

文章序号: 1001-1486 (2000) 03-0025-04

基于单码 CDMA 系统的多级业务的接入控制*

肖登坤, 张尔扬, 唐朝京

(国防科大电子科学与工程学院, 湖南长沙, 410073)

摘要: 基于支持多级业务的单码 CDMA 系统, 本文设计了一种适合于多级业务接入的两层控制方案。借助于该方案, 实时业务用户一旦被接纳就立刻进行通信。而非实时数据用户的通信过程要受到呼叫层和突发层双重的控制。这样, 前者的 QoS 能够得到保证, 而后者则可以充分利用网络暂时闲置的信道容量。

关键词: 单码 CDMA; 多级业务; 接入控制

中图分类号: TN91 **文献标识码:** A

Access Control for Multi-class Services Based on Single-code CDMA Systems

XIAO Deng-kun, ZHANG Er-yang, TANG Chao-jing

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: A new two-level scheme of access control based on a single-code CDMA system supporting multiclass traffic is proposed. By means of this scheme, the users of real-time traffic transmit their packets without incurring further delay once admitted to the system but the access of nonreal-time data users is regulated at both call level and burst level. Thus, the latter may fully utilize the residual channels without degrading the QoS of the former.

Key words: single-code CDMA; multiclass services; access control

基于可变扩频增益的单码 CDMA 系统被认为是实现无线多级业务传输的方式之一^[1]。本文设计了一种适合于多级业务的接入方案。利用该方案, 在任一时刻, 当网络状态变量 (已接纳的各级 RTT 用户数) 已知的情况下, 基站 (BS) 通过查表的方式可得到相应的 NRTD 接入用户数及接入概率。

1 呼叫层接入控制

在所考虑系统中, 要发送业务的用户, 首先通过信令信道向 BS 发出申请。BS 接到申请后, 根据现有资源来决定是否接受, 并将决定经下行信道通知出去。如果接受了 RTT 用户的申请, 就立即为其分配相应的码字, 使之进行通信。如果接受了 NRTD 用户的申请, 则首先让其其在 BS 中排队, 其通信过程要进一步受突发层的接入控制。设所考虑的系统是时隙 (slot) 化的, 时隙长度等于每个包的传递时间。假定所有用户的包尺寸相同, 且呼叫过程都是 Poisson 分布的, 其参数为 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, K)$ 及 λ_d (下标 d 表示 NRTD 用户), 它们的单位是包/时隙。再假定 RTT 用户呼叫持续时间及 NRTD 用户信息的长度均服从几何分布, 其均值分别为 $1/\mu_i$ 和 L 个时隙。

在呼叫层 RTT 用户的接入可采用文献 [2] 建议的方案, 即 BS 为每个 RTT 用户设置了一个接纳上限 M_i^{\max} 。而为 NRTD 用户的呼叫设置了一个最大排队长度为 M_d^{\max} 的缓冲器。当 NRTD 用户发起呼叫时, 如果当前的排队长度小于 M_d^{\max} 则让其加入排队, 否则拒绝。

2 突发层接入控制

2.1 突发层模型

为简化分析, 在突发层假设每个 RTT 用户用一个 on-off 源描述^[3]。用户在 on 状态时以速率 R_i 发送包, 在 off 状态不发送。假设两状态停留的时间都服从几何分布, 其均值分别为 $1/p_{i, \text{on-off}}$ 及

* 收稿日期: 1999-11-30
作者简介: 肖登坤 (1964), 男, 博士生。

$1/p_{i, \text{off-on}}$ 。那么, 处在 on 和 off 两状态的概率分别为 $\pi_{i, \text{on}} = p_{i, \text{off-on}} / (p_{i, \text{on-off}} + p_{i, \text{off-on}})$ 及 $\pi_{i, \text{off}} = p_{i, \text{on-off}} / (p_{i, \text{on-off}} + p_{i, \text{off-on}})$ 。

由于 RTT 用户的 on-off 特性, BS 可以把系统中暂时闲置的信道借给 NRTD 用户。接入控制的目的就是确保后者在借用信道的同时不使前者的 QoS 受影响。在被接纳的数据请求排队中, 仅仅前 M_d 个请求用户 (处于准备态) 被分配码字。被分到码的用户开始以概率 p_{start} 发送包, 发完后退出排队。被接纳的 NRTD 用户的状态转移如图 1, 其中, rs、as 及 cs 分别代表准备、激活和完成三状态。

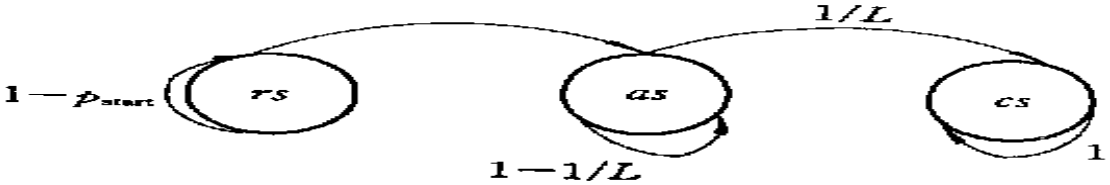


图 1 被接纳的 NRTD 用户的状态转移图

Fig. 1 The state transfer diagram of NRTD

图 1 中, as 到 cs 的转移概率来源于数据包的长度服从均值为 L 的几何分布, 其发送时间也近似服从均值为 $L/1$ 的几何分布的假设。

2.2 接入控制

系统状态由已被接纳到系统的各级 RTT 的用户数组成, 记为: (M_1, M_2, \dots, M_K) 。设该状态持续若干时隙, 若在某时隙 t , 系统中被激活的码字数为

$$f(N_t^1, N_t^2, \dots, N_t^K, N_t^d) = \sum_{i=1}^K N_t^i \cdot 1 + N_t^d \cdot 1 \tag{1}$$

其中 N_t^i 是第 i 级 RTT 在时隙 t 被激活的用户数, N_t^d 是时隙 t 被激活的 NRTD 用户数。如果用 $f(\cdot)$ 代表上式给出的值, 那么, 在时隙 $t + 1$,

$$p_{\text{start}} = \begin{cases} \min \left[1, \frac{T - f(\cdot)}{1 \cdot (\min(M_d, N_t^d) - N_t^d)} \right], & \text{if } f(\cdot) \leq T \\ 0, & \text{if } f(\cdot) > T \end{cases} \tag{2}$$

上式中 T 是拥塞门限, N_t^d 是在 t 时隙 NRTD 用户请求排队的长度。利用 (1) 式网络的剩余容量在统计意义上就可以得到充分的利用。

3 性能分析

3.1 马尔可夫分析

处在状态 (M_1, M_2, \dots, M_K) 下的系统可用 $K + 2$ 维的离散时间的马尔可夫链表示。其状态变量是 t 时隙被激活的各类用户数 $N_t^i (i = 1 \dots K)$, N_t^d 及排队长度 N_t^q 。在时隙 $t + 1$, $N_{t+1}^i = N_t^i + B(M_i - N_t^i, p_{i, \text{off-on}}) - B(N_t^i, p_{i, \text{on-off}})$, $N_{t+1}^q = \min(N_t^q + A(\lambda_d) - B(N_t^d, 1/L), M_d^{\text{max}})$, $N_{t+1}^d = N_t^d + B(\min(M_d, N_t^q) - N_t^d, p_{\text{start}}) - B(N_t^d, 1/L)$ 。

上式中, $B(N, p)$ 是服从二项分布的随机变量, 其参数为 N 和 p 。 $A(\lambda_d)$ 是均值为 λ_d 的 Poisson 随机变量。由于 RTT 仅受接纳控制的影响, 所以, 其一步转移概率如下。

$$\Pr[N_{t+1}^1, N_{t+1}^2, \dots, N_{t+1}^K, N_{t+1}^d, N_{t+1}^q] = \Pr[N_{t+1}^1 | N_t^1] \cdot \Pr[N_{t+1}^2 | N_t^2] \cdot \dots \Pr[N_{t+1}^K | N_t^K] \cdot \dots \\ \cdot \Pr[N_{t+1}^d | N_t^1, N_t^2, \dots, N_t^K, N_t^d, N_t^q] \cdot \Pr[N_{t+1}^q | N_t^d, N_t^q]$$

根据上面的一步转移概率可以求出系统处于平衡状态的概率, 用下式表示。

$$\Pr[(N^1, N^2, \dots, N^K, N^d, N^q)] = (n_1, n_2, \dots, n_K, n_d, n_q), \\ 0 \leq n_i \leq M_i (i = 1, \dots, K), 0 \leq n_d \leq M_d, 0 \leq n_q \leq M_d^{\text{max}}$$

3.2 性能分析

假设信道模型为理想的 AWGN 信道, 调制方式采用 DPSK, 单小区情况下 RTT 及 NRTD 的业务任

一信息包遭受的平均比特错误率可通过下式来求^[4]。以第 i ($i = 1, 2, \dots, K, d$) 级业务为例。

$$BER_i = \frac{1}{2} \cdot \exp\left[\left(-\frac{E_b}{I_0}\right)_i\right] \quad (2)$$

$$\text{其中: } \left(\frac{E_b}{I_0}\right)_i = \frac{S_i/R_i}{\left[\left(\sum_{k=1}^K n_k S_k - S_i\right) / \frac{3}{2} R^{\text{chip}}\right] + N_0}, \quad S_i = \frac{\frac{3}{2} N_0 R^{\text{chip}}}{1 - \sum_{k=1}^K \frac{n_k}{1 + \frac{3}{2} G_k \frac{1}{\gamma_k}}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{3}{2} G_i \frac{1}{\gamma_i}}$$

上式中 E_b 和 I_0 分别是每比特能量及总的干扰功率谱密度, S_i 、 γ_i 、 n_i 、 R_i 和 G_i 分别是理想功率控制条件下基站所收到的第 i 级用户的功率、QoS、被接纳的用户数、信息速率和扩频增益。 R^{chip} 代表码片速率。 N_0 是热噪声功率谱密度。 设包采用 BCH 编码, 码字长度为 n , 最大纠错能力为 m 。 那么,

$$PER_i = 1 - \sum_{j=0}^m \binom{m}{j} BER_i^j (1 - BER_i)^{n-j}, \quad i = 1, 2, \dots, K, d \quad (3)$$

在某一状态, 当某个 RTT 用户及 NRTD 用户 i 处于 on 状态时, 其平均包错误概率分别为

$$PER_i = \sum_{n_1=0}^{M_1} \dots \sum_{n_{i-1}=0}^{M_{i-1}} \sum_{n_i=1}^{M_i} \sum_{n_{i+1}=0}^{M_{i+1}} \dots \sum_{n_K=0}^{M_K} \sum_{n_d=0}^{M_d} PER_i \cdot \frac{M_i \Pr\{N^1, \dots, N^K, N^d = (n_1, \dots, n_K, n_d)\}}{\pi_{i, \text{on}}}$$

$$PER_d = \sum_{n_1=0}^{M_1} \sum_{n_2=0}^{M_2} \dots \sum_{n_K=0}^{M_K} \sum_{n_d=1}^{M_d} PER_d \cdot \frac{\frac{n_d}{M_d} \Pr\{N^1, N^2, \dots, N^K, N^d = (n_1, n_2, \dots, n_K, n_d)\}}{\sum_{n_1} \sum_{n_2} \dots \sum_{n_K} \sum_{n_d} \frac{n_d}{M_d} \Pr\{N^1, N^2, \dots, N^K, N^d = (n_1, n_2, \dots, n_K, n_d)\}}$$

平均数据吞吐量 (包/时隙) 为 $S = \sum_{n_1} \sum_{n_2} \dots \sum_{n_K} \sum_{n_d} n_d \cdot (1 - PER_d) \cdot \Pr\{N^1, N^2, \dots, N^K, N^d = (n_1, n_2, \dots, n_K, n_d)\}$ 。 平均数据包延迟及阻塞率分别为 $D_i(\text{slot}) = N/S$ (N 是平均排队长度) 及 $P_{\text{blocking}} = 1 - S/(\lambda_d \cdot L)$ 。

4 数字实验及结论

实验用到的 RTT 包括语音 RTT₁ 和交互式数据 RTT₀。 其参数 $R_1 = 32\text{kb/s}$, $C_1 = 1$, $\gamma_1 = 4.775$, $PER_1 = 10^{-2}$, $\pi_{0, \text{on}} = 0.375$, $R_0 = 128\text{kb/s}$, $C_0 = 1$, $\gamma_0 = 9.095$, $\pi_{1, \text{on}} = 0.1$, $PER_0 = 10^{-5}$ 。 NRTD 到达率 λ_d 可变, 信息平均长度 $L = 10$ 包。 $M_d^{\text{max}} \in [6, 8]$, $M_d \in [1, 8]$, $T \in [1, 10]$ 。 包长度 $n = 255\text{bit}$, 每个包可纠正的错误比特数 $m = 4$ 。 扩频带宽为 1.2288Mbps ; E_b/N_0 的平均值为 11 (dB); 时隙长度为 20ms 。

4.1 最佳控制参数的确定

控制参数 M_d , T 选择的依据是在使各级 RTT 的 QoS (PER) 满足要求的同时, 使系统的 NRTD 的吞吐量 S 达到最大。 本实验以 RTT₀ 和 RTT₁ 作为参考业务来揭示控制参数的求解过程。 以下作图用到的系统状态是二者均被接纳 2 个, $\lambda_d = 1$ 。 从上面的分析可知, M_d 及 T 的增大一方面使 S 变大; 另一方面又使 RTT 所遭受的 PER 增大。 因此, 这两个参数的选取应该折衷地考虑 PER 和 S 的关系。 通过下面的图 2 和图 3 (T 作为中间变量) 可确定出在满足 $PER_1 = 10^{-2}$ 及 $PER_0 = 10^{-5}$ 的条件下, M_d 应取 3。 S 及 λ_d 的单位简记为 p/s。

在系统参数 M_d 确定之后, 根据 M_d 和 PER 可求出满足所有 RTT 性能的 T 值为 1.56。

4.2 数据阻塞率和信息到达率的关系

就数据包的阻塞率而言, 当数据信息的到达率 (λ_d) 大到一定程度, 阻塞率 (p_b) 上升的很快, 如图 4 所示。 作图条件为两类 RTT 用户各接入一个, M_d 为 3 且最大缓存器容量为 5, 星号代表到达率的取值。

4.3 时延和吞吐量的关系

以 λ_d 作为中间变量可作出 D_i 和 S 的关系曲线, 如上面的图 5, 作图条件同上。 可以看出, 当 λ_d 大于 0.3 时, 信息延迟急剧增加。 并且, 当 λ_d 大到一定程度 (具体到这个实验, 大于 0.5) 系统的吞吐量不再

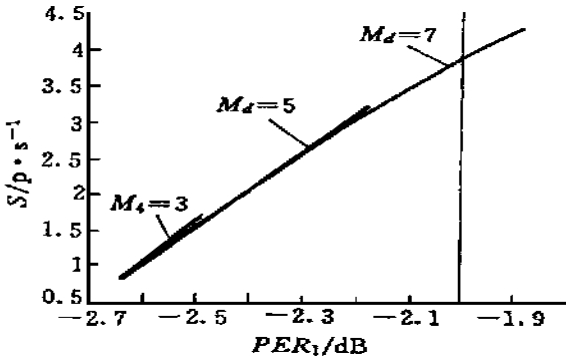


图 2 吞吐量和阻塞率的关系 (RTT₁)

Fig. 2 The relationship between S and PER_1

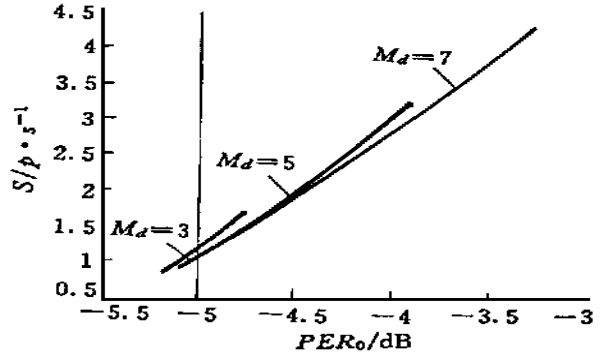


图 3 吞吐量和阻塞率的关系 (RTT₀)

Fig. 3 The relationship between S and PER_0

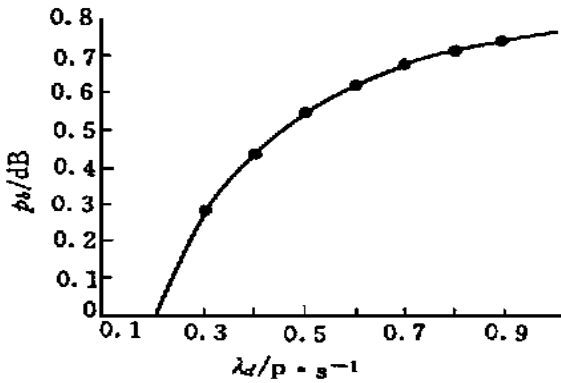


图 4 数据阻塞率和到达率的关系

Fig. 4 The relationship between p_d and λ_d

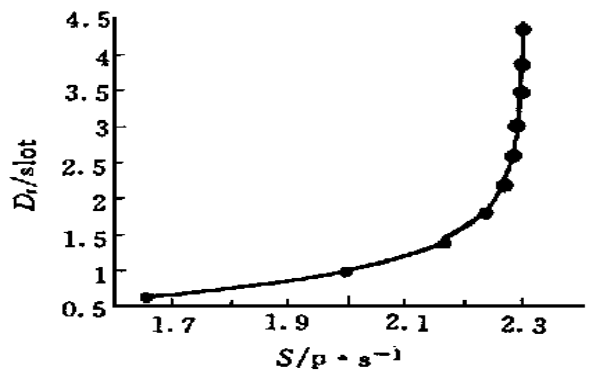


图 5 数据时延和吞吐量的关系

Fig. 5 The relationship between D_t and S

增加。这是因为呼叫层的接入控制阻塞了过多的 NRTD 呼叫。线上的点代表信息到达率 λ_d 的取值。

4.4 小结

依据上面的实验可类推, 在多级业务情况下, 假设以第 i 级 RIT 业务作为参考所求出的控制参数分别为 T_i 和 $M_{d,i}$ 。那么, 为了满足各级 RIT 用户的 PER, 且使 S 最大, 系统的控制参数应该这样决定, 首先确定 M_d , $M_d = \min(M_{d,1}, M_{d,2}, \dots, M_{d,\kappa})$ 。其次, 在所选择的 M_d 条件下确定 T , 如果这样的 M_d 有几个, 则系统门限应在这些 M_d 所对应的 T 中取最小值。在 BS 设计时, 应根据系统所承载的具体业务和条件, 根据本文介绍的方法来确定相应的控制参数。所求出的控制参数可固化到硬件里, 在某一状态, BS 可通过查表的方式得到它们, 然后, 根据 (1) 式计算出 p_{start} 以进行相应的接入控制。和基于 SIR 测量的接入方案相比, 本文设计的方案可减少基站的复杂度并消除测量误差带来的不良影响; 与基于 Aloha 的随机接入方案相比, 本方案又消除了不必要的接入“碰撞”, 从而减少了接入时间。当然, 在多级业务条件下, 数据业务的接入控制涉及许多复杂的问题, 如各种业务源的具体描述、用户呼叫到达率的合理评估及控制信息的传递时延等等, 都要进行考虑。

参考文献:

- [1] Wu Jianming, Ryuji Kohno. A wireless multimedia CDMA system based on transmission power control [J]. IEEE Journal of Selected Area in Communications, 1996, 14 (4): 683~ 691.
- [2] Seung Joon Lee, Hyeon Woo Lee, Dan Keun Sung. Capacities of Single - Code and Multicode DS- CDMA Systems Accommodating Multiclass Services [J]. IEEE Trans. Veh. Technol. 1999, 48 (2): 377~ 384.
- [3] Seung Joon Lee. Capacity evaluation for DS- CDMA systems with multi- class on/off traffic [J]. IEEE Communications Letters, 1998, 12 (6).
- [4] Theodore S Rappaport. Wireless communication principle & practice [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.