

多业务 CDMA 系统中的前向功率预测¹

汪勇刚 朱世华 吕 玲

(西安交通大学电信学院信息与通信工程系 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和服务质量各不相同, 小区基站的前向发射功率在接入业务后, 变化的程度也各不相同。故为了保证系统的稳定性, 必须对系统的前向发射功率进行限制。该文提出了一种在多业务、多速率环境下, CDMA 系统接入新业务后前向功率增量的预测方法; 运用该方法预测了小区的前向发射功率, 并与仿真结果进行了比较。

关键词 码分多址, 多业务, 功率预测, 移动通信
中图分类号 TN929.5, TN914.4

1 引 言

在移动通信中, 由于无线频谱资源的限制, 一个系统能够容纳的通信者的数量是有极限的。因此, 在发生超过该容量的通信需求时, 系统便拒绝提供服务, 发生所谓的呼损。在以往的固定配置无线信道的频分多址 (FDMA) 和时分多址 (TDMA) 系统中, 一个无线基站能够同时通信的移动站数由该基站中配置的无线信道数所限定, 在发生超过该无线信道数的通信要求时, 即出现呼损。

另一方面, 码分多址 (CDMA) 是各用户使用不同的扩频码而共用同一无线频带的方式。在这种 CDMA 系统中, 正在使用同一频带的其它通信完全可能变为干扰。例如在第三代移动通信标准空中接口之一 WCDMA 的二级扩频体制下, 大多数其它通信用户将成为干扰源。因此无论用户在通信中使用哪种扩频码, 均按干扰的总量决定通信质量^[1]。

在第三代移动通信系统中, 预计宽带业务 (数据、图象、视频) 将占总业务的 30% 以上。而且, 数据业务将多集中在前向链路上, 造成了前向和反向业务的不对称。当前向链路中出现大量数据业务时, 前向链路的负荷会先于反向链路超过容量极限。在 CDMA 移动通信系统中, 前向容量主要受限于前向发射总功率。前向信道的负荷同当前基站一个导频所属信道的总发射功率与最大发射功率之比密切相关。

随着小区用户的接入, 小区的前向发射功率呈非线性增长。尤其在数据业务接入时, 该用户的发射功率会造成本小区和邻近小区功率的同步提升。为了保证系统的稳定性, 必须对基站的前向发射功率进行限制。在可变速率扩频的 CDMA 系统中, 分配给数据业务的发射功率与它的速率及服务质量 (QoS) 要求有关: 速率高的数据用户会请求分配比语音用户高几倍甚至几十倍的功率。因此, 需要预测接入用户后基站的总发射功率, 以保证前向负荷限制在系统稳定运行容许的范围之内。

本文提出了一种在多业务、多速率环境下, 预测 CDMA 系统接入新业务后前向发射功率变化的方法。首先, 对多业务 CDMA 系统的小区前向链路模型进行了分析, 并给出了前向发射功率的预测方法, 和通过该方法得到的增量上下限; 其次, 给出了小区前向链路的仿真模型, 与在不同负荷下用该方法预测的基站前向发射功率, 及各相应仿真结果的分析比较; 最后是结论, 说明了该方法的实用价值。

¹ 2001-05-18 收到, 2001-12-13 定稿
国家自然科学基金 (60072040) 资助

2 前向发射功率的预测

假定用户 i 与基站 1 连接, 收到的干扰信号来自其它 $J-1$ 个基站. 令基站 j 的发射功率为 P_j , P_j 中包括开销信道 (导频、同步、寻呼、公用控制等公共信道) 和业务信道的发射功率, 其中, 基站 1 分配给用户 i 的发射功率为 P_{1i} . 此外, 令基站 j 到达用户 i 的路径损耗为 G_{ji} . 于是, 对背景噪声功率谱密度 N_t , 带宽 W , 用户数据速率 R_i , 第 i 用户的比特能量与干扰密度之比将是

$$E_{ib}/N_0 = \frac{P_{1i}G_{1i}/R_i}{\sum_{j=1}^J P_j G_{ji}/W - P_{1i}G_{1i}/W + N_t} \quad (1)$$

假设当 E_{ib}/N_0 大于第 i 个业务所规定的门限 $(E_b/N_0)_i$ 时, 服务质量才能保证, 即

$$\frac{P_{1i}G_{1i}/R_i}{\sum_{j=1}^J P_j G_{ji}/W - P_{1i}G_{1i}/W + N_t} \geq (E_b/N_0)_i \quad (2)$$

通常, 背景噪声 (主要是热噪声) 与从所有基站收到的总信号功率 (包括所有用户的信号) 相比是可忽略的, 因此我们可以在式中去掉 N_t 项^[1]. 在 (2) 式中取等号, 可求得

$$P_{1i} = \frac{1}{\Gamma_i + 1} \left(P_1 + \sum_{j=2}^J P_j \frac{G_{ji}}{G_{1i}} \right) \quad (3)$$

其中 $\Gamma_i = (W/R_i)/(E_b/N_0)_i$ 是业务的特征因子, 只与业务相关, 由业务类型, 业务速率和服务质量决定.

理想情况下, 若同小区的所有用户是相互正交的, 它们就不会相互干扰. 但在实际中, 由于多径传播的影响, 同小区中的用户难以保证始终正交. 可以假定, 由于存在一定的正交性, 同小区干扰被降低了一个因子 $h < 1$. 因此, (3) 式在引入正交化因子 h 后, 即为

$$P_{1i} = \frac{1}{\Gamma_i + h} \left(hP_1 + \sum_{j=2}^J P_j \frac{G_{ji}}{G_{1i}} \right) \quad (4)$$

假设小区 1 已经和 N 个用户建立了连接. 当有第 $N+1$ 个用户请求接入, 并且前向有足够的功率提供给该业务. 那么接入第 $N+1$ 个用户后, 经过功控调整和稳定, 各基站的发射功率变为

$$P'_j = P_j(1 + \Delta_j) \quad (5)$$

其中 Δ_j 为功率的增量. 此时分配给第 i 个用户的发射功率为

$$P'_{1i} = \frac{1}{\Gamma_i + h} \left[hP_1(1 + \Delta_1) + \sum_{j=2}^J P_j \frac{G_{ji}}{G_{1i}}(1 + \Delta_j) \right] \quad (6)$$

第 $N+1$ 个用户的发射功率为

$$P'_{1(N+1)} = \frac{1}{\Gamma_i + h} \left[hP_1(1 + \Delta_1) + \sum_{j=2}^J P_j \frac{G_{j(N+1)}}{G_{1(N+1)}}(1 + \Delta_j) \right] \quad (7)$$

而基站 1 的总发射功率增量为 $P_1 \Delta_1$ ，它包括前 N 个用户发射功率的增量和第 $N+1$ 个用户的全部发射功率。该总增量可由下式计算:

$$\begin{aligned} P_1 \Delta_1 &= \sum_{i=1}^N (P'_{1i} - P_{1i}) + P'_{1(N+1)} \\ &= \sum_{i=1}^N \left[\frac{1}{\Gamma_i + h} \left(h P_1 \Delta_1 + \sum_{j=2}^J P_j \frac{G_{ji}}{G_{1i}} \Delta_j \right) \right] + P'_{1(N+1)} \\ &= \sum_{i=1}^{N+1} \left[\frac{1}{\Gamma_i + h} \left(h P_1 \Delta_1 + \sum_{j=2}^J P_j \frac{G_{ji}}{G_{1i}} \Delta_j \right) \right] + P_{1(N+1)} \end{aligned} \quad (8)$$

这里

$$P_{1(N+1)} = \frac{1}{\Gamma_{N+1} + h} \left(h P_1 + \sum_{j=2}^J P_j \frac{G_{j(N+1)}}{G_{1(N+1)}} \right) \quad (9)$$

是第 $N+1$ 个用户在请求接入时, 基站根据当前移动台上报的干扰功率 $I_{0_{1(N+1)}}$, 前向链路损耗 $G_{1(N+1)}$ 以及业务要求满足的比特能量与噪声密度之比 $(E_b/N_0)_{N+1}$, 估计出的移动台初始发射功率, 即

$$P_{1(N+1)} = I_{0_{1(N+1)}} \left/ \frac{G_{1(N+1)}(W/R_{N+1})}{(E_b/N_0)_{N+1}} \right. \quad (10)$$

将 (8) 式两边同除以 $P_1 \Delta_1$, 得到

$$1 = \sum_{i=1}^{N+1} \left[\frac{1}{\Gamma_i + h} \left(h + \sum_{j=2}^J \frac{G_{ji}}{G_{1i}} \frac{P_j \Delta_j}{P_1 \Delta_1} \right) \right] + \frac{P_{1(N+1)}}{P_1 \Delta_1} \quad (11)$$

为了从上式中求解 $P_1 \Delta_1$, 我们做一些简化处理。观察 (6) 式, 在两边同除以 $P_1(1 + \Delta_1)$ 后, (6) 式化为

$$\frac{P'_{1i}}{P_1(1 + \Delta_1)} = \frac{1}{\Gamma_i + h} \left(h + \sum_{j=2}^J \frac{G_{ji}}{G_{1i}} \frac{P_j(1 + \Delta_j)}{P_1(1 + \Delta_1)} \right) \quad (12)$$

现在, 我们假定所有基站功率的上升百分比近似相等, 即 $\Delta_j \approx \Delta_1$ 。(在实际中, 周围基站功率的上升幅度要小于目标基站功率的上升幅度, 在后面的分析中将看到, 做了这样假定后, 估计的目标基站发射功率的上升值要略大于实际值。)因此, (11) 式中的 Δ_j/Δ_1 可以用 $(1 + \Delta_j)/(1 + \Delta_1)$ 代替。再将 (12) 式代入, 可以得到

$$1 = \sum_{i=1}^{N+1} \frac{P'_{1i}}{P_1(1 + \Delta_1)} + \frac{P_{1(N+1)}}{P_1 \Delta_1} \quad (13)$$

上式可以写为另外一种形式:

$$P_1 \Delta_1 = P_{1(N+1)} \left/ \left(1 - \sum_{i=1}^{N+1} \frac{P'_{1i}}{P_1(1 + \Delta_1)} \right) \right. \quad (14)$$

式子中的 $1 - \sum_{i=1}^{N+1} \frac{P'_{1i}}{P_1(1+\Delta_1)}$ 是基站 1 接入第 $N+1$ 个用户后, 开销信道的发射功率占总发射功率的比例。可以认为在接入新用户前后它的值保持不变, 即

$$1 - \sum_{i=1}^{N+1} \frac{P'_{1i}}{P_1(1+\Delta_1)} = 1 - \sum_{i=1}^N \frac{P_{1i}}{P_1} \quad (15)$$

于是, 估计的基站 1 的总发射功率增量 $P_1\Delta_1$ 为

$$P_1\Delta_1 = P_{1(N+1)} \left/ \left(1 - \sum_{i=1}^N \frac{P_{1i}}{P_1} \right) \right. \quad (16)$$

由于假定 $\Delta_j \approx \Delta_1$, (16) 式中的分母要比实际值略小些, 导致估计的基站 1 的总发射功率增量要比实际值略大些。

由 (16) 式得到的是预测基站 1 的总发射功率增量 $P_1\Delta_1$ 的上限, 如果在 (11) 式中假定周围基站功率的上升百分比 $\Delta_j = 0, j \neq 1$, 则可以预测基站 1 的总发射功率增量 $P_1\Delta_1$ 的下限, 即

$$P_1\Delta_1 = P_{1(N+1)} \left/ \left(1 - h \sum_{i=1}^{N+1} \frac{1}{\Gamma_i + h} \right) \right. \quad (17)$$

可以看到, 由于假定 $\Delta_j = 0, j \neq 1$, (17) 式中的分母要比实际值略大, 导致估计的基站 1 总发射功率增量比实际值略小。联立 (16) 式和 (17) 式, 可以得到基站 1 的总发射功率增量的预测值 $P_1\Delta_1$ 的上下限:

$$\left. \begin{aligned} P_1\hat{\Delta}_1 \Big|_{\text{upper}} &= P_{1(N+1)} \left/ \left(1 - \sum_{i=1}^N \frac{P_{1i}}{P_1} \right) \right. \\ P_1\hat{\Delta}_1 \Big|_{\text{lower}} &= P_{1(N+1)} \left/ \left(1 - h \sum_{i=1}^{N+1} \frac{1}{\Gamma_i + h} \right) \right. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

3 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 center。小区内不分扇区, 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^[2,3]: 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 $E_b/N_0=6\text{dB}$, 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; 正交化因子 $h = 0.16$ ^[3]; 热噪声 $N_f W = -108.1\text{dBm}$; 取小区距离衰落模型为^[4]

$$L = 40 \times (1 - 4 \times 10^{-3\text{Dhb}}) \lg(R) - 18 \lg(\text{Dhb}) + 21 \lg(f) + 80\text{dB} \quad (19)$$

取天线高度高于平均建筑物屋顶 15m, 即 $\text{Dhb}=15$, $f=2000\text{MHz}$, 则上式可求得为

$$L = 128.1\text{dB} + 37.6 \lg(R) \quad (20)$$

加上对数正态分布的阴影衰落 $\lg F^{[5]}$, 正态分布的标准差为 8dB 。因此路径损耗为

$$PL = L + \lg F \tag{21}$$

通过仿真, 我们可以得到接入数据业务后, 基站前向发射总功率变化的曲线, 以及通过预测方法得到的功率变化曲线, 如图 1- 图 6 所示。图中的横坐标是指占基站最大发射功率的百分数。如不加说明, 图中的用户数均指语音用户数。

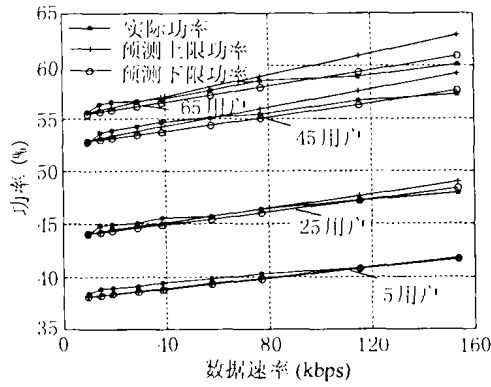


图 1 周围小区用户数 10, 本小区用户数 5, 25, 45, 65, 数据速率从 9.6-153.6kbps

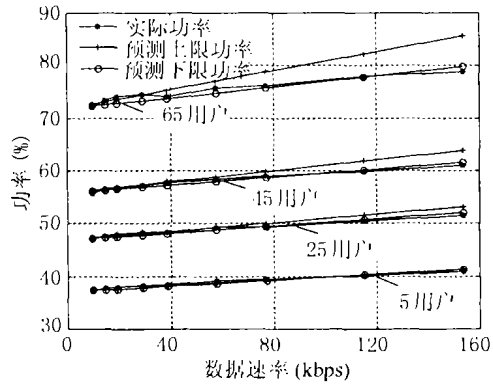


图 2 周围小区用户数 40, 本小区用户数 5, 25, 45, 65, 数据速率从 9.6-153.6kbps

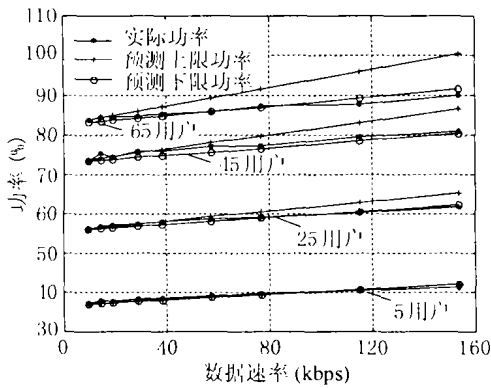


图 3 周围小区用户数 70, 本小区用户数 5, 25, 45, 65, 数据速率从 9.6-153.6kbps

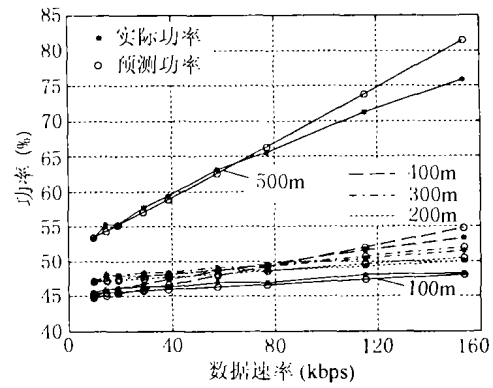


图 4 数据用户距基站不同, 周围小区用户数 40, 本小区用户数 25, 数据业务距基站距离 100m, 200m, 300m, 400m, 500m

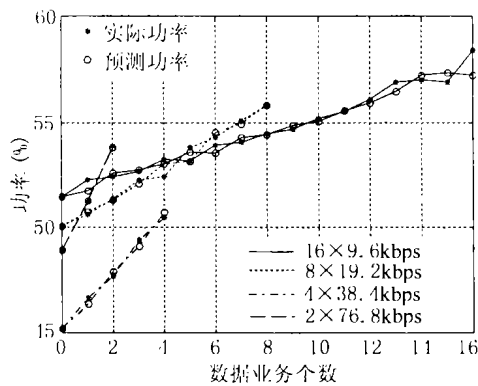


图 5 连续加入数据用户, 周围小区用户数 40
本小区用户数 25, 业务为 16 个 9.6kbps、8 个
19.2kbps、4 个 38.4kbps、2 个 76.8kbps 业务

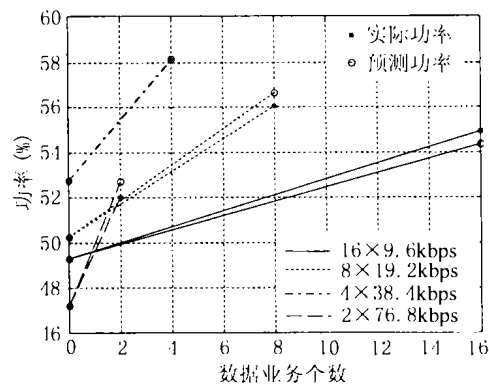


图 6 同时加入数据用户, 周围小区用户数 40
本小区用户数 25, 业务为 16 个 9.6kbps、8 个
19.2kbps、4 个 38.4kbps、2 个 76.8kbps 业务

从图 1 至图 3 的仿真结果可以看到, 在外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基站前向发射功率的变化与仿真得到的结果十分相近。当数据业务速率小于 60kbps 时, 仿真结果接近于预测上限; 当大于 60kbps 时, 结果接近于预测下限。本小区负荷、外围小区负荷的变化对预测下限与实际值之间的误差没有影响, 但预测上限与实际值之间的误差会随着小区负荷的增加而增加。在图 4—图 6 中, 我们只画出了预测下限和仿真结果的比较。图 4 中, 数据用户距基站 100m 至 400m 的时候, 预测结果都与仿真结果相吻合, 而在距基站 500m, 业务速率大于 100kbps 时, 偏差比较大, 原因是处在小区边缘的高速数据业务, 受其它小区的影响比较大。需要说明的是, 除图 4 外其它的仿真中加入的数据用户都距基站 300m 并固定不动。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, 这非常符合实际的要求, 因为在通信系统中, 话务量忙时总是会连续地有用户请求接入, 或在同一时刻到达几个用户。

进一步的仿真结果表明, 在 3X 系统中的预测结果与实际结果同样符合得很好, 说明该前向功率预测的方法适用于更高的频带 (如 3, 6, 9 和 $12 \times 1.25\text{MHz}$)。由于预测方法是根据当前基站发射功率以及已经建立连接的业务的特征因子、请求接入的业务的特征因子、上报干扰、以及链路损耗等来预测接入后基站发射功率的增量, 业务的带宽、速率、QoS 等参数只反映在业务特征因子上。系统的带宽、编解码方式、调制解调方式等都不会影响预测的效果。因此, 该预测方法具有较强的适用性。

4 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前向发射功率的算法。该算法充分考虑了由于新用户接入后, 发射功率的增加所造成的本小区其它用户分配功率的增量, 以及由于本基站发射功率增加而造成周围邻近基站功率的同步增加, 避免了因新用户的接入而导致前向发射功率超过系统可容许的范围。当为了保证系统的稳定性, 小区能正常工作的前向功率被限定时, 可以根据该算法进行功率预测和呼叫准入控制, 或计算出不超过系统限定功率的可接入的业务最高速率。

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, 该算法有较高的实用价值。

参 考 文 献

- [1] A. J. Viterbi, Principles of Spread Spectrum Communication, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1995, 173-188.
- [2] D. N. Knisely, S. Kumar, S. Laha, S. Nanda, Evolution of wireless data services: IS-95 to cdma2000, IEEE Comm. Magazine, 1998, 36(10), 140-149.
- [3] V. K. Garg, IS-95 CDMA and cdma2000: Cellular/PCS System Implementation, Qualcomm, 1999.
- [4] J. Lee, L. Miller, CDMA Systems Engineering Handbook, Boston: Artech House Publishers, 1998. Chap.2.
- [5] T. S. Rappaport, Wireless Communications Principles & Practice, Blacksburg, Virginia, Prentice Hall, Inc., 1996, 102-110.

PREDICTION OF FORWARD TRANSMIT POWER IN
MULTIPLE SERVICES CDMA SYSTEMS

Wang Yonggang Zhu Shihua Lü Ling

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

Abstract In a Code Division Multiple Access (CDMA) mobile communication system which supports integrated services, such as voice, data, and images, the variations of the forward transmit power of a base station after adding new connections are different for the services having different data rates and Quality of Service (QoS) requirements. Hence the forward transmit power must be constrained to preserve the system stability. This paper presents a method for forecasting the forward transmit power after adding a new connection of a pre-defined service type. The method is then exemplified by applying it to predict the forward transmit power in a typical system. The results are further validated by computer simulation.

Key words CDMA, Multiple services, Power prediction, Mobile communications

汪勇刚: 男, 1975 年生, 博士生, 研究领域为第三代移动通信系统的无线资源管理、信道管理等.

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, 博士生, 研究领域为第三代移动通信系统的功率控制、容量等.