

CDMA 网络规划的线性建模方法¹

张健明 杨大成

(北京邮电大学电信工程学院 北京 100876)

摘 要 该文提出了 CDMA 网络规划的线性建模方法。该方法用线性方程组对 CDMA 系统进行建模, 并可用迭代的方法求解。该文同时给出了模型的仿真结果。仿真结果表明, 该方法具有较高的准确性, 完全可以用于对实际网络的规划。同时, 该方法便于用计算机实现, 可以作为规划软件的算法模型。

关键词 CDMA, IMT-2000, 3G, 网络规划

中图分类号 TN914.4, TN929.5

1 引言

随着移动通信业务需求的快速增长和第三代 (3G) 移动通信系统在全球范围内的全面展开, 在今后几年内, 3G 移动通信网络将逐渐成为现实。与第二代通信系统相比, 3G 移动通信系统支持更高的数据速率、更大的系统容量、更高的频谱效率和更长的电池寿命。

3G 系统投入实用之前, 需要对网络进行细致地分析和规划。与第二代系统不同的是, IMT-2000 的空中接口普遍采用码分多址 (CDMA) 技术, 所有用户共享同一个频率, 容量的限制主要来自系统本身的自干扰。由于 3G 系统的无线接入部分给运营商提供了一定的自由度, 对网络进行细致的规划可以充分发挥 3G 网络的优势, 得到尽可能高的收益与成本比。然而, 如果忽视了对网络的规划和配置, 频谱效率就有可能受到极大的制约。CDMA 网络规划是一个复杂的过程, 影响规划的因素包括小区的布局、用户的分布、路径损耗、软切换等多个方面。规划问题被认为是 NP-complete 问题^[1]。

本文致力于建立一种基于 CDMA 的移动通信系统的网络规划模型。该模型的目的是确定给定条件下的终端发射功率和系统容量, 也可以通过模型得到给定系统容量时的网络参数配置。建模方法的核心是为一个实际的 CDMA 系统建立一个线性方程组。这种线性模型大大降低了规划的复杂性。建模过程充分考虑了实际环境下的小区布局、传播模型、功率控制等, 计算结果与设备商提供的结果相当接近, 可以做为规划软件的计算机模型。

本文的余下部分按下面的方式组织。为引出建模方法, 首先在第 2 节, 讨论 CDMA 极限容量的公式。第 3 节详细给出本文提出的建模方法。第 4 节对该建模方法的数值结果进行分析。

2 CDMA 极限容量

网络规划的第一步是计算系统在理论上的极限容量。CDMA 的上下行极限容量公式可以表示如下:

$$N = \frac{1}{V_{af} \cdot \text{SNR} \cdot (O_f + F)} + 1 \quad (1)$$

其中 N 为每小区的用户数, SNR 为接收的信号噪声比, V_{af} 为业务的激活概率, O_f 为正交因子, F 为接收端的其它小区干扰与本小区干扰之比, 定义为 $F = I_{oc}/I_{hc}$, 其中 I_{hc} 和 I_{oc} 分别表示本小区干扰和其它小区干扰。

(1) 式的推导作了如下假设: F 为常数; 每用户的 V_{af} 相同; 每用户接收的 SNR 相同, 即 E_b/N_0 相同。然而, 这些假设在实际中常常得不到满足。首先, 由于功率控制的不理想和信

¹ 2002-05-24 收到, 2002-10-17 改回

道衰落的不同,不同用户、不同地点接收的 E_b/N_0 不一样。理论和实际测试表明,用户接收到的 E_b/N_0 电平呈对数正态分布,标准差在 1.5 ~ 2.5dB 量级内变化^[2]。其次, F 是一个复杂的函数,它的值受路径损耗、功率控制算法、用户分布、基站天线高度等影响^[2-7],对于用户分布均匀的情况下计算出的平均 F 值并不适用于实际情况。

因此,极限容量 (1) 式只能做为单小区或多小区容量理论上界的简单预估,它没有给出基站和移动台的发射功率以及系统干扰等一些对小区规划来说非常重要的参量。为了反映网络的实际情况并对网络参数进行规划,需要开发一种更为精确的模型。

3 CDMA 网络规划的建模方法

3.1 线性模型

CDMA 网络的分析方法目前大致分为两种。一种是如文献 [2, 5, 7, 8] 所描述的理论模型。

这些模型考虑了环境的传播特性、用户分布、软切换、功率控制、基站布局等因素,计算结果具有一定的精确性。作为理论分析,这些模型可以给出很好的理论解。然而,实际环境中的传播特性、用户分布、功率控制等非常复杂,不同网络的具体情况是千差万别的。这些参数在理论模型中表现为统计量,仅用理论上的统计量来表示实际中复杂的具体情况是不够的,因此,用这种方法来规划一个具体的网络是不可行的。另外一种分析方法是仿真,如文献 [3]。仿真模型充分考虑了一个具体网络的传播特性、用户分布、软切换等参数,是对实际环境的一种模拟。分析的准确性依赖于仿真模型自身的准确性。为了有效地规划实际网络,一个系统级仿真模型通常很复杂,用仿真模型分析具体网络要消耗大量的计算时间。

考虑到实用性和准确性,文献 [9] 给出了不同于上面提到的另外一种 CDMA 网络的建模方法。在文献 [9] 中,网络中的每一个激活用户用一个线性方程来描述。对于小区 h 中的用户 k ,它的下行链路方程式为

$$\begin{aligned} -\eta = & G_k^{1,h} \sum_{i=1}^{m_1} P_i^1 + \cdots + G_k^{h-1,h} \sum_{i=1}^{m_{h-1}} P_i^{h-1} + O_f \left(G_k^{h,h} \sum_{i=1}^{k-1} P_i^h - \frac{G_k^{h,h}}{O_f \gamma} P_k^h + G_k^{h,h} \sum_{i=k+1}^{m_h} P_i^h \right) \\ & + G_k^{h+1,h} \sum_{i=1}^{m_{h+1}} P_i^{h+1} + \cdots + G_k^{n,h} \sum_{i=1}^{m_n} P_i^n \end{aligned} \quad (2)$$

其中 η 为热噪声功率, $G_k^{i,h}$ 为第 i 个基站到第 h 个基站的第 k 个移动台的链路增益, P 为业务信道发射功率, O_f 为正交因子, γ 为 SNR 目标值, m 为激活用户数, n 为小区数。系统中每一个激活用户的方程式组成一个线性方程组。方程组里包括了路径损耗、正交因子、天线增益等参数,是一个比较精确的模型。但是,由 (2) 式,方程组的复杂度随系统用户数 m 呈非线性增长 (m^2)。一个实际网络中的激活用户非常多,文献 [9] 中的线性模型的求解也就十分困难。

下面本文提出另外一种新模型算法,该模型算法针对基站的总发射功率和总接收功率建立方程式。由于网络中基站的数目通常比移动台数目少很多,因此,新模型算法可以大大降低方程组的复杂性。

假设系统有 n 个基站, m 个移动台,对于下行链路,我们有

$$I_k = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h_k}}^n P_j g_{kj} + o_k (P_{h_k} - q_k) g_{kh_k} + \eta_k \quad (3)$$

其中 I_k 为第 k 个移动台接收的干扰功率, P_j 为第 j 个基站的总发射功率, g_{kj} 为第 j 个基站到第 k 个移动台的链路增益, h_k 为第 k 个移动台的归属基站, q_k 为基站分配给第 k 个移动台的业务信道功率, o_k 为第 k 个移动台的正交因子, η_k 为第 k 个移动台的噪声功率。

假设第 k 个移动台的下行 SNR 目标值为 γ_k , 由 (3) 式可以推出

$$q_k = \frac{\gamma_k}{g_{kh_k} + \gamma_k o_k g_{kh_k}} \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h_k}}^n P_j g_{kj} + o_k P_{h_k} g_{kh_k} + \eta_k \right) \approx \frac{\gamma_k}{g_{kh_k}} \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h_k}}^n P_j g_{kj} + o_k P_{h_k} g_{kh_k} + \eta_k \right) \quad (4)$$

假设移动台 k 的业务激活因子为 v_k , 基站 i 的公共信道发射功率为 C_i , 并且设

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & h_j = i \\ 0, & h_j \neq i \end{cases} \quad (5)$$

基站 i 的发射功率可以由下式得到:

$$P_i = \sum_{k=1}^m z_{ik} q_k v_k + C_i \quad (6)$$

将 (4) 和 (5) 式代入 (6) 式, 得

$$P_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n P_j \sum_{k=1}^m \frac{z_{ik} v_k \gamma_k}{g_{ki}} g_{kj} + P_i \sum_{k=1}^m z_{ik} v_k \gamma_k o_k + \sum_{k=1}^m \frac{z_{ik} v_k \gamma_k}{g_{ki}} \eta_k + C_i \quad (7)$$

对于每一个基站, 都可以给出上面的方程, 组成一个线性方程组, 写成矩阵形式就是

$$P = BP + f \quad (8)$$

其中 P 是 n 维向量, B 是 $n \times n$ 维系数矩阵, 它的第 i 行第 j 列元素 b_{ij} 如下式

$$b_{ij} = \begin{cases} \sum_{k=1}^m \frac{z_{ik} v_k \gamma_k}{g_{ki}} g_{kj}, & i \neq j \\ \sum_{k=1}^m z_{ik} v_k \gamma_k o_k, & i = j \end{cases} \quad (9)$$

f 是 n 维向量, 它的第 i 个元素 f_i 如下式:

$$f_i = \sum_{k=1}^m \frac{z_{ik} v_k \gamma_k}{g_{ki}} \eta_k + C_i \quad (10)$$

将 (8) 式写成迭代形式, 可以很方便地用计算机进行求解:

$$P^{(n)} = BP^{(n-1)} + f \quad (11)$$

(11) 式的解给出了每基站的总发射功率, 进一步分析可以得到系统的下行容量、覆盖范围等相关信息。(11) 式表明每个基站的发射功率都要受到其它基站发射功率的影响。网络中一个基站发射功率增加将导致其它基站也要增加发射功率, 这正反映了 CDMA 自干扰的特点。

上行链路的计算模型可以用类似的方法获得:

$$q_k \approx (\gamma_k / g_{kh_k}) I_{h_k} \quad (12)$$

其中 q_k 为移动台 k 的发射功率, γ_k 为移动台 k 的上行 SNR 目标值, I_{h_k} 为基站 h_k 的总干扰功率, g_{kh_k} 为移动台 k 到基站 h_k 的链路增益。设基站 i 的背景噪声功率为 η_i , 则

$$I_i = \sum_{k=1}^m v_k q_k g_{ki} + \eta_i = \sum_{k=1}^m \frac{v_k \gamma_k I_{h_k} g_{ki}}{g_{kh_k}} + \eta_i \quad (13)$$

设 $R_i = \{k | h_k = i, k \in \text{所有移动台}\}$, (13) 式可以写成如下的等价形式:

$$\begin{aligned} I_i &= I_1 \sum_{k \in R_1} \frac{v_k \gamma_k g_{ki}}{g_{k1}} + I_2 \sum_{k \in R_2} \frac{v_k \gamma_k g_{ki}}{g_{k2}} + \cdots + I_n \sum_{k \in R_n} \frac{v_k \gamma_k g_{ki}}{g_{kn}} + \eta_i \\ &= \sum_{j=1}^n I_j \sum_{k=1}^m \frac{z_{jk} v_k \gamma_k g_{ki}}{g_{kj}} + \eta_i \end{aligned} \quad (14)$$

表示成矩阵形式如下:

$$\mathbf{P} = \mathbf{TP} + \mathbf{e} \quad (15)$$

其中 $\mathbf{P}$ 是 n 维向量, 表示基站的干扰功率, $\mathbf{T}$ 是 $n \times n$ 维系数矩阵, 它的第 i 行第 j 列元素 t_{ij} 如下式:

$$t_{ij} = \sum_{k=1}^m \frac{z_{jk} \gamma_k g_{ki} v_k}{g_{kj}} \quad (16)$$

$\mathbf{e}$ 是 n 维向量, 它的第 i 个元素 e_i 如下式:

$$e_i = \eta_i \quad (17)$$

(15) 式写成迭代形式如下:

$$\mathbf{P}^{(n)} = \mathbf{TP}^{(n-1)} + \mathbf{e} \quad (18)$$

(8) 式和 (15) 式是网络的下行和上行分析模型, (11) 式和 (18) 式分别是它们的迭代形式。本文提出的线性模型的维数是 $n \times n$, 计算复杂度随 n^2 增加。文献 [9] 中的模型维数是 $m \times m$, 计算复杂度随 m^2 增加。通常网络中基站的数目远小于移动台的数目 (n 远小于 m), 因此, 本文提出的计算模型在复杂度上要远小于文献 [9] 提出的计算模型。

3.2 收敛性分析

令 $\mathbf{A} = \mathbf{I} - \mathbf{B}$, 其中 $\mathbf{I}$ 为单位矩阵, 则 (8) 式可变换为

$$\mathbf{AP} = \mathbf{f} \quad (19)$$

$\mathbf{A}$ 的元素在实际系统中为随机数, 证明收敛性时, 我们取它的统计值。为了证明 (11) 式的收敛性, 我们首先引出命题 1。

命题 1 $\mathbf{A}$ 为严格对角占优矩阵。

证明 设矩阵 A 的第 i 行第 j 列的元素为 a_{ij} , 则有

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}| = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |b_{ij}| = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left| \sum_{k=1}^m \frac{z_{ik} v_k \gamma_k g_{kj}}{g_{ki}} \right| = \sum_{k=1}^m z_{ik} v_k \gamma_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{g_{kj}}{g_{ki}} \quad (20)$$

(20) 式中, z_{ik}, v_k, γ_k 相互独立, 假设平均每小区的用户数为 m_0 , 且 $E(z_{ik}) = m_0/m$, $E(v_k) = v$, $E(\gamma_k) = \gamma$, 则有

$$E \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}| \right) = E \left(\sum_{k=1}^m z_{ik} v_k \gamma_k \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{g_{kj}}{g_{ki}} \right) = m_0 v \gamma \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n E \left(\frac{g_{kj}}{g_{ki}} \right) \quad (21)$$

其中 g_{ki} 为用户到归属小区的链路增益, g_{kj} 为用户到其它小区的链路增益。显然有

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n E \left(\frac{g_{kj}}{g_{ki}} \right) = \frac{I_{oc}}{I_{hc}} \quad (22)$$

其中 I_{hc} 和 I_{oc} 分别表示本小区干扰和其它小区干扰。将 (22) 式代入 (21) 式, 得

$$E \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}| \right) = m_0 v \gamma \frac{I_{oc}}{I_{hc}} \quad (23)$$

对角线上的元素 a_{ii} 的统计值如下式

$$E(|a_{ii}|) = E(|1 - b_{ii}|) = E \left(1 - \sum_{k=1}^m z_{ik} v_k \gamma_k o_k \right) = 1 - m_0 v \gamma o \quad (24)$$

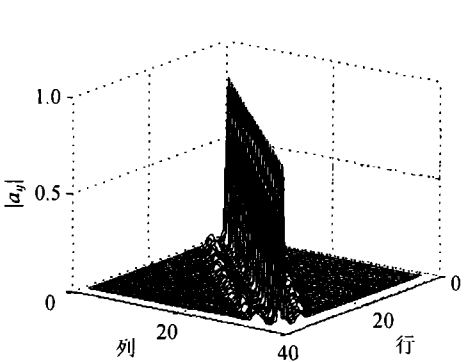
由 CDMA 极限容量公式, $m_0 < \frac{1}{v\gamma[o + (I_{oc}/I_{hc})]}$, 推出 $1 - m_0 v \gamma o > m_0 v \gamma (I_{oc}/I_{hc})$, 即

$$E(|a_{ii}|) > E \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}| \right) \quad (25)$$

因此, A 为严格对角占优矩阵, 命题 1 得证。

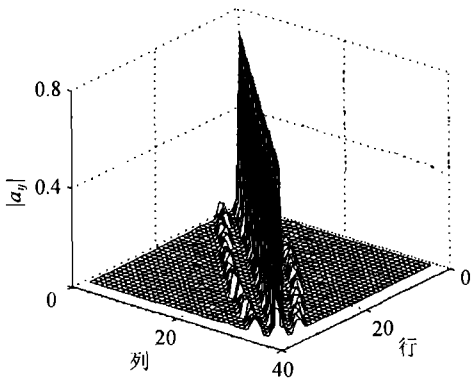
证毕

由文献 [10, Theorem 7.21], 当 A 为对角占优矩阵时, 对于任意的初始向量 $P^{(0)}$, (19) 式的雅克比迭代法收敛。(11) 式是 (19) 式的雅克比迭代形式, 也就是说, 对于任意的初始向量 $P^{(0)}$, (11) 式收敛。图 1 和图 2 给出了用户均匀分布情况下, 矩阵 A 的三维视图。从图中, 我们可以看出, 矩阵 A 的对角线元素远大于其它元素, 是一个明显的对角占优矩阵。



正交因子=0.4 业务激活因子=0.5 慢衰标准差=8dB

图 1 矩阵 A 的 3D 视图
(37 个全向小区, 每小区 50 个用户)



正交因子=0.4 业务激活因子=0.5 慢衰标准差=8dB

图 2 矩阵 A 的 3D 视图
(37 个全向小区, 每小区 80 个用户)

4 数值结果

基于 (11) 式和 (18) 式, 可以建立一个仿真模型。具体的系统配置如表 1 所示^[3]。仿真系统采用 3 层小区结构 (37 个全向小区, 如图 3 所示)。为避免边缘效应, 抽取位于中心位置的 19 号小区进行观察, 本文给出的仿真结果是 19 号小区的数值结果。

表 1 仿真系统参数

载波频率	2GHz
码片速率	3.84Mchip/s
信息速率	12.2kbit/s
$E_b/(N_0 + I_0)$ 目标值	下行链路 7.5dB, 上行链路 5.6dB
每业务信道最大发射功率	下行链路 30dBm, 上行链路 24dBm
每业务信道最小发射功率	下行链路 0dBm, 上行链路 -50dBm
控制信道发射功率	下行链路 3W, 上行链路 0W
基站天线	11dBi 全向天线
电缆损耗	2dB
正交因子	下行链路 0.4, 上行链路 1
话音激活因子	下行链路 0.5, 上行链路 0.66
热噪声密度	-174dBm/Hz
噪声系数	下行链路 9dB, 上行链路 5dB
阴影衰落标准差	8dB
传播模型	Okumura-Hata model
无软切换, 理想功控	

对于 CDMA 的上行链路, 同一小区的不同用户在理想功率控制条件下具有基本上相同的干扰, 移动台主要克服路径损耗的影响, 因此, 发射功率随移动台到基站距离的增加而增加。对于下行链路, 用户除了路径损耗不同以外, 它们接收到的干扰也不同, 离基站越近的用户接收到的干扰就越大, 路径损耗和干扰共同作用的结果使得下行链路的发射功率与用户的位置相关性不大。图 4 描述了不同位置用户的上下行发射功率。CDMA 的上行链路的发射功率应该比下行链路的发射功率具有更大的动态范围。

图 5 和图 6 分别对下行和上行的功率值与迭代次数的关系进行了描述。从图中可以看出本文提出的规划模型具有比较好的收敛性, 迭代的收敛速度与每小区的平均用户数存在一定的关

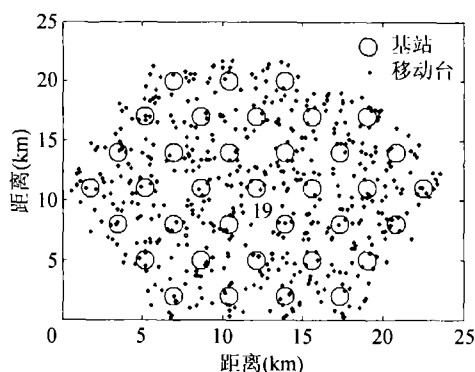


图3 小区-用户位置

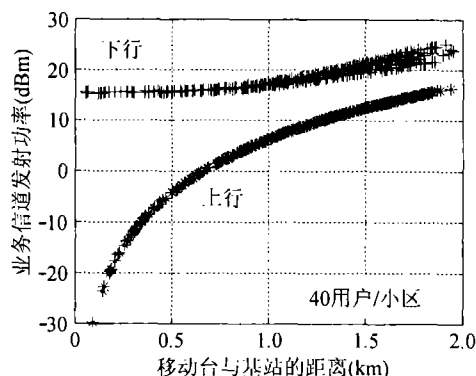


图4 上、下行业务信道发射功率

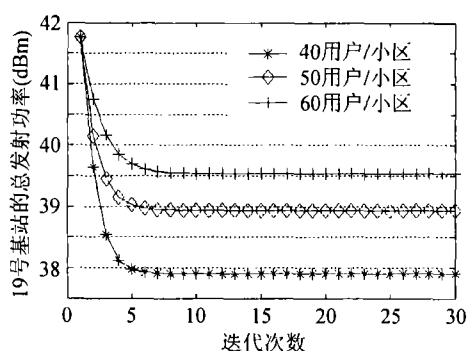


图5 下行规划模型的收敛与迭代次数

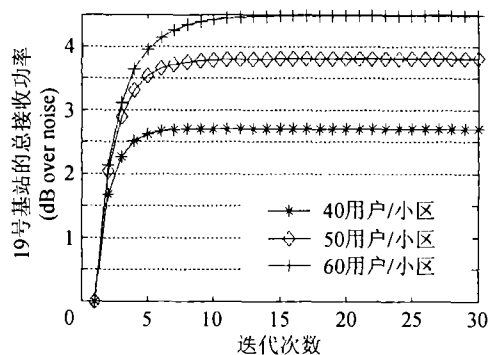


图6 上行规划模型的收敛与迭代次数

系, 用户数越多, 收敛速度越慢。实际上, 用户数越多, (11) 式和 (18) 式中的矩阵 B 和 T 的谱半径就越大, 意味着收敛速度越慢^[10]。一般来说, 迭代次数达到 10 次以上时, 算法将达到比较好的收敛程度。

图 7 和图 8 给出上、下行链路不同仿真次数和不同用户数时的算法结果。结果表明, 当仿真次数达到 10 次以上时, 对系统功率或容量的评估比较准确。从图中还可以看到, 当仿真次数达到 5 次以上时, 计算结果与仿真次数为 10 时的计算结果十分接近。也就是说, 为了加快仿真速度, 可以只进行 5 次仿真, 然后求平均。

CDMA 系统的容量与很多因素相关, 如小区半径、阴影衰落、用户分布等。仿真中, 我们对容量是这样定义的: 对于下行链路, 基站总发射功率不超过最大功率的 90%, 并且 95% 以上的用户达到所需的 $E_b/(N_0 + I_0)$; 对于上行链路, 基站总接收功率与噪声功率的比值在 10dB 以下 (10dB 对应于 90% 的负载, 文献 [2] 认为该值在 6~10dB 之间时, 系统处于稳定状态), 并且 95% 以上的用户达到所需的 $E_b/(N_0 + I_0)$ 。图 9 描述了小区容量与小区半径的关系。当小区半径达到 2km 以上时, 由于路径损耗的增加和发射功率动态范围的限制, 小区容量将开始减小。容量和覆盖是一对矛盾的参数, 实际规划中需要对小区的容量和覆盖进行折中。图 10 描述了小区容量与阴影衰落标准差的关系。阴影衰落效应导致系统容量下降, 阴影衰落的标准差越大, 系统容量下降得越多。

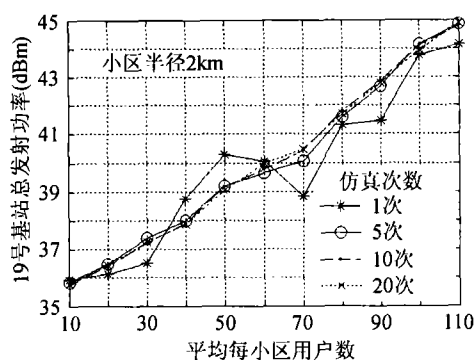


图 7 不同仿真次数时的基站总发射功率

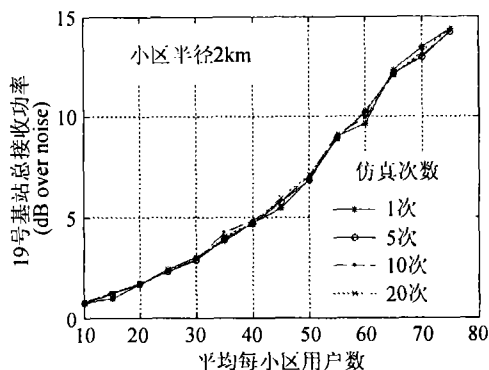


图 8 不同仿真次数时的基站总接收功率

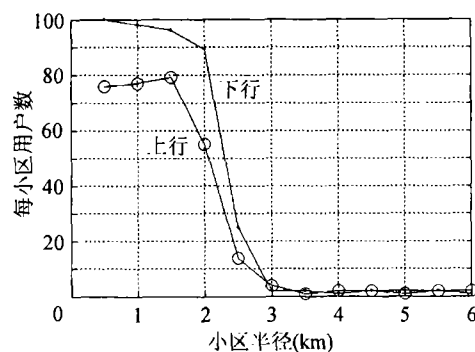


图 9 上、下行链路容量与小区半径的关系

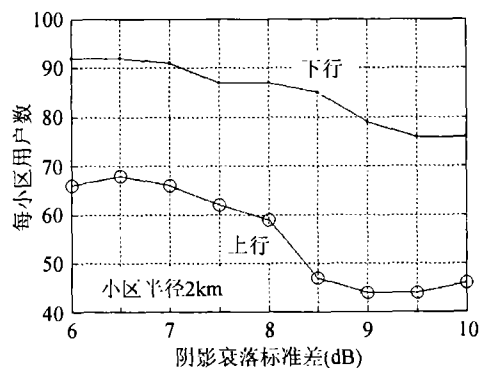


图 10 上、下行链路容量与阴影衰落的关系

5 结束语

CDMA 网络规划是一项非常复杂的任务。本文提出的 CDMA 网络规划的建模方法降低了规划的复杂性, 其结果具有较高的准确性, 并且易于用计算机实现。软切换和不理想功率控制在本文的建模方法中没有考虑进去, 今后对规划模型的改进需要进一步考虑这两方面的因素。

参 考 文 献

- [1] E. Berruto, M. Gudmundson, R. Menolascino, W. Mohr, M. Pizarroso, Research activities on UMTS radio interface, network architectures, and planning, IEEE Communications Magazine, 1998, 36(2), 82-95.
- [2] A. J. Viterbi, CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication, New York: Addison-Wesley, 1995, Chapter 6.
- [3] S. Dehghan, D. Lister, R. Owen, P. Jones, W-CDMA capacity and planning issues, Electronics & Communication Engineering Journal, 2000, 12(3), 101-118.
- [4] W. C. Y. Lee, D. Lee, CDMA capacity on pathloss and power control, Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.(VTC 2000 Fall), Boston USA, Sep. 2000, vol. 2, 624-629.
- [5] W. Choi, B. S. Kang, J. C. Lee, K. T. Lee, Forward link erlang capacity of 3G CDMA system, First International Conference on 3G Mobile Communication Technologies, London UK, March 2000, 213-217.

- [6] F. C. Foo, W. L. Lim, R. Tafazolli, L. Barclay, Other-cell interference and reverse link capacity of high altitude platform station CDMA system, *Electronics Letters*, 2000, 36(22), 1881–1882.
- [7] H. G. Jeon, S. M. Shin, T. Hwang, C. E. Kang, Reverse link capacity analysis of a CDMA cellular system with mixed cell sizes, *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 2000, 49(6), 2158–2163.
- [8] D. K. Kim, D. K. Sung, Capacity estimation for an SIR-based power-controlled CDMA system supporting ON-OFF traffic, *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 2000, 49(4), 1094–1011.
- [9] D. Bem, M. Nawrocki, T. Wieckowski, R. Zielinski, Modeling methods for WCDMA network planning, *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.(VTC 2001 Spring)*, Rhodes Greece, May 2001, vol. 2, 962–966.
- [10] R. L. Burden, J. D. Faires, *Numerical Analysis*, Prindle, Weber & Schmidt, 1985, Chapter 7.

LINEAR MODELING METHODS FOR CDMA NETWORK PLANNING

Zhang Jianming Yang Dacheng

(*Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China*)

Abstract This paper presents some modeling methods for CDMA network planning applications. Linear equations are used for modeling CDMA multi-cell networks and iterative methods are adopted for solving the equations. The simulation results based on these models are presented in this paper. The analysis shows that the results are fairly accurate, so the models can be used in real networks perfectly. What's more, the methods are easy to be implemented on computer platforms. Thus, these modeling methods can be used as the core algorithms of planning softwares, perspectively.

Key words CDMA, IMT-2000, 3G, Network planning

张健明: 男, 1976 年生, 博士生, 研究方向为第三代移动通信系统中的网络规划、建模、仿真、性能及通信软件。
杨大成: 男, 1951 年生, 教授, 博士生导师, 北京邮电大学电信工程学院无线中心主任, 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, 中国联通公司总部高级技术顾问, 现研究方向为移动通信系统的理论和实现, 移动通信系统的国产化问题, 移动通信系统的知识产权问题。