

CDMA 网络规划的上行功率迭代算法

刘学勇 杨大成

(北京邮电大学无线研究中心 北京 100876)

摘要: 该文提出了一种用于 CDMA 网络规划的的上行功率迭代算法。在迭代的过程中, 移动台根据各个基站的负载情况, 动态地选择所连接的基站, 使发射功率最小, 最终使移动台的发射功率和基站处的干扰功率收敛。对算法的收敛性给出了理论分析, 仿真结果验证了理论分析的正确性。该算法便于计算机实现, 可用于实际的网络规划。

关键词: CDMA; 网络规划; 发射功率; 迭代

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)12-2923-03

Uplink Power Iterative Algorithm for CDMA Network Planning

Liu Xue-yong Yang Da-cheng

(Wireless Communication Research Center, Beijing University of Posts and Telecommunications,
Beijing 100876, China)

Abstract: An uplink power iterative algorithm is proposed for CDMA network planning. In the iteration, the mobile station is dynamically assigned to the home station which can minimize the mobile station transmitted power according to the load of the base stations. So the transmitted power of the mobile station and the received power of the base station is converged. The convergence of the algorithm is analyzed in theoretical, and simulation results demonstrate the correctness of theoretical analysis. The presented algorithm can be implemented easily by computer. Thus it can be used for practical network planning.

Key words: CDMA; Network planning; Transmitted power; Iterative

1 引言

第三代(3G)移动通信网络基于码分多址(CDMA)技术, 3G的规划与使用时分多址(TDMA)技术的第二代网络不同。覆盖范围、容量和业务质量相互关联, 多速率的混合业务在一个载波上同时使用, 这样就增加了规划 3G网络的技术难度。CDMA网络规划被认为是NP—complete问题^[1]。

CDMA 网络规划要确定出给定条件下的网络的最大容量, 为此要对网络进行分析。CDMA 网络的分析方法目前大致分为两种。一种是如文献[2-4]所描述的理论模型。作为理论分析, 这些模型可以给出很好的理论解。然而, 实际环境中的网络的具体情况是千差万别的。仅用理论上的解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[5]。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。因此在网络规划中通常采用仿真的方法来评估系统容量和负载。

由于 CDMA 网络上一般行是干扰受限的, 要考察网络的最大容量, 就要确定给定条件下的最小移动台发射功率。本文讨论了一种用于 CDMA 移动通信网络规划仿真的上行功率迭代算法。在每次迭代的过程中, 移动台通过路径损耗和上次迭代基站处的干扰功率水平来选择最佳服务小区, 使

发射功率最小化, 最终使移动台的发射功率和基站处的干扰功率收敛。

2 系统模型

设一个 CDMA 系统包含 M 个移动台, N 个基站。考虑到移动台最大发射功率的限制, 在上行链路可以与移动台 i 建立链接的基站集合为 D_i 。其中, $i \in \{1, 2, \dots, M\}$, $D_i \subseteq \{1, 2, \dots, N\}$ 。假设移动台 i 与基站 k_i , $k_i \in D_i$ 建立链接。再假设移动台在网络内均匀分布, 移动台 i 与基站 k_i 的上行链路信道增益为 h_{i,k_i} , 比特速率为 R_i , 发射功率为 P_i , 基站 k_i 的背景噪声功率为 η_{k_i} 。假设业务的 QoS 要求只与目标 E_b/N_0 有关, 等效的 SINR 为

$$(\text{SINR})_{i,k_i} = \frac{h_{i,k_i} P_i}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M h_{j,k_i} P_j + \eta_{k_i}} \geq \bar{S}_i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

其中 $h_{i,k_i} P_i$ 为基站 k_i 接收到的移动台 i 的功率, $h_{j,k_i} P_j$ 为基站接收到的移动台 j 的干扰功率。 $\bar{S}_i = \frac{R_i \cdot \gamma_i}{W}$, γ_i 为移动台 i 的业务目标 E_b/N_0 , W 为扩频码片速率。

式(1)取等号, 并整理得:

$$P_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M P_j \frac{h_{j,k_i} \bar{S}_i}{h_{i,k_i}} + \frac{\eta_{k_i} \bar{S}_i}{h_{i,k_i}}, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

写成矩阵形式为

$$(\mathbf{I} - \mathbf{H})\mathbf{P} = \mathbf{N} \quad (3)$$

其中 \mathbf{I} 为 $M \times M$ 的单位阵, \mathbf{H} 为 $M \times M$ 的信道增益矩阵, 且有:

$$h_{i,j} = \begin{cases} 0, & j = i \\ \frac{h_{j,k_i}}{\bar{S}_i}, & j \neq i \end{cases} \quad (4)$$

\mathbf{N} 为 $M \times 1$ 的向量, 且有

$$n_i = \frac{\eta_{k_i} \bar{S}_i}{h_{i,k_i}} \quad (5)$$

上述模型的目标就是发现一个非负的功率向量, 它满足最大功率的限制条件, 因此可表示为下列优化问题^[6]:

$$\min : \sum_{j=1}^M P_j \quad (6)$$

约束条件:

$$0 < P_i \leq P_i^{\max}, (\text{SINR})_{i,k_i} \geq \bar{S}_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, M\} \quad (7)$$

3 上行功率迭代算法

根据前面所述模型, 仿真中最核心的问题是对移动台发射功率收敛性的过程建模。为此提出下列迭代算法, 并对算法的收敛性进行了理论分析和计算机仿真。算法描述如下:

(1) 初始化: 移动台 i 根据接收到的各个基站的导频发射功率和一定的门限, 确定 $D_i, D_i \subseteq \{1, 2, \dots, N\}$ 。设置一个中断计数器 T_i , 初始值 $T_i(0) = 0$ 。

(2) 设移动台 i 在第 n 步迭代中的发射功率为 $P_i(n)$, 则 在第 $n+1$ 步迭代中, 首先计算移动台 i 到每个基站 $k, k \in D_i$ 所需的发射功率 $P_i^{(k)}(n+1)$:

$$P_i^k(n+1) = \frac{\bar{S}_i}{h_{i,k}} \cdot \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M h_{j,k} P_j(n) + \eta_k \right) \quad (8)$$

然后取

$$P_i(n+1) = \min_{k \in D_i} P_i^k(n+1) \quad (9)$$

(3) 若 $P_i(n+1) > P_i^{\max}$, 则 $T_i(n+1) = T_i(n) + 1$, 若 $T_i(n+1)$ 超出允许的最大次数 T_{\max} , 即: $T_i(n+1) > T_{\max}$, 则中断此移动台。

(4) 比较所有未中断移动台 2 次迭代的发射功率差值 $\Delta P = \max_{i=1, \dots, M} (P_i(n+1) - P_i(n))$, 若 ΔP 小于允许的门限值 则结束迭代, 否则返回(2)。

4 算法收敛性分析

可以证明, 在发射功率没有限制的情况下, 存在一个发射功率向量 \mathbf{P}^* 满足:

$$\frac{P_i^* h_{i,k_i}}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M P_j^* h_{j,k_i} + \eta_{k_i}} = \bar{S}_i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (10)$$

$$\frac{P_i^* h_{i,k_i}}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M P_j^* h_{j,k_i} + \eta_{k_i}} \leq \bar{S}_i, \quad k \in D_i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (11)$$

下面证明所提算法, 收敛于 \mathbf{P}^* 。

算法可看作一个 \mathbf{R}_+^M 到自身的映射, 即 $T: \mathbf{R}_+^M \rightarrow \mathbf{R}_+^M$, 对任意一点 $\mathbf{P} \in \mathbf{R}_+^M$, 有 $T(\mathbf{P}) \in \mathbf{R}_+^M$, 显然 T 是一个连续映射。并且有下列性质:

$$\mathbf{P}_1 \leq \mathbf{P}_2 \Rightarrow T(\mathbf{P}_1) \leq T(\mathbf{P}_2) \quad (12)$$

事实上, 令 $\mathbf{P}_1(0) = \mathbf{P}_1$, 则 $P_{1i}(1) = \min_{k \in D_i} P_{1i}^k(1)$

$$P_{1i}^k(1) = \frac{\bar{S}_i}{h_{i,k}} \cdot \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M h_{j,k} P_{1j}(0) + \eta_k \right) = \frac{\bar{S}_i}{h_{i,k}} \cdot \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M h_{j,k} P_{1j} + \eta_k \right) \quad (13)$$

同理有

$$P_{2i}^k(1) = \frac{\bar{S}_i}{h_{i,k}} \cdot \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M h_{j,k} P_{2j} + \eta_k \right) \quad (14)$$

对 $\forall i \in \{1, 2, \dots, M\}$ 和 $k \in D_i$ 都有

$$\frac{\bar{S}_i}{h_{i,k}} \cdot \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M h_{j,k} P_{1j} + \eta_k \right) \leq \frac{\bar{S}_i}{h_{i,k}} \cdot \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M h_{j,k} P_{2j} + \eta_k \right) \quad (15)$$

因此有 $\mathbf{P}_1(1) \leq \mathbf{P}_2(1)$, 即: $T(\mathbf{P}_1) \leq T(\mathbf{P}_2)$ 。

由 T 的性质可知, 若 $\mathbf{P}_1(0) \leq \mathbf{P}_1(1)$, 则 $\mathbf{P}_1(n), n = 1, 2, \dots$ 是一个单调增加的序列, 反之则是一个单调下降的序列。因此若 $\mathbf{P}_1(0) \leq \mathbf{P}_1(1) \leq \mathbf{P}^*$, 由单调有界序列必有极限可知, $\mathbf{P}_1(n) \uparrow \mathbf{P}^*$ 。同理若 $\mathbf{P}_2(0) \geq \mathbf{P}_2(1) \geq \mathbf{P}^*$, 则 $\mathbf{P}_2(n) \downarrow \mathbf{P}^*$ 。

对于任意的初始发射功率向量 $\mathbf{P}(0) \in \mathbf{R}_+^M$, 定义如下 2 个常数:

$$U = \max \left\{ \max_{i=1, \dots, M} \frac{P_i(0)}{P_i^*}, 1 \right\}, \quad V = \min \left\{ \min_{i=1, \dots, M} \frac{P_i(0)}{P_i^*}, 1 \right\} \quad (16)$$

令 $\mathbf{P}_1(0) = V \cdot \mathbf{P}^*$, $\mathbf{P}_2(0) = U \cdot \mathbf{P}^*$, 显然有 $\mathbf{P}_1(0) \leq \mathbf{P}_1(1) \leq \dots \leq \mathbf{P}^*$, $\mathbf{P}_2(0) \geq \mathbf{P}_2(1) \geq \dots \geq \mathbf{P}^*$ 以及 $\mathbf{P}_1(0) \leq \mathbf{P}(0) \leq \mathbf{P}_2(0)$, 由 T 的性质可知, $\mathbf{P}_1(n) \leq \mathbf{P}(n) \leq \mathbf{P}_2(n), n = 1, 2, \dots$, 因为 $\mathbf{P}_1(n) \uparrow \mathbf{P}^*$, $\mathbf{P}_2(n) \downarrow \mathbf{P}^*$, 可以推知: $\mathbf{P}(n) \rightarrow \mathbf{P}^*$ 。

以上的证明过程, 并没有限制移动台的最大发射功率, 在实际的网络中, 移动台的最大发射功率是有限制的, 算法的第(3)步可以保证最终收敛的 \mathbf{P}^* 一定满足移动台最大发射功率的约束。

5 数值结果

对所提的算法进行了仿真验证, 仿真采用 3 层小区结构, 基站位于小区的 中心, 移动台均匀分布在每一个小区中, 话音用户与数据用户的比例为 4: 1, 在迭代的过程中, 假定移动台是固定的。其他的系统参数如表 1 所示^[7]。为避免边缘效应, 对中心位置的小区进行观察。仿真结果如图 1~图 3 所示。

表 1 系统仿真参数

小区半径	2km
载波频率	2GHz
码片速率	3.84Mchip/s
信息速率	12.2kbit/s, 144kbit/s
E_b / N_0 目标值	5.0dB, 1.5dB
移动台最大发射功率	21dBm, 24dBm
移动台最小发射功率	-50dBm
热噪声密度	-174dBm/Hz
噪声系数	5dB
阴影衰落标准差	8dB
传播模型	Okumura-Hata 模型

图 1 是不同用户数下中心小区的接收功率随迭代次数变化的情况。从图中可以看出, 无论网络中的用户数怎么变化, 基站的接收功率最终都是收敛的。初始迭代时, 由于没有任何移动台接入, 移动台的发射功率只需要克服路径损耗以及基站接收机热噪声的影响, 因而发射功率都较小, 所以基站接收到的干扰功率也较小。随着移动台的接入, 干扰功率逐渐增加, 因而各移动台也需要相应的提高各自的发射功率。从图中可以看出, 初始迭代, 基站接收到的干扰功率增加较快, 在网络中用户数较少的情况下, 迭代次数达到 5 次后, 干扰功率逐渐趋近收敛值, 迭代次数达到 10 次后, 可认为已经完全收敛。在网络中用户数较多的情形下(平均 50 用户/小区), 由于干扰功率太大, 导致有的移动台发射功率超出最大发射功率限制, 因而连接中断, 移出中断移动台后, 基站的接收功率又达到了收敛。

图 2 给出了在平均 50 用户/小区的情况下, 中心小区的几个移动台的发射功率随迭代次数变化的情况。可以看出由于 MS6 的发射功率始终大于最大发射功率, 因而在超过一定的迭代次数后被中断, 其他的移动台在功率调整后, 最终都达到了收敛值。

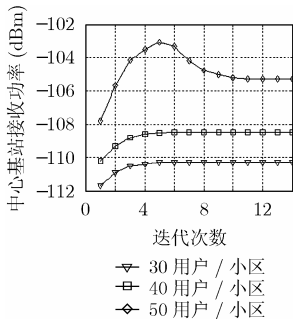


图 1 中心基站接收功率随迭代次数的变化

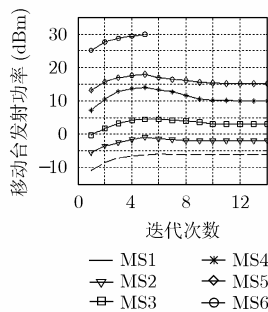


图 2 移动台发射功率随迭代次数的变化

图 3 是话音终端和数据终端平均发射功率随迭代次数的变化情况, 由于数据业务的业务速率较高, 扩频增益较小, 因而平均发射功率较大, 而话音业务由于扩频增益较大, 因

此只需要较小的发射功率就可以满足业务 QoS 要求。

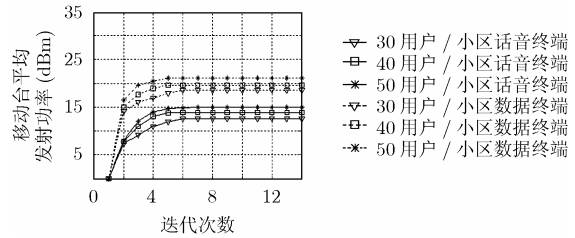


图 3 话音终端和数据终端平均发射功率随迭代代数的变化

6 结束语

本文提出了一种用于 CDMA 网络规划仿真的上行功率迭代算法, 算法考虑了实际中的移动台的最大发射功率的限制因素, 从理论上分析了该算法的收敛性, 仿真结果进一步验证了理论分析的正确性。该算法可用于实际网络规划的上行容量分析, 具有较大的实用价值。

参考文献

- [1] Berruto E, Gudmundson M, and Menolascino R, *et al.* Research activities on UMTS radio interface, network architectures, and planning. *IEEE Communications Magazine*, 1998, 36(2): 82-95.
- [2] Viterbi A J. CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication. New York: Addison-Wesley, 1995, Chapter 6.
- [3] Jeon H G, Shin S M, and Hwang T. Reverse link capacity analysis of a CDMA cellular system with mixed cell sizes. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2000, 49(6): 2158-2163.
- [4] Kim D K and Sung D K. Capacity estimation for an SIR-based power-controlled CDMA system supporting ON-OFF traffic. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2000, 49(4): 1094-1011.
- [5] Dehghan S, Lister D, and Owen R, *et al.* W-CDMA capacity and planning issues. *Electronics & Communication Engineering Journal*, 2000, 12(3): 101-118.
- [6] Subramaniam M and Anpalagan A. A pilot power based power control (PPBPC) and base station assignment algorithm in cellular CDMA networks. *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Toronto, 2-5 May, 2004, 1: 327-332.
- [7] Holma H and Toskala A. WCDMA for UMTS. New York: John Wiley & Sons, 2001: Chapter 8.

刘学勇: 男, 1977 年生, 博士生, 研究方向为第三代移动通信系统的关键技术、网络规划、建模、仿真等。

杨大成: 男, 1951 年生, 教授, 博士生导师, 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。