

CDMA2000-1X 系统多业务复合越区切换策略*

邹志军, 季新生, 郭淑明

(国家数字交换系统工程技术研究中心, 河南 郑州 450002)

摘要: 提出一种多业务综合越区切换策略, 该策略同时支持实时业务和非实时业务; 通过双队列模式解决了实时业务的虚拟切换问题, 有效地利用资源、缓解呼叫和切换拥塞; 并通过建立多维马尔科夫链越区切换策略模型, 为请求越区切换的实时业务提供了抢占优先和排队相结合的策略。仿真结果表明, 系统的呼损率、阻塞率、强制中断概率等系统性能指标得到明显改善。

关键词: 越区切换; 实时业务; 非实时业务; 双队列; 马尔科夫链

中图分类号: TN915

文献标识码: A

Strategy of multi-service handoff CDMA2000-1X system

ZOU Zhi Jun, JI Xin Sheng, GUO Shu Ming

(National Digital Switch System Engineering Technology Research Center, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: This paper introduces a multi-service integrative handoff strategy supporting real-time service and non real-time service. Using a double queues model to solve the false handoff of real-time service, the system resource can be utilized effectively and the congestion of call and soft handoff can be eliminated. Build a multidimensional Markov chain model to provide a handoff strategy with combination of preemptive priority and queuing management for real-time service. The simulation results show that call drop ratio, blocking probability, forced termination probability and some other performance can be improved.

Key words: handoff; real-time service; non real-time service; a double queues; Markov chain

越区切换策略是影响移动通信系统性能的关键之一。越区切换的失败将导致服务业务的突然中断。因此越区切换策略性能好坏, 将直接影响到整个移动通信系统的服务质量。随着通信系统的发展, 未来个人通信系统要能同时支持语音、视频以及数据等实时及非实时混合的多媒体业务。因此设计越区切换策略时, 应考虑到实时业务和非实时业务的不同特点。如何在有限的资源上对实时业务和非实时业务占有资源进行划分是项极其关键的技术。图 1 为国家数字交换系统工程技术研究中心设计的基于 IP 的复合移动通信系统 CMT(Composite Mobile Telecommunication)越区切换的示意图。

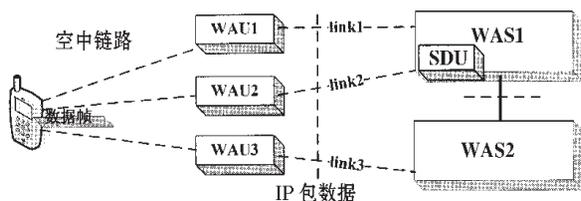


图 1 越区切换示意图

1 复合动态优先排队切换策略模型

假定系统由很多相同的服务小区组成, 取其中一个服务小区进行分析, 并将该小区称为“标记小区”。假定目标小区的总信道被分为三部分: 实时信道 RC、公用信道 CC 和非实时信道 NC。其容量分别为 C_R 、 C_C 和 C_N , 信道总容量 $C=C_R+C_C+C_N$ 。实时信道为实时业务预留, 实时业务包括实时新呼业务和实时越区切换呼叫业务。非实时信道为非实时业务预留, 非实时业务包括非实时新呼业务和非实时越区切换呼叫业务。公用信道专为切换呼叫业务预留。

通过图 2 分析该策略。其中图 2(a)描述虚拟切换的问题, 虚拟切换会造成资源浪费, 而无线信道资源极其珍贵, 因此解决该问题非常必要。图 2(b)为实时切换业务提供双队列模式来解决虚拟切换问题。其基本原理是: 当 MS 从 A 移到 B 后, 由于某种原因突然反向向原小区 BS1 基站方向移动, 且最终切换到 BS1 小区的情况。依软切换原理, BS2 应为其分配信道, 从而浪费信道资源, 因此双队列排队算法是必要的。即当 MS 在软切换区中运动时, 应考虑其运动方向, 对出现的虚假切换

* 基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA01Z434)

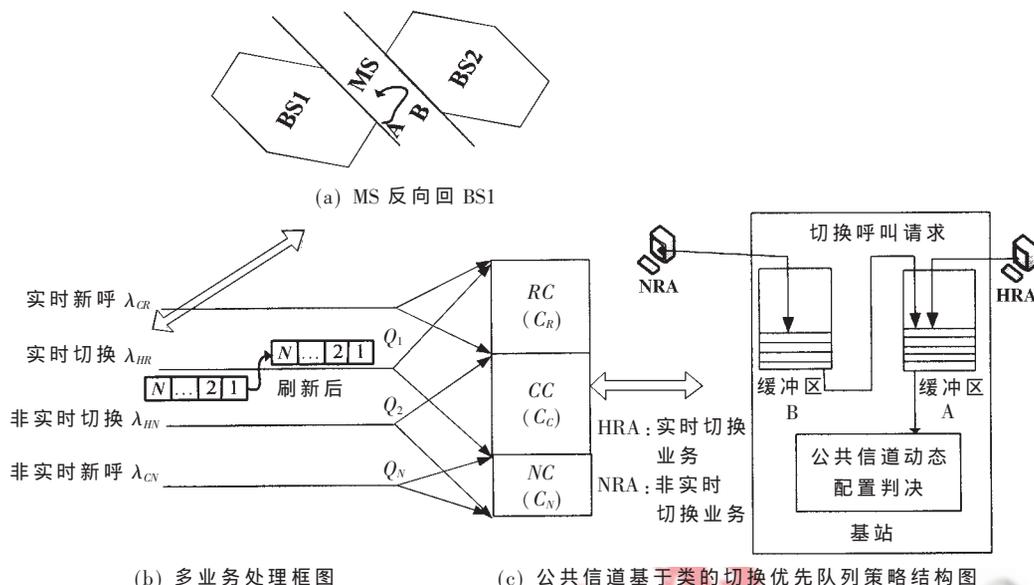


图 2 复合动态优先排队策略结构框图

请求不是拒绝,而是用另一队列来保存,此时系统使用两个队列,即主队列 Q_1 保存移向目的基站方向的切换请求,而从队列 Q_2 保存移向原基站方向的虚假切换请求。且从队列的切换请求的优先级低于主队列。如图 2(c) 所示,主队列是已分配信道向标记小区移动的软切换请求,从队列为没有分配信道(返身向原小区移动)的虚假切换请求。从队列为动态刷新,以删除掉移出切换区返回原小区(没有再改变运动方向)的用户切换请求。双队列算法基本思想为:

- (1) 若 MS 是真正软切换请求,则进入主队列;
- (2) 若 MS 为虚假切换请求,则进入从队列;
- (3) 从队列采用动态刷新,以更新掉移出软切换区而方向没有再改变的用户切换请求,从队列优先级高的用户(没有被刷新掉的用户)进入主队列;

(4) 当主队列的队列长度 $N \geq L \geq K$ (K 为正整数)时,禁止从队列的切换请求进入主队列,只允许真正的切换请求进入主队列,以保证高优先级的切换请求得到服务。

图 2(c)中为进入公共信道的切换呼叫分配两个独立的队列:实时切换队列和非实时切换队列,这两个队列的长度由两个大小不同的缓冲区 A 和 B 来限制。设缓冲区 A 队列长度为 M 。考虑到非实时业务的发生频度和长度,将缓冲区 B 的容量设置为缓冲区 A 的 2 倍(实际应用中可根据网络具体情况调整)。

当新产生的(非)实时呼叫到达标记小区时,如果目前(非)实时信道数全部被占用,该(非)实时呼叫将被系统阻塞;否则该(非)实时呼叫将获得一个空闲信道。当非实时切换请求到达标记小区时,该请求首先检查非实时信道,如果非实时信道有空闲信道,则该请求将获得一个空闲信道;否则该请求将进入缓冲区 B,然后等待缓冲区 A 中的队列为空时才能进入缓冲区 A 接受服

务,否则该请求被阻塞。如果用户在该请求还未得到服务之前移动到了其他的小区,则该请求将转移到其他小区。实时切换请求到达标记小区时,该请求首先检查实时信道,如果实时信道有空闲信道,则该请求将获得一个空闲信道。如果实时信道已满,而公共信道有空闲信道,则该请求将获得一个空闲信道。如果公共信道已满,但非实时业务在公用信道中接受服务且缓冲区 B 未滿,则该请求抢占公用信道中接受服务的非实时切换业务,被抢占的非实时业务重新回到缓冲区 B 中排队;否则该请求将进入到缓冲区 A 排队或被阻塞。如果用户在该请求还未得到服务之前移动到了其他的小区,则该请求将被抛弃。

2 模型参量分析

(1) 小区驻留时间

假定用户在服务区内均匀分布,任一个用户向各个方向移动的概率相等,其速度随机,用户速度 V 的概率密度函数为 $f_v(V)$,则用户离开小区的速率^[1]为:

$$u_{dwell} = 2E(V)/\pi R \quad (1)$$

其中 $E(V)$ 为用户速度的均值, R 为小区半径。假定小区驻留时间满足指数分布^[2,3],均值为 $1/u_{dwell}$,则小区驻留时间的均值:

$$E(T_{dwell}) = \pi R / 2E(V) \quad (2)$$

(2) 切换区域驻留时间

根据用户速度的概率密度函数,可得到用户穿越小区边界速度的概率密度函数:

$$f_{V^*}(V) = Vf_v(V)/E(V) \quad (3)$$

实时业务用户切换区域的驻留时间:

$$T_h = D/V^* \quad (4)$$

其中 D 为用户在切换区域移动的路径长度,假定路径长度与用户的移动速度相互独立,则可得到平均驻留时间:

$$E(T_h) = 1/u_{dwell} = E(D)/E(V) \quad (5)$$

假定随机变量 T_h 满足指数分布^[2,3]。

(3) 呼叫到达过程

假定小区中新产生的实时与非实时呼叫都是泊松过程^[2,3], 实时与非实时新呼的到达率分别表示为 λ_{CR} 和 λ_{CN} 。如果一个移动用户的服务时间比其在一个小区内的逗留时间长, 则会在邻近小区提出越区切换的请求。因为假设系统内所有的小区均相同, 所以任一小区单位时间内进入该小区的平均呼叫数等于离开该小区的平均呼叫数。因此到达标记小区的越区切换请求的强度等于离开该小区并在邻近小区申请越区切换的呼叫的强度, 则实时和非实时切换呼叫到达率分别为:

$$\lambda_{HR} = [E(C_R) + E(L_A)]u_{dwell} \quad (6)$$

$$\lambda_{HN} = [E(C_N) + E(L_B)]u_{dwell} \quad (7)$$

其中 $E(C_R)$ 、 $E(C_N)$ 为标记小区中占用信道的实时呼叫个数和非实时呼叫个数均值, $E(L_A)$ 、 $E(L_B)$ 表示缓冲区 A、B 队列的平均排队长度。

(4) 信道保持时间

假定实时业务与非实时业务的呼叫保持时间满足指数分布^[2,3], 分别为 T_{CR} 和 T_{CN} , 均值分别为 $1/u_{CR}$ 和 $1/u_{CN}$ 。对于已获得信道的实时业务用户来说, 它将一直占用信道直至其服务结束或离开当前小区而进入另一个小区。因此实时业务用户信道保持时间 T_R 是 T_{dwell} 和 T_{CR} 的最小值, 它们相互独立, 利用指数分布的概率密度函数无记忆性, 得随机变量 T_R 也服从指数分布, 数学期望为:

$$E(T_R) = E[\min(T_{dwell}, T_{CR})] = 1/(u_{dwell} + u_{CN}) \quad (8)$$

未被实时业务抢占的非实时业务用户将一直占用信道直至服务结束或在服务结束前离开当前小区。与实时业务用户相似, 非实时业务呼叫的信道保持时间 T_N 是 T_{dwell} 和 T_{CR} 中的最小值, T_N 也服从指数分布, 其数学期望为:

$$E(T_N) = E[\min(T_{dwell}, T_{CN})] = 1/(u_{dwell} + u_{CN}) \quad (9)$$

3 复合优先切换策略性能分析

3.1 双队列算法的数学分析

设主队列和从队列中切换请求到达目的基站的时间间隔是随机的, 且皆服从负指数分布, 可看作是独立的 Poisson 过程, 其强度分别为 λ 和 ν , 则结果相当于一个强度为 $\lambda + \nu$ 的 Poisson 到达的排队模型。设主队列的缓冲器的容量为 N , 当主队列的排队长度 $N \geq L \geq K$ (K 为正整数) 时, 主队列排队模型的到达率降为 λ , 且设降速系数为 η ($0 < \eta < 1$)。设目的基站处理切换请求的时间间隔是随机的, 服从负指数分布, 且其平均服务率为 μ , 则该模型主队列服务强度:

$$\rho = (\lambda + \nu)/\mu, \quad \eta = \lambda/(\lambda + \nu) \quad (10)$$

根据排队论^[4]可推出该模型系统中切换请求的主队列长度公式:

$$L_1 = \frac{\rho^2 p_0 [1 - \rho^{(k-1)}] [k - (k-1)\rho]}{[(1-\rho)^2 + \sum_{i=k}^N i \eta^{(i-k+1)} \rho^{(i-1)}]} \quad (11)$$

$$p_0 = \frac{(1-\rho)(1-\eta\rho)}{(1-\eta\rho) - \rho^{(k+1)}(1-\eta) - \eta^{(n-k+1)}\rho^{(n+1)}(1-\rho)}$$

呼损率:

$$B = \frac{\eta^{(n-k)}\rho^n(1-\rho)(1-\eta\rho)}{(1-\eta\rho) - \rho^{(k+1)}(1-\eta) - \eta^{(n-k+1)}\rho^{(n+1)}(1-\rho)} \quad (12)$$

3.2 平衡状态下系统的状态概率

本文用 1 个六维的 Markov 链 (i, j, k, l, m, n) 标记小区所处状态, 其中, i 表示接受服务的实时业务占用的实时信道数; j 表示接受服务的实时切换业务占用的公共信道数; k 表示接受服务的非实时切换业务占用的公共信道数; l 表示接受服务的非实时业务占用的非实时信道数; m 表示缓冲区 A 队列中等待接受服务的实时切换占用的信道数; n 表示缓冲区 B 队列中等待接受服务的非实时切换占用的信道数。对每个可以达到的状态 s , 其平衡概率 $P(s)$ 仅与 s 前一个状态的平衡概率有关, 可以得到每个状态的下一个可能状态及所有的转移概率。这样就可以得到系统的状态转移图, 列出状态转移方程。当系统处于平衡状态时, 令 $P(i, j, k, l, m, n)$ 表示系统处于状态 (i, j, k, l, m, n) 的概率。所有系统状态概率之和为 1, 即:

$$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_l \sum_m \sum_n P(i, j, k, l, m, n) = 1 \quad (13)$$

$$\sum_{i=0}^{C_R} \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} \sum_{l=0}^{C_N} P(i, j, k, l, 0, 0) + \sum_{l=0}^{C_N} \sum_{m=0}^M P(C_R, C_C, 0, l, m, 0) + \sum_{n=0}^{2M-1} \sum_{m=0}^M P(C_R, C_C, 0, C_N, m, n) + \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} \sum_{m=0}^M P(C_R, j, k, C_N, m, 2N) + \sum_{i=0}^{C_R} \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} \sum_{n=0}^{2M} P(i, j, k, C_N, 0, n) = 1 \quad (14)$$

得系统状态总数为:

$$N_T = (M+1)(C_N + C_C + 2 + 2M) + (C_C + 1)(C_R + 1)(C_N + 2 + 2M) \quad (15)$$

基于系统状态转移, 并针对每个状态 (i, j, k, l, m, n) 得到关于 $P(i, j, k, l, m, n)$ 的一个状态方程, 这样可以得到 N_T 个关于所有 $P(i, j, k, l, m, n)$ 的平衡状态方程。在这个方程中, 任意一个方程都可以由其他 $N_T - 1$ 个方程线性表示, 任意去掉其中一个方程并结合式(13), 可以得到线性无关的 N_T 个方程, 根据 3.3 节的数值迭代算法, 可以得到平衡状态下所有 $P(i, j, k, l, m, n)$ 的数值。

3.3 数值迭代算法

N_T 个关于所有 $P(i, j, k, l, m, n)$ 的方程中, λ_{HR} 和 λ_{HN} 是未知量, 通过如下的迭代算法, 可以得到所有的状态概率 $P(i, j, k, l, m, n)$ 。

(1) 为 λ_{HR} 和 λ_{HN} 分别设定非负初始值, 原则上初始值任意设定, 但不同初始值将有不同的收敛速度。

(2) 计算所有的状态概率 $P(i, j, k, l, m, n)$ 。

(3) 计算 $E(C_R)$ 、 $E(C_N)$ 、 $E(L_A)$ 和 $E(L_B)$ 。把它们代入式(6)和式(7), 计算新的 λ_{HR} 和 λ_{HN} 。如果同时满足 $|NEW\lambda_{HR} - OLD\lambda_{HR}| \leq \varepsilon$, $|NEW\lambda_{HN} - OLD\lambda_{HN}| \leq \varepsilon$, 则停止迭代。否则转到第二步继续迭代。其中 ε 是个非常小的正数, 它决定计

算结果的精度。3.4 系统性能参数

基于以上得到的各系统状态概率 $P(i,j,k,l,m,n)$ ，便可获得一些重要的系统性能参数。

设 P_{BCR} 为新产生的实时呼叫的阻塞概率。

$$P_{BCR} = 1 - \sum_{i=0}^{C_R-1} \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} \sum_{l=0}^{C_N} P(i,j,k,l,0,0) - \sum_{i=0}^{C_R-1} \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} \sum_{n=0}^{2M} P(i,j,k,C_N,0,n) \quad (16)$$

设 P_{BHR} 是具有越区切换请求实时呼叫的阻塞概率：

$$P_{BHR} = \sum_{l=0}^{C_N} P(C_R, C_C, 0, l, M, 0) + \sum_{n=0}^{2M} P(C_R, C_C, 0, C_N, M, n) + \sum_{k=0}^{C_C} P(C_R, C_C-k, k, N_T-1, M, 2M) \quad (17)$$

缓冲区 A 队列的平均排队长度：

$$E[L_A] = \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} \sum_{m=0}^M m P(C_R, j, k, C_N, m, 2M) + \sum_{l=0}^{C_N} \sum_{m=0}^M m P(C_R, C_C, 0, l, m, 0) + \sum_{n=0}^{2M-1} \sum_{m=0}^M m P(C_R, C_C, 0, C_N, m, n) \quad (18)$$

缓冲区 B 队列的平均排队长度：

$$E[L_B] = 2N \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} \sum_{m=0}^M P(C_R, j, k, C_N, m, 2M) + \sum_{n=0}^{2M-1} \sum_{m=0}^M n P(C_R, C_C, 0, C_N, m, n) + \sum_{i=0}^{C_R} \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} \sum_{n=0}^{2M} n P(i, j, k, C_N, 0, n) \quad (19)$$

占用信道的实时业务的平均个数：

$$E[C_R] = \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} (C_R+j) \sum_{m=0}^M P(C_R, j, k, C_N, m, 2M) + \sum_{i=0}^{C_R} \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} (i+j) \sum_{l=0}^{C_N} P(i, j, k, l, 0, 0) + \sum_{i=0}^{C_R} \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} (i+j) \sum_{n=0}^{2M} P(i, j, k, C_N, 0, n) + (C_R+C_C) \sum_{n=0}^{2M-1} \sum_{m=0}^M P(C_R, C_C, 0, C_N, m, n) + (C_R+C_C) \sum_{l=0}^{C_N} \sum_{m=0}^M P(C_R, C_C, 0, l, m, 0) \quad (20)$$

占用信道的非实时业务的平均个数：

$$E[C_N] = \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} (k+C_N) \sum_{m=0}^M P(C_R, j, k, C_N, m, 2M) + \sum_{l=0}^{C_N} \sum_{k=0}^{C_C} (k+l) \sum_{j=0}^{C_C-k} \sum_{i=0}^{C_R} P(i, j, k, l, 0, 0) + C_N \sum_{n=0}^{2M-1} \sum_{m=0}^M P(C_R, C_C, 0, C_N, m, n)$$

$$+ \sum_{i=0}^{C_R} \sum_{k=0}^{C_C} \sum_{j=0}^{C_C-k} (k+C_N) \sum_{n=0}^{2M} P(i, j, k, C_N, 0, n) + \sum_{l=0}^{C_N} \sum_{m=0}^M l P(C_R, C_C, 0, l, m, 0) \quad (21)$$

对于获得信道的实时呼叫用户来说，在服务过程中跨越小区边界时将触发越区切换请求。实时呼叫用户提出越区切换请求概率 P_h 就是该实时呼叫持续时间 T_{CR} 大于其在某小区内驻留时间的概率：

$$P_h = P(T_{CR} > T_{dwell}) = \mu_{dwell} / (\mu_{dwell} + \mu_{CR}) \quad (22)$$

定义 P_f 为实时呼叫的强制中断概率，即被系统接纳的实时呼叫在其接受服务的过程中被强制中断的概率。从定义可以得到如下表达式：

$$P_f = \sum_{l=1}^{\infty} P_h P_{BHR} [(1-P_{BHR})P_h]^{l-1} = P_h P_{BHR} / [1 - (1-P_{BHR})P_h] \quad (23)$$

4 仿真结果

本小节给出本文策略(CPQS)性能的数值计算结果。为更好地证明本策略性能方面的改进效果，将这些结果与 CRS 策略^[5]进行比较。主要参数设置如下：

$R=400\text{ m}$, $E[D]=0.1 R$, $E[V]=1\text{ m/s}$, $E(C_R)=60\text{ s}$, $E(C_N)=20\text{ s}$, $\lambda_{CR}=\lambda_{CN}$, $\varepsilon=10^{-6}$, $M=20$, $C=30$, $C_R=12$, $C_C=9$, $C_N=9$, 网络容量为 300 用户。

两种模型呼损率比较图如图 3 所示。由图 3 可见，当 N 增大时，排队算法^[6]的呼损率 B 明显上升，而双队列模式的呼损率 B 增长幅度很小，这是由于双队列模式中，有用的虚假切换请求在从队列中没有被刷新掉而是被及时处理的结果。因而双队列模型更能满足 CDMA 移动通信系统中更高的服务质量要求。

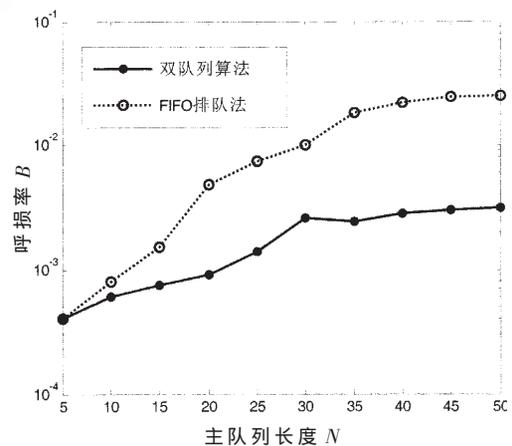


图 3 两种模型呼损率比较图

各业务阻塞率随呼叫到达率变化图如图 4 所示。从图 4 可知，CPQS 实时和非实时切换业务的阻塞率比 CRS 的小，实时和非实时新呼业务阻塞率几乎相同或略差，这是因为 CPQS 采用业务基于类的处理方式及使用双队列模式解决虚拟切换问题，并且赋予切换业务高优先级的结果。可见 CPQS 策略有利于切换业务阻塞率性能的改善。

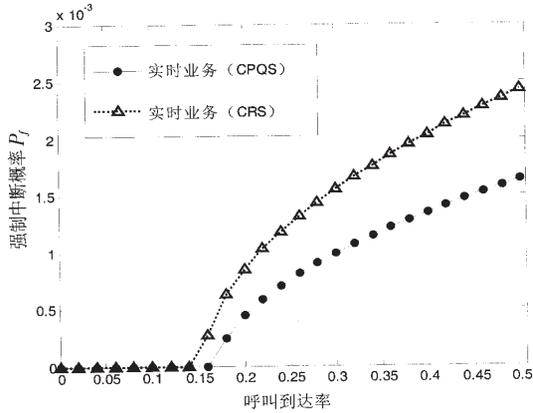


图 4 各业务阻塞率随呼叫到达率变化图

实时业务 P_f 随呼叫到达率的变化如图 5 所示, CPQS 的强制中断概率 P_f 比 CRS 的要小得多, 可见 CPQS 策略可以有效地减小实时呼叫强制中断概率。

本文首先分析了基于 IP 的 CDMA 系统软切换存在数据选择分发问题及数据内容同步问题, 并据此提出了不同链路数据同步算法和分层地址法; 然后提出了一种多业务综合越区切换策略。该策略有利于通信系统的呼损率、阻塞率及强制中断概率等性能指标的改善。

参考文献

[1] DAI Zhen, HUANG Sheng Ye, LIU Xiao Fan. Performance analysis of soft handoff in CDMA system base on different speed. IEEE 2005.
 [2] LI BO, WU Cheng Ke, KAIJI M, et al. Analysis and study of a handoff scheme with multiple priority strategies.

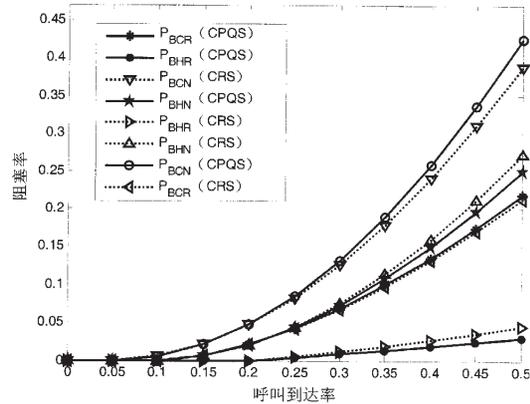


图 5 实时业务 P_f 随呼叫到达率的变化

Science in China (Series E) 2000, 8:355-364.

[3] LI Bo, ZHANG Aing An, KAIJI M, et al. A preemptive priority handoff scheme in integrated voice and data cellular mobile systems. IEICE Trans.on communications 1999:1633-1642.
 [4] CHEN Xi Lin. Modern communications theory[D]. E1 Publish Company of Beijing, 1999.
 [5] ZENG Q A, AGRAWAL D P, Performance analysis of a handoff scheme in integrated voice/data wireless networks. Proceedings of IEEE VTC-2000 Sep.2000:1986-1992.
 [6] Ramjee Prasad Werner Mohr Walter Konhauser. Third generation mobile communication systems[J]. Publishing House of Electronics Industry 2001.

(收稿日期: 2008-12-28)