多业务 CDMA 系统中的反向负荷预测 [1]

汪勇刚 朱世华 吕 玲

(西安交通大学信息与通信工程系 西安 710049)

摘 要 在综合语音、数据等多种业务的 CDMA 蜂窝移动通信系统中，由于请求接入的各业务的传输速率、服务质量不同，接入业务后小区负荷变化的程度也各不相同。为了保证系统的稳定性，必须对系统正常运行时的负荷进行限制。该文提出了一种在多业务、多速率环境下，预测 CDMA 系统接入新业务后反向负荷变化的方法，并给出了用该方法预测的小区反向负荷和仿真结果的比较。

关键词 码分多址，多业务，负荷预测，移动通信

中图号 TN929.5, TN914.4

1 引 言

在单纯语音业务的 CDMA 系统中，小区负荷是小区中用户的实际数目与该小区可支持的最大理论数目之比，该比值与在小区基站接收机处测得的总接收功率相关。为了保证系统的稳定性，必须对系统正常运行时的负荷进行限制。

高速数据业务与语音业务不同的是，用户请求这些业务接入时，它所要求的传输速率各不相同，服务质量 (QoS) 也不相同。这样，衡量小区的负荷不能再简单地用实际接入的用户数来表示，在实际系统中，是用基站接收机处的总接收功率作为表征小区反向负荷的量 [1,2]。由于接入不同类型、速率的业务后小区负荷变化的程度各不相同，为了保证接入业务后系统的负荷不超过限定的范围，必须对这种变化做出正确的估计。

本文提出了一种在多业务、多速率环境下预测 CDMA 系统接入新业务后反向负荷变化的方法。

2 小区反向负荷的预测

考虑一个小区内有 N 个业务占用了信道，假设第 i 个业务信号到达基站的平均功率为 S_i，速率为 R_i，激活因子 α_i，考虑当比特能量与噪声密度之比大于满足第 i 个业务所定的门限 $(E_b/N_0)_i$ 时，服务质量才能保证，即

$$\frac{S_i/(R_i\cdot\alpha_i)}{N_t+\sum_{j=1,j\neq i}^{N}S_j/W+I_0/W}\geq(E_b/N_0)_i \tag{1}$$

其中 N_t 和 W 分别是热噪声功率谱密度和传输带宽，在多小区系统中，中心小区的基站接收到周围小区用户的干扰，可以近似看作加性热噪声 I_0 [3]。上式可进一步写为

$$S_i\left[\frac{W/(R_i\cdot\alpha_i)}{(E_b/N_0)_i}\right]\geq N_tW+\sum_{j=1,j\neq i}^{N}S_j+I_0 \tag{2}$$

定义 P_N 为基站接收到的信号总功率，则

$$P_N=N_t\cdot W+\sum_{j=1}^{N}S_j+I_0 \tag{3}$$

[1] 2001-09-03 收到，2002-04-29 改回
国家自然科学基金 (60072040) 资助

在 (2) 式两边各加上一个 S_i，将 (3) 式代入，并令 $\Gamma_i = \frac{W/(R_i \cdot \alpha_i)}{(E_b/N_0)_i}$，是第 i 个业务的特征因子，由业务类型，传输速率和服务质量决定。(2) 式可化为

$$S_i \geq P_N \cdot \frac{1}{\Gamma_i + 1} \tag{4}$$

(4) 式两边对 i 求和，得到

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\Gamma_i + 1} \leq 1 - \frac{N_t W + I_0}{P_N} \tag{5}$$

由上式可知，多速率业务的小区容量必须满足 $\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\Gamma_i+1} \leq 1 - \frac{N_t W+I_0}{P_N}$ 的约束条件。

假设小区已经和 N 个用户建立连接，在功率控制达到稳定的情况下，(5) 式可以取等号，即认为系统满足条件：

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\Gamma_i + 1} = 1 - \frac{N_t W + I_0}{P_N} \tag{6}$$

当第 $N+1$ 个用户请求接入，则接入该用户后，小区容量应满足 $\sum_{i=1}^{N+1} \frac{1}{\Gamma_i+1} \leq 1 - \frac{N_t W+I_0}{P_{N+1}}$ 的约束条件，这里，$P_{N+1} = N_t \cdot W + \sum_{j=1}^{N+1} S'_j + I_0$ 是小区有 $N+1$ 个用户时基站接收到的信号总功率，S'_j 是第 j 个用户发射功率到达基站的平均接收功率。

由于第 $N+1$ 个用户功率的干扰，前 N 个用户的信噪比下降，因此需要调整发射功率以满足它们的业务要求。由于功率控制的作用，所有用户的发射功率都有一定程度的增加，由于 P_N 是在有 N 个用户接入时基站测量记录下的历史时刻确知的值，Γ_i 是恒定的量，因而 (6) 式的关系是固定的，等式约束关系不会被破坏。$\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\Gamma_i+1}$ 实际上传递了 P_{N+1} 和 P_N 的一种关系，因此可以得到

$$1 - \frac{N_t W + I_0}{P_{N+1}} \geq \sum_{i=1}^{N+1} \frac{1}{\Gamma_i + 1} = 1 - \frac{N_t W + I_0}{P_N} + \frac{1}{\Gamma_{N+1} + 1} \tag{7}$$

上式可进一步写作

$$\frac{N_t W + I_0}{P_{N+1}} \leq \frac{N_t W + I_0}{P_N} - \frac{1}{\Gamma_{N+1} + 1} \tag{8}$$

在实际系统中，我们能够得到的是基站接收总功率对热噪声的归一化值 $P_N/(N_t W)$，并以此来表征反向负荷的大小，令 $\rho = N_t W/(N_t W + I_0)$，是预测的修正因子，它的大小由周围小区用户的干扰所决定，在实际系统中，可以根据周围小区基站接收的总功率来估计，变化范围在 0.5~1 之间。因此重写 (8) 式，我们可以得到小区反向负荷的预测公式：

$$\frac{P_{N+1}}{N_t W} \geq \frac{P_N}{N_t W} \Big/ \left(1 - \frac{P_N}{N_t W} \cdot \frac{1}{\Gamma_{N+1} + 1} \cdot \rho\right) \tag{9}$$

3 多小区的干扰约束

在蜂窝系统中，小区中的所有用户对周围其他小区用户的解调器产生干扰，这个干扰的大小由用户在小区中的位置所决定 [4]。基于上一节的预测方法，我们可以预测在本小区接入数据业务后对邻近小区负荷的影响。本小区记为 A 小区，相邻的小区中选取一个记为 B 小区，以

B 小区为研究对象. 假设 A 小区内有 N 个用户, B 小区有 M 个用户, 在理想功控情况下, 系统处于稳定状态. 当 A 小区有第 $N+1$ 个用户接入时, 它对 B 小区造成干扰, 干扰的大小由这个用户到 B 小区基站的距离 d_B 决定.

设第 $N+1$ 个用户到达 A 小区基站的功率为 S, 那么 B 小区基站接收到 A 小区第 $N+1$ 个用户造成的干扰功率为 $I_{A(N+1)}=(d_B/d_A)^{-\gamma}10^{(\xi_A-\xi_B)/10}\cdot S$, 其中 γ 为路径损耗, 典型值为 2.7 ~ 5.0, ξ_A, ξ_B 为遮挡引起的分贝损耗, 均值为 0, 标准方差为 8dB[5]. 令 $\mu=(d_B/d_A)^{-\gamma}10^{(\xi_A-\xi_B)/10}$, 则此干扰功率为 μS. 与 (4) 式相似, B 小区用户需满足条件:

$$S_{Bi}\geq P'_{BM}\frac{1}{\Gamma_{Bi}+1} \tag{10}$$

其中 S_{Bi} 是与 B 小区基站建立链路的 M 个用户中第 i 个用户到达 B 小区基站的平均功率, $\Gamma_{Bi}=\frac{W/(R_{Bi}\cdot\alpha_{Bi})}{(E_b/N_0)_{Bi}}$ 是该业务的特征因子. $P'_{BM}=N_tW+\sum_{j=1}^{M}S_{Bj}+I_0+\mu S$ 是第 $N+1$ 个用户与 A 小区基站建立服务后, B 小区基站接收到的总功率.

(10) 式对 i 求和, 得到

$$\sum_{i=1}^{M}\frac{1}{\Gamma_{Bi}+1}\leq 1-\frac{N_tW+I_0+\mu S}{P'_{BM}} \tag{11}$$

与 (5) 式比较, B 小区在第 $N+1$ 用户与 A 小区基站建立服务后能够保持稳定, 必须满足下面的条件:

$$1-\frac{N_tW+I_0}{P_{BM}}\leq 1-\frac{N_tW+I_0+\mu S}{P'_{BM}} \tag{12}$$

其中 P_{BM} 为第 $N+1$ 用户未接入 A 小区时 B 小区基站接收到的总功率. 对 (12) 式进行化解, 可以得到下式:

$$\frac{P_{BM}}{N_tW+I_0}+\frac{\mu S}{N_tW+I_0}\cdot\frac{P_{BM}}{N_tW+I_0}\leq\frac{P'_{BM}}{N_tW+I_0} \tag{13}$$

下面我们根据基站接收总功率估计 S 的大小. 假设一个小区正在为 N 个用户提供服务, 当第 $N+1$ 个用户接入后, 由 (4) 式得到

$$S_{N+1}\geq\frac{P_{N+1}}{\Gamma_{N+1}+1} \tag{14}$$

上式中, P_{N+1} 是接入第 $N+1$ 个用户后基站接收到的总功率, 在预测的时候这个值是未知的, 但我们可以用 (9) 式计算它的预测值. 因此, 我们得到 S 的估计值为 $P'_{A(N+1)}/(\Gamma_{A(N+1)}+1)$, 代入 (13) 式, 并引入修正因子 ρ, 可以得到接入高速数据业务后邻近小区负荷的预测公式:

$$\frac{P_{BM}}{N_tW}+\frac{\mu}{\Gamma_{A(N+1)}+1}\cdot\frac{P'_{A(N+1)}}{N_tW}\cdot\frac{P_{BM}}{N_tW}\cdot\rho\leq\frac{P'_{BM}}{N_tW} \tag{15}$$

考虑 μ 与用户位置有关, 可以由手机测得的邻近基站导频强度之比确定或是由移动台定位消息确定. 在 (15) 式中, 只要不等式左边不超过小区正常工作时的门限, 那么, 在第 $N+1$ 个用户和 A 小区基站建立服务后, B 小区受到的干扰不至于使系统不稳定.

4 仿真结果

选择 3 层共 19 个小区为仿真模型, 基站位于各小区的中心, 基站间距离 1000m, 用户在小

区内均匀分布，中心小区为被观察的目标小区．模型的参数选择 cdma2000 1X 系统的参数，扩频带宽 1.23MHz；语音速率 9.6kbps；语音激活因子 2/5；用户移动速度：室内固定，步行 7.2km/h，车载 40km/h，120km/h；分别对应目标 E_b/N_0=6dB，6dB，7dB 和 6.5dB；数据速率从 9.6kbps 到 153.6kbps 变化；数据激活因子为 1；热噪声 $N_tW=-108.1$dBm；取小区距离衰落模型为 [6]

$$L=129.4\text{dB}+35.2\lg(R) \tag{16}$$

R 为移动台距基站距离，加上对数正态分布的阴影衰落 $\lg F$，正态分布的标准差为 8dB．因此衰落为

$$\text{Passloss}=L+\lg F \tag{17}$$

仿真的算法如下：首先固定周围语音用户数为 5，在中心小区接入 5，15，25，35 个语音用户并在功率控制稳定后得到当前负荷．而后在中心小区接入速率从 9.6kbps — 153.6kbps 变化的数据业务，得到接入某一速率数据业务后总功率 / 背景噪声的变化值；在上述仿真的基础上，改变周围小区用户数，改变数据业务用户的移动速度，连续和同时接入数据业务，观察在不同情况下，反向负荷预测的效果．

通过仿真，我们得到接入数据业务后，基站反向负荷变化的曲线，以及通过预测方法得到的负荷变化曲线，如图 1～ 图 6 所示．图示中的用户数均指语音用户数．

从图 1 至图 3 的仿真结果可以看到，在周围小区和本小区的负荷均不同的条件下，根据理论预测的接入数据业务后小区总接收功率 / 热噪声的变化均与仿真得到的结果相符合．在图 4 中，数据用户处于室内、步行，以及以 40km/h，120km/h 移动的情况下，预测结果与仿真结果相吻合，说明上述反向负荷预测的方法与用户移动速度无关．图 5、图 6 的结果表明连续接入或同时接入数据业务，并不影响预测的效果．

图 7 和图 8 分别是在本小区接入不同速率的数据用户时预测周围邻近小区负荷变化的仿真结果．其中，各参数的取值为路径损耗 $\gamma=3.52$，阴影衰落 $\xi_A-\xi_B=0$，修正因子 $\rho=0.78$，数据业务用户距 B 小区基站的距离与 A 小区基站的距离之比分别取 1、5/4、4/3、3/2 和 2/1，数据业务的速率取 153.6kbps 和 76.8kbps．

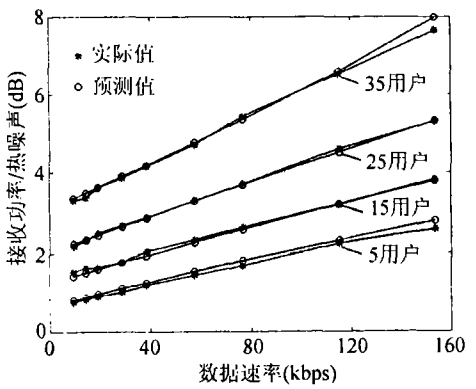

图 1　周围小区用户数 5，本小区用户数 5～35 接入数据业务后负荷变化，修正因子 ρ=1

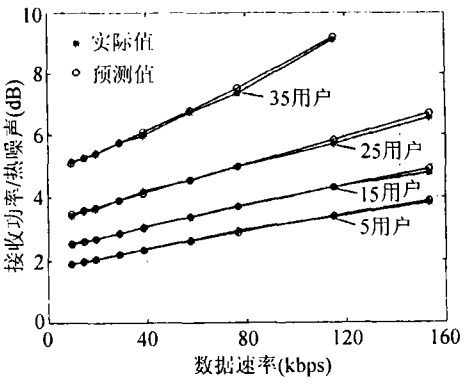

图 2　周围小区用户数 20，本小区用户数 5～35 接入数据业务后负荷变化，修正因子 ρ=0.78

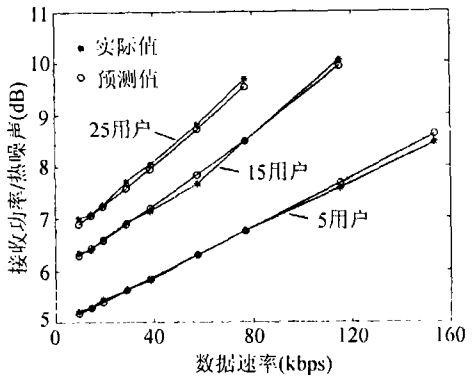

图 3 周围小区用户数 40，本小区用户数 5~25 接入数据业务后负荷变化，修正因子 ρ=0.5

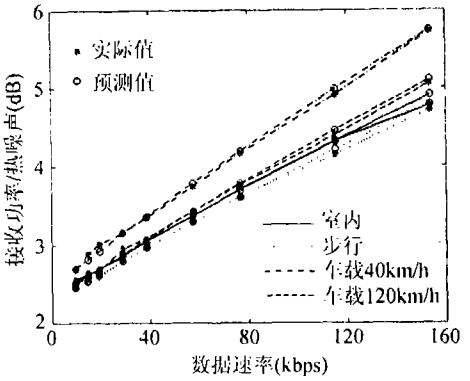

图 4 周围小区用户数 20，本小区用户数 15，ρ=0.78，接入的数据用户移动速度为 0km/h，7.2km/h，40km/h，120km/h

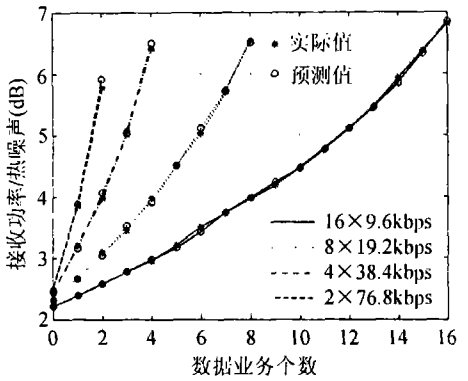

图 5 连续加入用户，周围小区用户数 20，本小区用户 15，ρ=0.78，加入业务为 16 个 9.6kbps，8 个 19.2，4 个 38.4kbps，2 个 76.8kbps

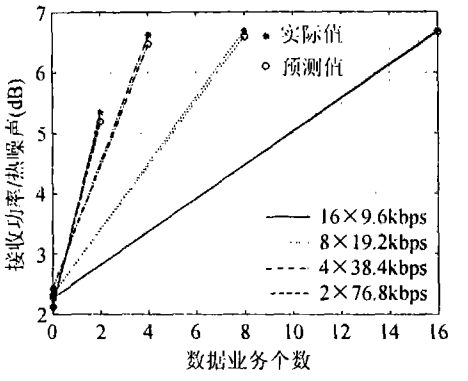

图 6 同时加入用户，周围小区用户数 20，本小区用户 15，ρ=0.78，加入业务为 16 个 9.6kbps，8 个 19.2，4 个 38.4kbps，2 个 76.8kbps

从仿真结果来看，对外小区干扰的预测和对本小区负荷的预测相比，其准确性要差一些，有将近 0.5dB 的误差，因为在这种情况下外小区负荷的增加，除了接入的数据用户的影响外，还有其它小区综合的影响。

5 结 论

本文提出了一种在多业务 CDMA 移动通信系统中预测小区反向负荷的算法。根据该算法，可以在已知当前小区负荷的条件下，当有某种速率、服务质量的业务请求接入时，预测出该业务接入后小区反向负荷的变化，和该业务接入后对邻近小区产生的影响。

仿真表明，该算法的理论分析和仿真结果相吻合，在业务种类繁多、速率变化较大的第三代移动通信系统中，该算法有很高的实用价值。

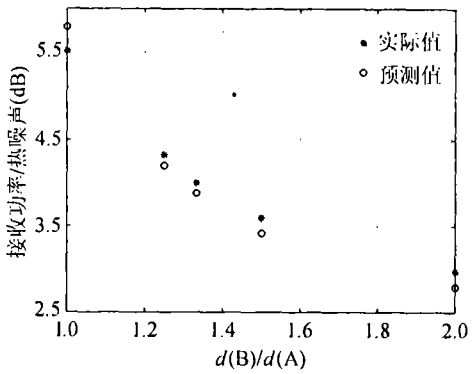

图 7　本小区接入 153.6kbps 数据业务，造成周围小区负荷变化的预测

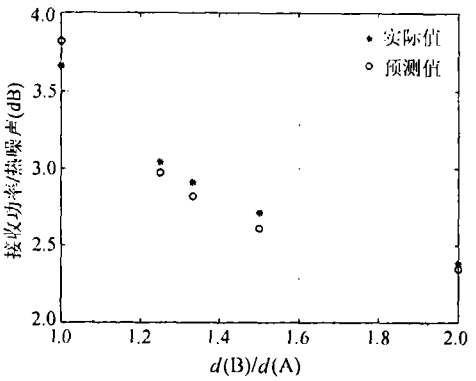

图 8　本小区接入 76.8kbps 数据业务，造成周围小区负荷变化的预测

参 考 文 献

[1] A. J. Viterbi, Principles of Spread Spectrum Communication, Reading, Massachusetts, Addision-Wesley Publishing Company, 1995, 173–188.

[2] Sungmoon M. Shin, Cheolhye Cho, Dan Keun Sung, Interference-based channel assignment for DS-CDMA cellular system, IEEE Trans. on Veh. Tech., 1999, 48(1), 233–239.

[3] A. J. Viterbi, Other-cell interference in cellular power-controlled CDMA, IEEE Trans. on Comm., 1994, 42(2/3/4), 1501–1504.

[4] Douglas N. Knisely, Sarath Kumar, Subhasis Laha, Sanjiv Nanda, Evolution of wireless data services: IS-95 to cdma2000, IEEE Comm. Magazine, 1998, 36(10), 140–149.

[5] T. S. Rappaport, Wireless Communications Principles & Practice, Beijing, Publishing House of Electronics Industry, 1998, 102–110.

[6] J. Lee, L. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Boston, Artech House Publishers, 1998, chapter 2, section 2.

PREDICTION OF REVERSE TRAFFIC LOAD IN MULTIPLE SERVICES CDMA SYSTEMS

Wang Yonggang　Zhu Shihua　Lü Ling

(*Dept. of Info. and Comm., Xi'an Jiaotong University, Xi'an* 710049, *China*)

Abstract　In a Code Division Multiple Access (CDMA) mobile communication system which supports multiple services, such as voice, and data, the variation degree of the cell load after adding a connection is different for the services with different data rates and quality of service (QoS) requirements. Hence the cell load must be constrained to preserve the system stability. This paper presents a method for forecasting the increment of the cell reverse load after adding a new connection of a pre-defined service type. The method is then exemplified by applying it to predict the reverse load in a typical system. The results are further validated by computer simulation.

Key words　CDMA, Multi-service, Load prediction, Mobile communication

汪勇刚：　男，1975 年生，博士，研究领域为第三代移动通信系统的无线资源管理、信道分配等.
朱世华：　男，1950 年生，教授，博士生导师，长期从事数字通信系统、移动通信和个人通信系统的研究工作.
吕　玲：　女，1975 年生，博士，研究领域为第三代移动通信系统的功率控制、容量等.