限状态,所以容量基本保持不变.当小区范围超过一定范围之后,到达小区边缘处的路径损耗增大,使得处于该处的用户接收到的干扰值与系统热噪声相当,甚至更小,这样系统就已经不再是一个纯干扰受限系统了,对于部分用户变为了噪声受限系统.这导致了用户占用基站功率比例的上升,从而降低了系统容量.

4.1.3 不同软切换门限对系统容量的影响 软切换技术是 CDMA 系统的重要关键技术之一,不同的切换算法及其参数对系统性能的影响也不相同.在本文的分析与仿真中,使用相对门限软切换算法,激活集个数为 2,并且设软切换窗口的加入门限与去掉门限相同,均设为 T .保持其它参数如下: $r = 1\text{km}$, $\sigma = 8\text{dB}$, $L_p = 128.1 + 37.6 \log_{10}(R)$ (dB), $P_{\max} = 43\text{dBm}$, 改变软切换窗口门限 T ,观察 T 对系统容量的影响,见表 4.

表 4 切换门限对下行容量的影响

	$T = 1\text{dB}$	$T = 2\text{dB}$	$T = 3\text{dB}$	$T = 4\text{dB}$	$T = 5\text{dB}$
X	27.39	27.43	27.51	27.62	27.77
Y	124.7dB	124.7dB	124.8dB	124.9dB	125.1dB
C	33.4	33.3	33.2	33.1	32.9

由表 4 可以发现,不同的 T 对系统容量的影响很小.本文中使用的软切换算法由于软切换窗口的加入和去掉门限值一致,改变门限值并不能显著影响系统中处于软切换状态的用户比例,所以对系统容量影响很小.实际系统中,可以使用更加复杂的软切换算法,以提高系统性能.

4.2 分析结果与仿真结果的对照

为验证理论估计值,并且为实际 CDMA 移动通信系统的设计与规划提供计算机模拟仿真的工具,我们使用 C++ 语言和面向对象技术构造了 CDMA 移动通信系统的仿真平台.在该仿真平台中,我们定义 6×6 个全向小区,模拟无限大的服务区环境.同时模拟实际移动台的呼叫、通话、移动、切换等过程.经过一定时间的动态仿真,得出相应的系统容量.系统的主要模型定义参考文[2]中的相关内容,主要参数的数值如表 5.

在仿真中首先得到基站业务信道的实时功率的分布情况,如图 3 所示.该图反映了小区半径 1.5km,每小区平均激活用户 36 时的系统中基站业务信道的总功率的实时分布情况.基站的总发射功率为 20W,公共信道比例为 20%.由上表可以发现,此种情况下,基站达到满负荷的概率已经超过了 5%,

当基站满负荷时,新用户将由于得不到所需的业务信道功率而阻塞。同时,还可以发现,在大多数情况下基站的发射功率都远低于最大功率,这也就可以使系统容量获得相应的提高,所以我们在分析中引入了基站平均发射功率的参数,以反映该系统特性。

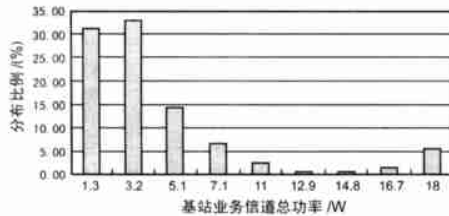


图3 基站业务信道总功率分布图

基于上述的系统仿真平台,我们对 CDMA 移动通信系统做了动态的模拟仿真,得到了在系统中用户呼叫阻塞率小于 10%条件下的系统容量,并根据得到的参数对上一小节中的理论估计值进行了修正。仿真数据与理论估计值的对比如图 4 所示。

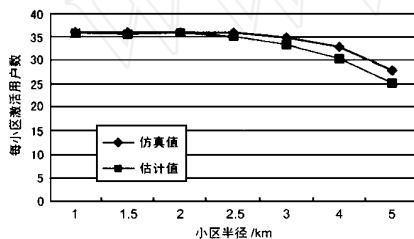


图4 不同小区半径对应的下行链路容量

从图 4 中可以发现,仿真值与估计值是比较接近的,尤其是小区半径小于 3km 时,估计值与仿真值相当吻合,而在小区半径较大处的差别稍大。这主要是由于理论估计中,出于简化的考虑,我们假设移动台只可能与距离最近的两个基站建立通信联系,而仿真中,是根据移动台接收到公共信道的相对功率,判断对应基站是否加入到激活集中,这样移动台可能与任意基站建立联系。显然,仿真中的算法能提供更大的软切换增益。在小区半径较小时,由于不同基站到达同一点的路径损耗差值较小,移动台与其它基站建立通信的概率较小,所以这种增益差体现的不明显,当小区半径扩大后,这种增益差就有所体现,这也就解释了图中仿真值大于估计值的原因。但是,考虑到在小区半径较大时,限制系统容量性能的已不再是前向链路的功率阻塞问题,而主要是反向链路上的移动台发射功率的动态范围,所以这种估计误差也是可以忽略的。

4.3 计算与仿真结果的说明

根据上述的分析方法,我们可以得到一定系统参数下的 CDMA 移动通信系统的容量特性。但是,由于分析中使用的系统模型是经过一定简化的,所以这些估计值仍是较为粗糙的。

由于 CDMA 系统本身的复杂性的限制,若要得到更为精确的容量特性,只有按照实际的系统环境和系统中使用的实际控制算法(如:软切换算法)进行动态的系统级仿真。通过仿真得出较为精确的容量估计值和系统设计规划所需的参数。

5 结论

本文中以基本的 CDMA 理论和经过一定简化的系统模型为基础,得出了一个估计 CDMA 系统下行链路容量特性的分析方法,并将其估计值与计算机仿真结果进行了比较。通过比较可以发现,两者符合的较好。根据这一估计方法得出的估计值可以作为系统性能评估以及系统设计规划的基本的依据,分析过程中使用的计算机仿真方法也可以作为 CDMA 系统的计算机辅助设计与规划的基础。

参考文献:

- [1] Andrew J Viterbi. CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication [M]. Addison-Wesley Publish Company, 1995.
- [2] UMTS 30.03, Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS [R], 1998.
- [3] 3GPP Technical Report, 3G TR 25.942, RF System Scenarios, V2. 2. 1 [R], Dec 1999.
- [4] Louay Jalloul and Kamyar Rohani, CDMA Forward Link Capacity and Coverage in a Multipath Fading Channel [A]. VTC97 [C], Page (s), 1997, 3: 1440 - 1444.
- [5] Kimmo Hiltunen, Riccardo De Bernardi. WCDMA Downlink Capacity Estimation [A]. VTC2000 (Spring) [C], 6. 05. 01, 2000.
- [6] 3GPP Technical Report, 3G TR 25.922, Radio Resource Management Strategies, V3. 1. 0 [R], Mar 2000.

作者简介:



杨光 男, 1975年1月出生于河北唐山市。北京邮电大学硕士研究生, 主要研究方向为 CDMA 系统的系统级性能仿真和无线资源控制方案。



杨大成 男, 博士, 北京邮电大学教授, 博士生导师。北京邮电大学电信工程学院无线中心副主任, 北京邮电大学 BUPT-QUALCOMM 联合研究中心中方首席专家, 原邮电部移动通信研究开发中心副主任, 中国电子学会高级会员。