

综合业务的 CDMA 系统在不同无线环境下的容量分析¹

王 焱 程时昕

(东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210096)

摘 要 个人通信和移动计算的发展促进了将综合业务引入移动通信中。CDMA 系统是适合于传输综合业务的系统。本文首先给出了一种业务接入控制算法,并在此算法下,对综合业务的 CDMA 系统的容量做一简要分析。为满足不同业务的 QoS (Quality of Service) 要求,对于不同的业务在传输时给予不同的功率。为克服速率较高的业务需要较大功率的问题,对速率较高的业务给予较宽的传输带宽。不同的业务在同一频段中传输。最后,依据 CODIT (COde DIvision Testbed) 提供的测试数据,给出了不同业务在不同无线环境下的容量。

关键词 码分多址接入, 综合业务, 移动通信

中图分类号 TN929.5, TN913.2

1 引 言

第一代模拟及第二代数字移动通信的主要业务为话音业务及有限的数据业务。随着移动用户的迅速增加以及固定通信网向 ISDN 过渡,人们迫切需要移动通信网向综合业务网靠拢。未来的通用移动通信系统 (UMTS) 及未来公用陆地移动通信系统 (FPLMTS) 正是反映了这一趋势的第三代移动通信系统。这些系统所提供的业务,除了导航、定位等业务外,其它业务主要是固定公用通信的窄带 ISDN 业务的无线扩展。人们希望第三代移动通信系统的 QoS (Quality of Service) 与当前的 ISDN 的 QoS 类似^[1]。在无线环境下,可用的带宽资源比有线环境窄,同时传输环境也更恶劣。为了满足网络经营者及用户的要求,需要有效地利用带宽资源的同时对不同需求的用户提供高质量的服务。

本文简要分析了综合业务 CDMA 系统在不同无线环境下的容量。给出了一种业务接入控制算法,并对整个系统做了一个简要的描述。在前面给出的接入算法的基础上,对综合业务的接入做了分析。依据分析结果及 CODIT (COde DIvision Testbed) 测试数据给出了不同无线环境下综合业务接入的容量的计算结果。

2 系统描述

将一无线小区看作一星型网络,基站为其中中心节点。在小区内分散的话音、数据、图象等业务通过一公用的无线信道与基站相连。我们的研究集中在终端到基站的上行链路的传输上。

2.1 源模型

每个用户看作一个两种状态的马氏链。当第 i 个用户在状态 0 (即 OFF 态) 时,则不产生新的业务。若处于状态 1 (即 ON 态) 时,则产生一个固定速率的业务。用户在每个状态的停留时间服从指数分布。

¹ 1996-05-28 收到, 1997-03-10 定稿

2.2 呼叫接入控制

一个想建立连接的用户发送一个连接请求信息至基站, 该信息携带有其 QoS 要求。每个基站存储有一个将 QoS 信息映射为“虚带宽”的表, 该表事先通过分析或模拟得到。基站通过查表, 找到对应于用户请求的“虚带宽”, 基站通过一定的方法(见后)检查能否接收此呼叫。若能接受, 基站回送一个接受建立信息, 此时呼叫被接纳。若不能被接受, 回送一个拒绝接受信息, 此时呼叫被拒绝。

呼叫被接纳后, 业务通过分配给它的物理信道传输。

3 综合业务的 CDMA 系统

3.1 单业务情况

我们知道, 在异步 CDMA 系统中, 若扩频系数为 F , 有 $k+1$ 个用户正在传输, 则在理想功率控制下, 信号/多址接入干扰比可由 $[3F/k]^{1/2}$ [2] 近似估计。

若我们定义 QoS 为所需的 SIR(Signal Interference Ratio) 时, 若一个用户需要 5dB 的 SIR 以达到可接受的误比特率, 则由式 $20 \log[3F/k]^{1/2} \geq 5$ 可得, 系统能同时支持 $k \leq F$ 个用户传输。

3.2 多业务情况

在多业务传输中, 不同的业务有不同的速率, 而且其 QoS 要求也不一样。为了满足不同速率不同 QoS 用户的要求, 文献 [2] 提出了 VSG(Variable Spreading Gain)-CDMA 系统:

- (1) 同样 QoS 不同速率的用户, 其功率与速率成正比。
- (2) 同样速率不同 QoS 的用户, 其功率与 QoS 需求成正比。

上述 CDMA 系统提供了一种综合业务接入 CDMA 系统的方法。但我们应看到, 这种方法对高速业务来说, 因其所用带宽与低速业务相同, 随着数据率的增加, 其扩频系数变小, 为满足其 QoS 要求, 必须将功率提高, 这必然对其他用户造成影响, 并降低了系统的容量。解决这一问题的一种方法是给高速业务分配更宽的带宽。

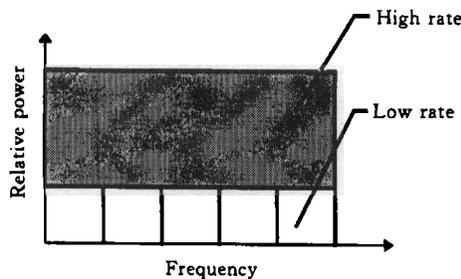


图 1 谱分配与利用

事实上, 低速业务与高速业务还在同一频段传输, 而不是分别占用不同的频段。此时高速业务在宽频带内传输, 其扩频系数增加, 其功率要求降低了, 而低速业务在窄频带内传输, 此时对低速业务来说相当于 CDMA/FDM。图 1 画出了本文所用的一种一个网络提供两种带宽的情况。

考虑不同类型的用户, 第 i 类用户速率为 r_i , 其业务质量为 QoS_i , 其传输带宽为 B_i 。我们定义 QoS 为所需的 SIR。设对所有的 i 来说, 皆满足下式

$$r_1 QoS_1 \leq r_i QoS_i, \quad B_1 \leq B_i. \quad (1)$$

设: $F = B_1/r_1$, 其中 B_1 为传输第一类业务的带宽, r_1 为第一类业务的传输速率. 若第一类用户所需的 SIR 为 $SIR_1(\text{dB})$, 则由下式²:

$$20 \log[3F/k_1]^{1/2} \geq SIR_1, \quad (2)$$

$$k_1 \leq 3F/(10^{SIR_1/10}), \quad (3)$$

知系统可以支持的最多的第一类用户数为

$$k_1 = (B_{\text{total}}/B_1) \times (3F/10^{SIR_1/10}), \quad (4)$$

其中 B_{total} 为整个系统总的传输带宽. 从前面的假设我们知道, 一类用户的传输功率与其速率及 QoS 有关. 若第 i 类用户带宽与第一类用户相同, 则其传输功率为第一类用户的 $r_i QoS_i / (r_1 QoS_1)$ 倍. 若第 i 类用户传输带宽与第一类用户不同, 则其传输功率为第一类用户的 $r_i QoS_i B_1 / (r_1 QoS_1 B_1)$ 倍. 系统的瞬时容量为

$$\sum_i \frac{B_i}{B_1} \times \frac{r_i QoS_i B_1}{r_1 QoS_1 B_1} \times k_i \leq \frac{B_{\text{total}}}{B_1} \times \frac{3F}{10^{SIR_1/10}},$$

即为

$$\sum_i \frac{r_i QoS_i}{r_1 QoS_1} \times k_i \leq \frac{B_{\text{total}}}{B_1} \times \frac{3F}{10^{SIR_1/10}}, \quad (5)$$

其中 k_i 为同时传输第 i 类业务的用户数. 若第 i 种业务的业务激活因子为 SAF_i , 则系统长期容量为

$$\sum_i SAF_i \frac{r_i QoS_i}{r_1 QoS_1} \times N_i \leq \frac{B_{\text{total}}}{B_1} \times \frac{3F}{10^{SIR_1/10}} \quad (6)$$

其中 N_i 代表第 i 种业务数.

由前面的算法可知, 基站接收到一个呼叫请求, 检查 (5)、(6) 式是否满足. 若满足, 则接受该业务, 若不满足, 则拒绝该业务. 为了分析方便, 我们假定所有到达业务不被接受, 则被拒绝. 每种业务的用户数为无穷多. 假定每种业务的到达过程为泊松分布, 到达率为 λ_i 呼叫/秒, 服务时间为指数分布, 均值为 $1/\mu_i$ 秒/呼叫, 定义 k_i^j 为小区内激活的第 i 类用户数为 j , 则

$$\begin{aligned} P_{k_i^j} &= P_r(\text{小区内激活的第 } i \text{ 类用户数为 } j) \\ &= \frac{(\lambda_i/\mu_i)^j}{j!} e^{-\lambda_i/\mu_i}. \end{aligned} \quad (7)$$

由 (6)、(7) 式可以得到每种业务的阻塞概率 P_{blocking} . 由于业务较多, 要得到其具体的表达式比较困难, 下面我们仅就两种业务的最简单的情况做一分析. 为简化表达式, 令 $SAF_2 \frac{r_2 QoS_2}{r_1 QoS_1} =$

α_2 , $SAF_1 = \alpha_1$, $\frac{B_{\text{total}}}{B_1} \cdot \frac{3F}{10^{SIR_1/10}} = c$, 则 6 式变为

² 事实上, 用 (2) 式估计的精度并不重要, 它仅用来反映一种 F 与 k 的关系

$$\alpha_1 N_1 + \alpha_2 N_2 \leq c \quad (8)$$

对业务 1 来说, 当 $N_2 = 0$ 时, $N_1 \geq \lfloor (c/\alpha_1) \rfloor$ 时阻塞 ($\lfloor x \rfloor$ 表示不大于 x 的最大整数); 当 $N_2 = 1$ 时, $N_1 \geq \lfloor (c - \alpha_2)/\alpha_1 \rfloor$ 时阻塞, 依此类推, 可得第一类用户的阻塞概率为

$$P_{\text{blocking}}^1 = \sum_{i=0}^{\lfloor (c/\alpha_2) \rfloor} \Pr(N_2 = i) \cdot \Pr(N_1 \text{ 阻塞} | N_2 = i) + \sum_{i=\lfloor (c/\alpha_2+1) \rfloor} \Pr(N_2 = i), \quad (9)$$

其中 $\Pr(N_2 = i)$, $\Pr(N_1 \text{ 阻塞} | N_2 = i)$ 的概率皆已知, 此时可以求出 P_{blocking}^1 , 同理也可以求出第二类用户的 P_{blocking}^2 .

4 计算结果

CODIT 是欧洲为第三代移动通信设计的一种基于 CDMA 的测试系统, 它于 1995 年 12 月公布了 CDMA 系统的部分测试结果^[3,4], 我们下面引用的结果来自于 CODIT 测试或模拟的结果.

(1) 占用带宽 在 CODIT 中定义了三种 chip 率: 1Mchip/s, 5Mchips, 20Mchips. 其中 CODIT 对前两种 chip 率做了研究, 我们下面的研究采用前两种 chip 率.

(2) 业务类型 CODIT 定义了两种业务类型: 话音业务及数据业务. 为了便于分析, SIG5 提出用 12Kb/s 的固定速率用于分析话音业务的容量, 而数据业务则为 64Kb/s.

(3) 传输环境 第三代移动通信系统应适用于不同的环境, 故 CODIT 提出了宏区、微区、微微区的小区模型及在不同小区的传输模型. 我们所用模型如表 1 所示:

(4) 业务测试环境(见表 2)

(5) 测试结果(见表 3 和表 4)

表 1

环境	模型
宏区	蜂窝小区
微区	每个街道拐弯处有一基站
微微区	每个房间内有一基站

表 2

业务	源比特率	源特性	QoS 门限
话音	12Kbps	SAF _{voice} = 44%	延迟 < 30ms, BER ≤ 10 ⁻³
数据	64Kbps	SAF _{data} = 100%	延迟 < 300ms, BER ≤ 10 ⁻⁶

表 3 话音 (1MHz 频带传输)

	宏区	微区	微微区
话音业务	上行	上行	上行
有 DCCH	11.4dB	12.2dB	11.5dB

表 4 数据 (5MHz 频带传输)

	宏区	微区	微微区
数据业务	上行	上行	上行
有 DCCH	6.3dB	6.6dB	5.7dB

其中, 话音 BER(Bit Error Rate) 的测量是在信道译码之前, 而数据业务 BER 的测量是在信道译码之后. 64Kb/s 的数据业务经过卷积编码和 RS 码后变为 161.6Kb/s. 同时, 对话音业务, 其给出的测试数据为 5MHz 频带内传输的结果, 为了说明前面不同带宽的业务在同一频带内传输, 我们将其折算到 1Mz 频带内. DCCH(Decidated Control CHannel) 为专用控制信道, 主要用作控制信息的传输.

(6) 计算结果 有测试数据及前面的算法及公式, 我们可以计算出不同环境下话音、数据业务的容量.

(a) 宏区 宏区时, (6) 式变为

$$0.44N_1 + 7.44N_2 \leq 90.6 \quad (10)$$

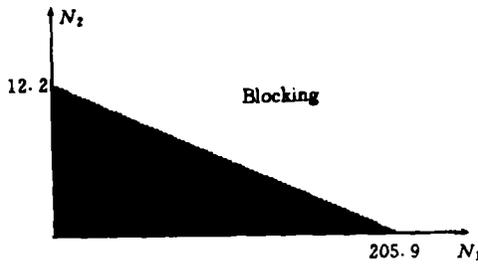


图 2

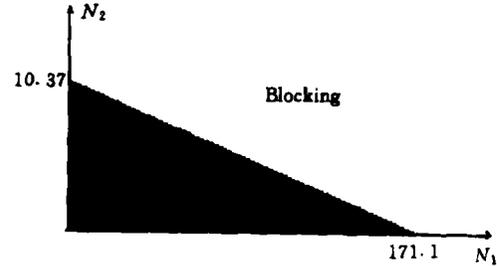


图 3

画出上式的图如图 2。图中阴影部分为呼叫被接纳, 而落在阴影之外的为呼叫被阻塞。故宏区时, 最多可容纳 205 个话音用户或最多容纳 12 个数据用户。

由 (9) 式可得

$$P_{\text{blocking}}^{\text{voice}} = \sum_{i=0}^{12} \Pr(N_2 = i) \cdot \Pr(N_1 \text{ 阻塞} | N_2 = i) + \sum_{i=13} \Pr(N_2 = i),$$

$$P_{\text{blocking}}^{\text{data}} = \sum_{i=0}^{205} \Pr(N_1 = i) \cdot \Pr(N_2 \text{ 阻塞} | N_1 = i) + \sum_{i=206} \Pr(N_1 = i).$$

(b) 微区 微区时, (6) 式变为

$$0.44N_1 + 7.28N_2 \leq 75.3 \quad (11)$$

画出上式的图如图 3。图中阴影部分为呼叫被接纳, 而落在阴影之外的为呼叫被阻塞。故微区时, 最多可容纳 171 个话音用户或最多容纳 10 个数据用户。

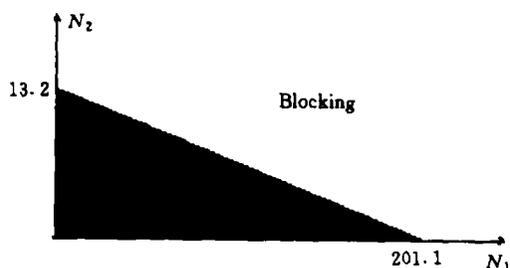
由 (9) 可得

$$P_{\text{blocking}}^{\text{voice}} = \sum_{i=0}^{10} \Pr(N_2 = i) \cdot \Pr(N_1 \text{ 阻塞} | N_2 = i) + \sum_{i=11} \Pr(N_2 = i),$$

$$P_{\text{blocking}}^{\text{data}} = \sum_{i=0}^{171} \Pr(N_1 = i) \cdot \Pr(N_2 \text{ 阻塞} | N_1 = i) + \sum_{i=172} \Pr(N_1 = i).$$

(c) 微微区 微微区时, (6) 式变为

$$0.44N_1 + 6.67N_2 \leq 88.5 \quad (12)$$



画出上式的图如图 4。图中阴影部分为呼叫被接纳，而落在阴影之外的为呼叫被阻塞。故微微区时，最多可容纳 201 个话音用户或最多容纳 13 个数据用户。

图 4

由 (9) 式可得

$$P_{\text{blocking}}^{\text{voice}} = \sum_{i=0}^{13} \Pr(N_2 = i) \cdot \Pr(N_1 \text{ 阻塞} | N_2 = i) + \sum_{i=14} \Pr(N_2 = i),$$

$$P_{\text{blocking}}^{\text{data}} = \sum_{i=0}^{201} \Pr(N_1 = i) \cdot \Pr(N_2 \text{ 阻塞} | N_1 = i) + \sum_{i=202} \Pr(N_1 = i).$$

上述三种环境下语音和数据的阻塞概率曲线见图 5。

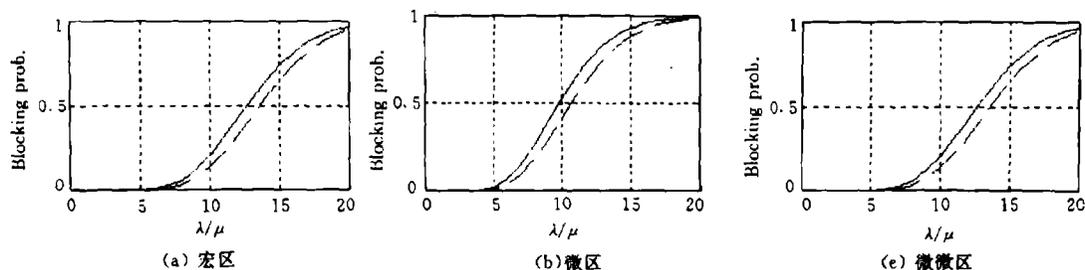


图 5 三种环境下的阻塞概率曲线 (实线代表语音, 虚线代表数据)

由前面三种环境的计算结果看, 在给定的算法下, 宏区容纳的话音用户数最多, 微微区次之, 微区最少; 而对数据业务, 可容纳的用户数微微区最多, 宏区次之, 微区最少。就系统总容量来说, 宏区与微微区差不多, 而微区与前两者相比稍少。而从阻塞概率来说, 宏区和微微区差不多, 而微区的阻塞概率稍大。

参 考 文 献

- [1] Baier A. Design study for a CDMA-based third-generation mobile radio system. IEEE J. of SAC, 1994, SAC-12(4): 733-744.
- [2] Chih-Lin I. Variable spreading gain CDMA with adaptive control for integrated traffic in wireless networks. Proc. VTC'95, Chicago: July, 1995, 907-911.
- [3] Marta Pizarroso, et al. Common basic for evaluation of ATDMA and CODIT system concept. MPLA/TDE/SIG5/DS/P/001/b1 Sep.1995

- [4] Marta Pizarroso, et al. Preliminary evaluation of ATDMA and CODIT system concept. MPLA/TDE/SIG5/DS/P/002/b1 Sep.1995

CAPACITY OF CDMA FOR INTEGRATED TRAFFIC IN DIFFERENT WIRELESS ENVIRONMENT

Wang Yan Cheng Shixin

(*National Communication Research Lab., Southeast University, Nanjing 210096*)

Abstract The developments of personal communication and mobile computing stimulate the introduction of integrated traffics into mobile communication. CDMA is suitable for transmission of integrated traffics. In this paper, an admission control algorithm is introduced. Under this algorithm, the capacity of a CDMA system for integrated traffics is evaluated. Users with different QoS requirements are allocated different power. To solve the problem of higher-rate traffics using higher powers, wider bandwidth to higher-rate traffics is given. All the traffics are transmitted in the same frequency band. Finally, according to the measured data of CODIT, the capacities of different traffics in different environments are derived.

Key words CDMA, Integrated traffic, Mobile communication

王 焱: 男, 1971 年生, 博士生, 目前从事第三代移动通信系统关键技术的研究.

程时昕: 男, 1937 年生, 教授, 博士生导师, 移动通信国家重点实验室主任, 中国通信学会和电子学会会员. 目前研究方向为移动通信与个人通信网理论与实现技术.