

基于信道预留和强占优先的接力切换策略

唐良瑞¹, 杨安坤¹, 杨 雪²

(1. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206; 2. 山东电力工程咨询院有限公司, 山东济南 250013)

摘 要: 提出了一种适用于 TD-SCDMA(Time Division Synchronous Code Division Multiple Access)移动通信系统综合业务(语音/数据)的接力切换策略. 该策略为语音切换预留信道, 根据语音用户属性设置不同切换优先级, 赋予语音切换和语音新呼叫对数据服务信道的强占优先权. 仿真表明, 当系统语音呼叫强度较大时, 该策略使高优先级的 VIP、高速语音切换阻塞率减小了至少 50%; 当系统数据呼叫强度较大时, 该策略降低了数据呼叫阻塞率和排队队长, 并使传输时延减小了近 0.01s, 整体上提高了系统的 QoS (Quality of Service).

关键词: TD-SCDMA; 接力切换; 信道预留; 强占优先

中图分类号: TN92.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 06-1285-06

A Baton Handover Strategy Based on Channel Reservation and Preemptive Priority

TANG Liang-rui¹, YANG An-kun¹, YANG Xue²

(1. School of Electric & Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co. Ltd, Jinan, Shandong 250013, China)

Abstract: A baton handover strategy which is applied to integrated services (voice/data) in TD-SCDMA mobile communication system is proposed. This strategy reserves channels for voice handover calls, defines different handover priorities according to voice user's attribution, and gives voice handover calls and new voice calls preemptive priority over channels serving for data calls. Simulation results show that this strategy reduces blocking probabilities of VIP voice handover calls and high-speed handover calls by at least 50% when the system voice traffic is heavy. Furthermore, this strategy reduces the data call blocking probability and queue length while the system has heavy data traffic. Besides, data call transmission delay is decreased by nearly 0.01s. So it improves the overall system QoS.

Key words: TD-SCDMA; baton handover; channel reservation; preemptive priority

1 引言

随着移动通信技术的日新月异, 移动用户数量和多媒体通信业务量的迅速增加, 小区分布越来越密集, 小区之间业务切换更加频繁, 同时频谱、时隙等无线资源越来越紧张, 为了更高效地利用无线资源, 提高系统容量和业务 QoS, 设计适合语音、数据等综合业务的切换接入策略一直是研究的热点^[1,2].

接力切换是 TD-SCDMA 系统中为了保证移动用户通信的连续性或基于网络负载和操作维护等原因, 将用户从当前的通信链路转移到其他小区的过程^[3]. 优化信道分配策略或赋予越区切换优先权是提高小区接纳性能的重要措施^[4,5]. 文献[6]根据呼叫的不同属性设置了不同的切换优先级, 文献[7]根据用户移动特点为小

区动态预留切换信道, 但它们未考虑数据业务的接入; 文献[8,9]在语音/数据综合业务切换中赋予了语音切换对数据服务信道的优先强占机制, 但未考虑业务的多属性; 文献[10]提出的优先强占切换策略由于实时新呼和非实时新呼业务信道的严格区分机制, 会造成信道资源的浪费.

根据以上分析, 本文针对不同切换业务自身属性, 结合 TD-SCDMA 系统上行同步和智能天线技术, 提出了一种基于信道预留和强占优先的接力切换策略, 旨在提高小区负载实时变化情况下的业务 QoS, 提高系统资源利用率, 在降低高优先级切换阻塞率的同时, 折中低优先级业务的呼叫损失. 实验表明该策略为当前小区的主要业务提供了更好的服务质量.

2 策略描述

移动终端的速度是影响切换成功率的重要因素^[11],本文根据用户属性将呼叫分为VIP语音切换呼叫、快速语音切换呼叫(速度门限假定为40km/h)、普通语音切换呼叫、语音新呼叫、数据切换呼叫和数据新呼叫.这里假设TD-SCDMA系统由很多相同小区组成,每个小区有 S 个业务信道,有一个大小为 Q 的数据呼叫排队队列.这里将呼叫的当前服务小区称为“当前小区”,将呼叫将要切换进入的小区叫做“目标小区”.系统模型如图1所示.

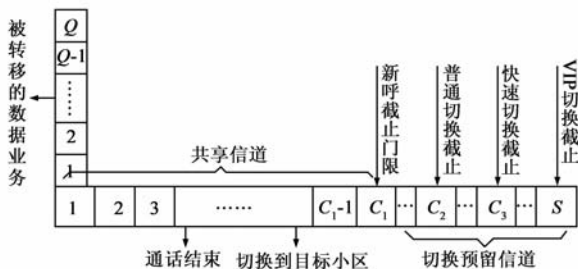


图1 系统接入模型

设定语音切换呼叫具有比语音新呼叫以及数据呼叫更高的优先等级.在切换呼叫业务中,VIP语音切换、快速语音切换、普通语音切换的优先级依次递减.当一个VIP语音切换呼叫到达时,如果目标小区没有空闲信道、在线的数据呼叫数大于等于1且排队队列未滿,该VIP语音切换呼叫可以强占正在为某个数据呼叫服务的信道,服务信道被强占的数据呼叫则转移到本小区的排队队列进行等待,直到出现新的空闲信道或被转移走,如果目标小区没有空闲信道且排队队列已滿,该VIP切换呼叫被阻塞;快速语音切换呼叫和普通语音切换呼叫有与VIP切换呼叫相同的对数据服务信道的强占机制,当为语音呼叫服务的信道数目大于或等于 C_3 时,快速语音切换呼叫被阻塞;当为语音呼叫服务的信道数大于或等于 C_2 时,普通语音切换呼叫被阻塞.

小区所有的语音新呼叫,均视为同等优先级,当正在占用信道的语音呼叫数大于或等于 C_1 时,到达的语音新呼叫将被阻塞,当正在占用信道的语音呼叫数小于 C_1 时,如果有空闲信道,系统为该语音呼叫分配一个可用信道,如果没有空闲信道,该语音呼叫可以强占正在为某数据呼叫服务的信道,服务信道被强占的数据呼叫进入本小区排队队列等待新的空闲信道,若排队队列滿,该语音新呼叫被阻塞.

数据呼叫(包括数据新呼叫、从邻区转移来的数据呼叫和切换来的数据呼叫)到达目标小区时,如果无空闲信道,则进入排队队列等待,若排队队列已滿,该数据服务被阻塞;如果在队列中等待的数据呼叫在未得到服务之前离开小区,该数据呼叫将被转移到新的目

标小区中去.

3 系统分析建模

(1)信道占用时间

设变量 T_{CV} 为不被中断情况下语音呼叫的持续时间,变量 T_{CD} 为数据呼叫所需的传输时间(不包括排队等待时间),变量 T_{dwell} 为语音或数据呼叫在某蜂窝小区的滞留时间.假设它们均服从指数分布,则有数学期望 $E[T_{CV}] = (1/\mu_{CV})$, $E[T_{CD}] = (1/\mu_{CD})$, $E[T_{dwell}] = (1/\mu_{dwell})$.

已获得信道的语音呼叫将一直占用信道直至离开当前小区或结束通话,语音呼叫的信道占用时间 T_V 即是 T_{dwell} 和 T_{CV} 中的较小值,因为 T_{dwell} 和 T_{CV} 相互独立,指数分布的概率密度函数无记忆性,所以变量 T_V 也服从指数分布,数学期望为:

$$E[T_V] = 1/\mu_V = E[\min(T_{dwell}, T_{CV})] = 1/(\mu_{CV} + \mu_{dwell}) \quad (1)$$

与语音呼叫类似,服务信道未被强占的数据呼叫也将一直占用信道直至通话结束或在通话结束前离开当前小区.数据呼叫的信道占用时间 T_D 为 T_{dwell} 和 T_{CD} 中的较小值, T_D 也服从指数分布,数学期望为:

$$E[T_D] = 1/\mu_D = E[\min(T_{dwell}, T_{CD})] = 1/(\mu_{CD} + \mu_{dwell}) \quad (2)$$

(2)呼叫到达强度

假设小区内语音新呼叫和数据新呼叫的到达过程均是泊松过程,强度分别为 λ_{OV} 和 λ_{OD} .如果一个呼叫在某小区内的滞留时间内未能完成通话,它将在临近小区提出越区切换请求,又因为假设系统内所有小区均相同,所以对于任一个小区,单位时间内该小区的平均呼叫到达数等于离去数,即到达当前小区的越区切换请求强度等于离开该小区并在临小区请求切换的呼叫强度.设 λ_{HV} 表示越区切换的语音呼叫到达强度, λ_{HD} 表示越区切换的数据呼叫到达强度, $E[C_V]$ 表示占用信道的平均语音呼叫数, $E[C_D]$ 表示占用信道的平均数据呼叫数,由以上假设可得:

$$\lambda_{HV} = E[C_V]\mu_{dwell} \quad (3)$$

$$\lambda_{HD} = E[C_D]\mu_{dwell} \quad (4)$$

同样假设以上两种越区切换请求的到达过程为泊松过程.

令 $\lambda_{vh} = m\lambda_{HV}$, $\lambda_{qh} = n\lambda_{HD}$, $\lambda_{nh} = k\lambda_{HV}$ 分别表示VIP语音、快速语音和普通语音切换的到达强度, m 、 n 、 k 为相应属性的语音切换呼叫强度与总切换呼叫强度的比例系数,且 $m + n + k = 1$.

如果队列中排队等待的数据呼叫在离开当前小区之前未能获得信道,该呼叫请求将被转移到目标小区

去.对于目标小区,设 λ_{TD} 表示从其它小区转移来的数据呼叫请求的到达强度, L_D 是排队队列的平均长度,可以得到:

$$\lambda_{TD} = L_D \mu_{dwell} \quad (5)$$

仍然假设此过程为泊松过程.

4 性能指标分析

(1) 系统状态转移

用非负整数对 $v(i, j)$ 表示当前小区所处的状态.其中 i 表示正在占用信道的语音呼叫数; j 表示正在占用信道的数据呼叫数和正在队列中排队的数据呼叫数之和,由以上分析可知 (i, j) 是一个二维 Markov 链,当前小区的状态空间 V 为:

$$V = \{v | 0 \leq i \leq S \cap 0 \leq i + j \leq S + Q\} \quad (6)$$

为便于分析,定义:

$$\lambda_V = \lambda_{HV} + \lambda_{OV} \quad (7)$$

$$\lambda_D = \lambda_{OD} + \lambda_{HD} + \lambda_{TD} \quad (8)$$

当系统处于平衡状态,即系统处于极限平稳时,设 $p(i, j)$ 表示系统处于状态 (i, j) 时的概率,所有的系统状态概率之和等于 1,即

$$\sum_{i=0}^S \sum_{j=0}^{S+Q-i} p(i, j) = 1 \quad (9)$$

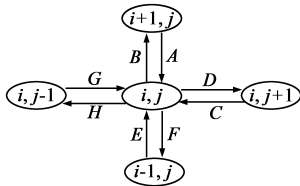


图2 系统状态转移图

可计算得系统的状态总数为 $N_T = (1 + S) \left(\frac{S}{2} + Q + 1 \right)$.

如图 2 所示,设 A, B, C, D, E, F, G, H 表示各状态之间的转移率,不同情况下的状态转移为:

case1: $i < C_1$ & $i + j < S$

$$B = \lambda_V, C = (j + 1) \mu_D, E = \lambda_V, H = j \mu_D;$$

case2: $i < C_1$ & $i + j \geq S$

$$B = \lambda_V, C = (S - i) \mu_D + (i + j - S + 1) \mu_{dwell}, \\ E = \lambda_V, H = (S - i) \mu_D + (i + j - S) \mu_{dwell};$$

case3: $i = C_1$ & $i + j < S$

$$B = \lambda_{vh} + \lambda_{qh} + \lambda_{nh}, C = (j + 1) \mu_D, E = \lambda_V, H = j \mu_D$$

case4: $i = C_1$ & $i + j \geq S$

$$B = \lambda_{vh} + \lambda_{qh} + \lambda_{nh}, \\ C = (S - i) \mu_D + (i + j - S + 1) \mu_{dwell}, \\ E = \lambda_V, H = (S - i) \mu_D + (i + j - S) \mu_{dwell};$$

case5: $C_1 < i < C_2$ & $i + j < S$

$$B = \lambda_{vh} + \lambda_{qh} + \lambda_{nh}, C = (j + 1) \mu_D, \\ E = \lambda_{vh} + \lambda_{qh} + \lambda_{nh}, H = j \mu_D;$$

case6: $C_1 < i < C_2$ & $i + j \geq S$

$$B = \lambda_{vh} + \lambda_{qh} + \lambda_{nh}, \\ C = (S - i) \mu_D + (i + j - S + 1) \mu_{dwell},$$

$$E = \lambda_{vh} + \lambda_{qh} + \lambda_{nh},$$

$$H = (S - i) \mu_D + (i + j - S) \mu_{dwell};$$

case7: $i = C_2$ & $i + j < S$

$$B = \lambda_{vh} + \lambda_{qh}, C = (j + 1) \mu_D, \\ E = \lambda_{vh} + \lambda_{qh} + \lambda_{nh}, H = j \mu_D;$$

case8: $i = C_2$ & $i + j \geq S$

$$B = \lambda_{vh} + \lambda_{qh}, \\ C = (S - i) \mu_D + (i + j - S + 1) \mu_{dwell}, \\ E = \lambda_{vh} + \lambda_{qh} + \lambda_{nh}, \\ H = (S - i) \mu_D + (i + j - S) \mu_{dwell};$$

case9: $C_2 < i < C_3$ & $i + j < S$

$$B = \lambda_{vh} + \lambda_{qh}, C = (j + 1) \mu_D, \\ E = \lambda_{vh} + \lambda_{qh}, H = j \mu_D;$$

case10: $C_2 < i < C_3$ & $i + j \geq S$

$$B = \lambda_{vh} + \lambda_{qh}, \\ C = (S - i) \mu_D + (i + j - S + 1) \mu_{dwell}, \\ E = \lambda_{vh} + \lambda_{qh}, \\ H = (S - i) \mu_D + (i + j - S) \mu_{dwell};$$

case11: $i = C_3$ & $i + j < S$

$$B = \lambda_{vh}, C = (j + 1) \mu_D, E = \lambda_{vh} + \lambda_{qh}, H = j \mu_D;$$

case12: $i = C_3$ & $i + j \geq S$

$$B = \lambda_{vh}, C = (S - i) \mu_D + (i + j - S + 1) \mu_{dwell}, \\ E = \lambda_{vh} + \lambda_{qh}, H = (S - i) \mu_D + (i + j - S) \mu_{dwell};$$

case13: $C_3 < i < S$ & $i + j < S$

$$B = \lambda_{vh}, C = (j + 1) \mu_D, E = \lambda_{vh}, H = j \mu_D;$$

case14: $C_3 < i < S$ & $i + j \geq S$

$$B = \lambda_{vh}, C = (S - i) \mu_D + (i + j - S + 1) \mu_{dwell}, \\ E = \lambda_{vh}, H = (S - i) \mu_D + (i + j - S) \mu_{dwell}.$$

以上所有情况下: $A = (i + 1) \mu_V; D = G = \lambda_D; F = i \mu_V$.

考虑 Markov 链的边界条件,当 $i = 0$ 时,不存在状态 $(i - 1, j)$;当 $j = 0$ 时,不存在状态 $(i, j - 1)$;当 $i = S$ 时,不存在状态 $(i + 1, j)$;当 $i + j = S + Q$ 时,不存在状态 $(i + 1, j)$ 和 $(i, j + 1)$.根据该二维 Markov 链各状态处于平稳分布时总的到达率和离去率之和为 0,可以列出关于所有状态的 N_T 个平衡状态方程,在这 N_T 个方程中,任何一个方程都可以有其他的 $N_T - 1$ 个方程表示,结合式(9)可以得到每个状态的极限概率分布 $p(i, j)$.

(2) 系统性能参数

根据以上各状态的极限概率分布,可以得到评价切换接入策略优劣的重要参数.令 B_{ov} 表示语音新呼叫的阻塞率, B_{nh} 表示普通语音切换阻塞率, B_{qh} 表示快速语音切换阻塞率, B_{vh} 表示 VIP 语音切换阻塞率, B_D 表示数据呼叫阻塞率(包括新生、切换和转移来的数据呼叫),它们可分别表示为:

$$B_{ov} = \sum_{i=0}^{C_1-1} p(i, S + Q - i) + \sum_{i=C_1}^S \sum_{j=0}^{S+Q-i} p(i, j) \quad (10)$$

$$B_{nh} = \sum_{i=0}^{C_2-1} p(i, S+Q-i) + \sum_{i=C_2}^S \sum_{j=0}^{S+Q-i} p(i, j) \quad (11)$$

$$B_{qh} = \sum_{i=0}^{C_3-1} p(i, S+Q-i) + \sum_{i=C_3}^S \sum_{j=0}^{S+Q-i} p(i, j) \quad (12)$$

$$B_{vh} = \sum_{i=0}^{S-1} p(i, S+Q-i) + \sum_{j=0}^Q p(S, j) \quad (13)$$

$$B_D = \sum_{i=0}^S p(i, S+Q-i) \quad (14)$$

根据各状态的极限概率和转移情况,可得平均排队队长 L_D 、占用信道的语音呼叫平均个数 $E[C_V]$ 、占用信道的数据呼叫平均个数 $E[C_D]$ 分别为:

$$L_D = \sum_{i=0}^S \sum_{j=S+1-i}^{S+Q-i} (i+j-S)p(i, j) \quad (15)$$

$$E[C_V] = \sum_{i=0}^S \sum_{j=0}^{S+Q-i} ip(i, j) \quad (16)$$

$$E[C_D] = \sum_{i=0}^S \sum_{j=0}^{S-i} jp(i, j) + \sum_{i=0}^S \sum_{j=S+1-i}^{S+Q-i} (S-i)p(i, j) \quad (17)$$

数据的平均传输延迟(不包括传输数据本身所需要的时间)可表示为:

$$E[T_D] = L_D E[T_{CD}] / E[C_D] \quad (18)$$

5 仿真结果与分析

将本文提出的切换策略与文献[8~10]中提出的切换策略进行对比分析,考虑具有很多小区的移动蜂窝系统,每个小区分配相同的信道数量 S 和排队队长 Q 。这里将本文提出的切换策略定义为‘策略一’,在数值计算中,参数设置如下: $C_1 = 20, C_2 = 22, C_3 = 23, S = 24, Q = 4, m:n:k = 4:3:3$;将文献[8,9]提出的策略定义为‘策略二’,呼叫类型分为语音切换呼叫、语音新呼叫、数据切换呼叫和数据新呼叫,文献中相应参数设置如下^[8,9]: $S = 24, S_c = 20, Q_d = 4$;将文献[10]提出的策略定义为‘策略三’,呼叫类型分为实时切换呼叫、实时新呼叫、非实时切换呼叫和非实时新呼叫,为方便比较,这里将实时呼叫和非实时呼叫统一称为语音呼叫和数据呼叫,文献中相应参数设置为^[10]: $S_R = 20, S_C = 3, S_E = 2, S_N = 1, M_R = 0, M_N = 4$ 。通过以上参数设置可见三种策略均有相同的信道数目、数据排队队列大小和新呼叫截止门限,其他参数均根据该策略特点设置。

定义 $\rho = \lambda_{0D} E[T_{CD}] + \lambda_{0V} E[T_{CV}]$ (单位为 Erl) 为当前小区的总业务强度,定义 γ 为数据业务强度与总业务强度之比,即 $\gamma = \lambda_{0D} E[T_{CD}] / \rho$,同时定义 $E[T_{CV}] = 120s, E[T_{CD}] = 30s, E[T_{dwell}] = 120s$ 。

图3表述了 ρ 分别为 12 和 14 时三种策略下的语音新呼叫阻塞率,可以看出,语音新呼叫阻塞率随 γ 值的增大而减小,策略一相比策略二在接纳语音新呼叫的

能力上略有改善;策略三由于严格的语音新呼和数据新呼业务信道区分机制,当语音呼叫强度较大时表现出了较高的语音新呼叫阻塞率。从图4对VIP语音切换阻塞率的示例可以看出,随着 γ 的增大,三种切换策略下VIP语音的切换阻塞率都有所波动。当 $\gamma < 0.4$ 时,策略一中VIP语音的切换阻塞率明显低于策略二和策略三,且语音呼叫强度越大优势越明显。策略三因严格的语音新呼和数据新呼业务信道区分机制,当 γ 较小时,相对于前两种策略,VIP语音切换呼叫可强占的数据服务信道少,所以对VIP语音切换呼叫有较高的阻塞率;当 γ 较大时,语音服务信道富裕,并且不允许数据呼叫接入,所以对VIP语音切换呼叫表现出较低的阻塞率。同样,对高速语音切换会有相同的结论。因此,在语音呼叫强度比较大时,策略一对语音新呼叫和高优先级语音切换呼叫有更好的接纳性能。

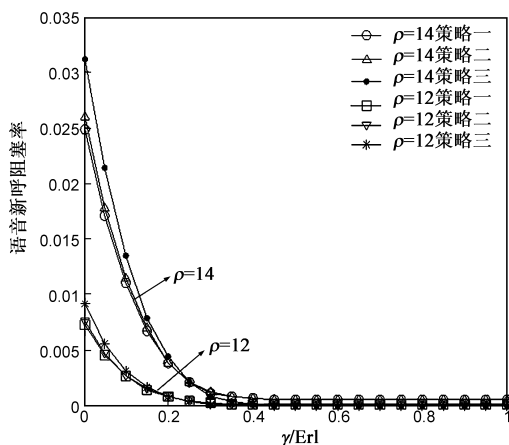


图3 语音新呼叫阻塞率

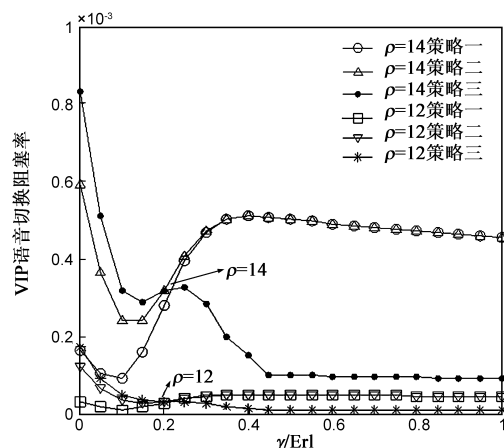


图4 VIP语音切换阻塞率

图5示例是 $\rho = 14$ 时,策略一模型下VIP、高速和普通三种语音切换呼叫的阻塞率,可以看出,当 γ 较小时,高优先级的语音切换呼叫阻塞率明显低于低优先级的语音切换呼叫阻塞率,即在系统呼叫强度以语音为主时,策略一使得对系统整体性能贡献较大的高优

优先级切换呼叫有更低的阻塞率,随着 γ 的增大,语音呼叫强度减小,各优先级语音呼叫的切换阻塞率趋于一致,但仍保持了较低值.比较图 5 和图 3,图 5 中普通语音切换呼叫阻塞率比图 3 中的新呼阻塞率至少低一个数量级,满足了一般情况下切换阻塞率要比新呼阻塞率低一个数量级的要求^[12].因此策略一提高了高优先级业务的 QoS,达到了根据用户优先级属性提供有差别 QoS 的目的.由前面对三种切换接入策略的描述可知,使用策略一模型时,预留信道部分整体负载较使用策略二模型时降低,这时数据呼叫有更大的几率获得空闲信道,因此如图 6 所示, γ 较小时策略一模型下的数据呼叫有较低的阻塞率(包括数据新生呼叫阻塞和切换呼叫阻塞),随着 γ 增大,策略一和策略二模型下的数据呼叫阻塞率趋于一致;同样是因为严格的信道区分机制,策略三虽然在 γ 较小时有较低的数据呼叫阻塞率,但当 γ 较大时有较高的数据呼叫阻塞率.

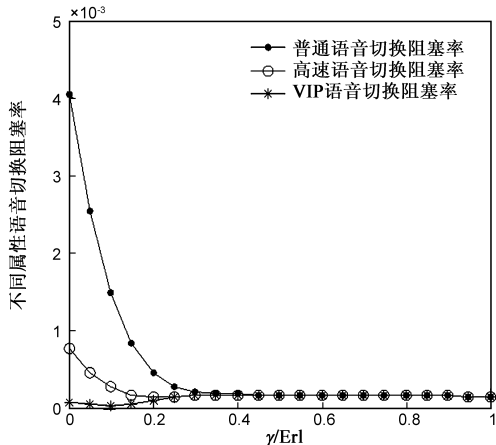


图5 不同属性语音切换呼叫阻塞率

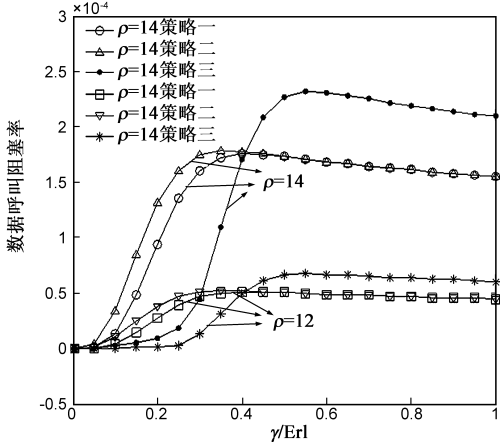


图6 数据呼叫阻塞率(新呼+切换)

图 7 是当前小区排队队列长度随 γ 值变化的情况,可以看出 γ 较小时三种策略模型下排队队长均呈增长状态,此时策略一相对策略二排队队长小,减小了数据呼叫被迫进行排队等待的几率,从而可以减少系

统排队资源开销,增加系统对数据呼叫的处理速率,减小数据排队的延迟时间;当 γ 较小时,策略三中严格的信道区分机制使得数据呼叫排队队长较低,而 γ 较大时排队队长又较高.图 8 验证了此前的推论,在 γ 较小时,策略一相对于策略二明显的降低了数据传输因排队造成的时间延迟,此时策略三也体现出在降低数据服务延迟方面的优势,而在 γ 大较时有明显劣势.从图 7、图 8 可以看出,随着 γ 值的增大,策略一和策略二两种控制模型下的排队队长和数据呼叫延迟时间均趋于一致,并逐渐减小,可见语音呼叫强度的降低使数据呼叫可以获得更多的空闲信道,增加了系统对数据呼叫的处理性能,而策略三有相反的表现.

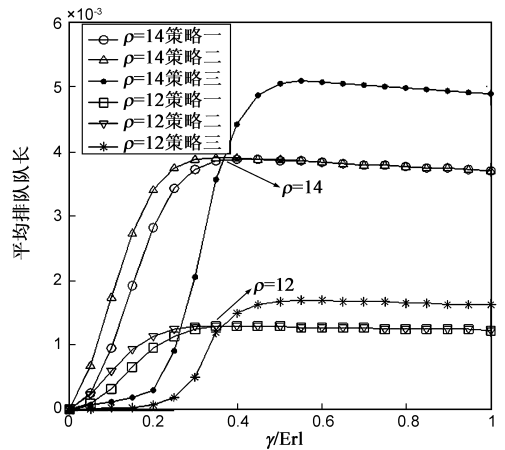


图7 平均排队队长

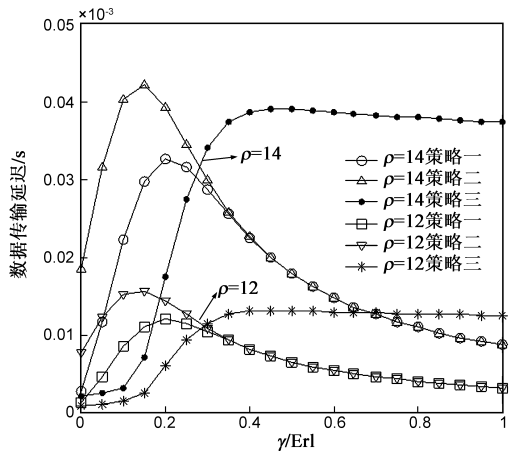


图8 数据传输延迟

综上所述,本文提出的基于信道预留和强占优先的接力切换策(即策略一),实现了对不同属性用户有差别的服务,并对当前小区中呼叫强度大的业务(语音或数据)有更好的服务质量,所以在当今业务种类多又以语音业务为主的移动通信系统中更好地满足了各种用户的 QoS 需求.

6 结束语

本文提出了一种适用于 TD-SCDMA 系统的语音/数

据多业务切换接入策略. 该策略为语音切换预留信道, 根据语音用户属性设定不同的切换优先级, 并赋予了语音呼叫对数据服务信道的强占优先权. 由仿真分析可知, 在小区中各属性业务强度实时变化时, 本文提出的切换策略对语音新呼叫有更好的接纳性能, 而且语音呼叫强度较大时对高优先级的语音切换呼叫阻塞率低, 数据呼叫强度大时又有较低的数据阻塞率、排队队长和时间延迟.

参考文献

- [1] 甄皓琮, 方旭明, 朱龙杰. 一种新的支持多业务的 CDMA 网络可升降级动态带宽分配与优化策略[J]. 电子学报, 2006, 34(7): 1209 - 1215.
ZHEN Hao-cong, FANG Xu-ming, ZHU Long-jie. A novel dynamic bandwidth allocation and optimization strategy supporting multi-traffics for CDMA networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(7): 1209 - 1215. (in Chinese)
- [2] 王晶, 管雪涛, 杨春, 等. CBLA: 多信道无线网状网络负载感知的分簇式信道分配[J]. 电子学报, 2010, 38(3): 546 - 551.
WANG Jing, GUAN Xue-tao, YANG Chun, et al. CBLA: cluster-based load-aware channel assignment for multi-channel wireless mesh networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(3): 546 - 551. (in Chinese)
- [3] 朱东照, 罗建迪, 汪丁鼎. TD-SCDMA 无线网络规划设计与优化(第 2 版)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008, 93 - 100.
- [4] 党安红, 张敏, 朱世华, 等. 一种新的优化动态信道分配策略及建模分析[J]. 电子学报, 2004, 32(7): 1152 - 1155.
DANG An-hong, ZHANG Min, ZHU Shi-hua, et al. A novel optimal dynamic channel assignment scheme and its performance evaluation[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(7): 1152 - 1155. (in Chinese)
- [5] 王莹, 王卫东, 张平. 分层小区系统中预留资源的切换策略分析[J]. 电子学报, 2002, 30(12A): 1953 - 1956.
WANG Ying, WANG Weidong, ZHANG Ping. Handover analysis with resource reservation in hierarchical cell structure[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(12A): 1953 - 1956. (in Chinese)
- [6] 李海波. TD-SCDMA 系统接力切换技术研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2008.
Li Haibo. Study on the Technology of Baton Handover in TD-SCDMA System[D]. Jilin: Jilin University, 2008.
- [7] P Venkata Krishna, Sudip Misra, Mohammad S Obaidat, et al. An efficient approach for distributed dynamic channel allocation with queues for real-time and non-real-time traffic in cellular networks[J]. The Journal of Systems and Software, 2009, 82(7): 1112 - 1124.

- [8] 李波, 吴成柯, 李冬. 基于预留信道和强占优先相结合的接入策略[J]. 通信学报, 2000, 21(3): 12 - 18.
LI Bo, WU Cheng-ke, LI Dong. An access strategy with combination of channel reservation and preemptive priority[J]. Journal of China Institute of Communications, 2000, 21(3): 12 - 18. (in Chinese)
- [9] LI Bo, WU Chengke, MUKUMOTO Kaiji, et al. Analysis and study of a handoff scheme with multiple priority strategies[J]. Science in China(Series E), 2000, 43(4): 355 - 364.
- [10] Jingao Wang, Qing-An Zeng, Dharma P. Agrawal. Performance analysis of a preemptive and priority reservation handoff scheme for integrated service-based wireless mobile networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2003, 2(1): 65 - 75.
- [11] 刘敏, 李忠诚, 过晓冰. 一种基于速度感知的垂直切换算法[J]. 电子学报, 2008, 36(6), 1198 - 1201.
LIU Min, LI Zhong-cheng, GUO Xiao-bing. A speed sensitive vertical handoff algorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(6), 1198 - 1201. (in Chinese)
- [12] 龚文斌, 甘仲民. 无线系统中的最佳预留保护信道数[J]. 应用科学报, 2003, 21(4): 127 - 130.
GONG Wen-bin, GAN Zhong-min. The best number of channels reserved for protection in wireless systems[J]. Journal of Applied Sciences, 2003, 21(4): 127 - 130. (in Chinese)

作者简介



唐良瑞 男, 1966 年生于湖南省永州市, 北京市华北电力大学电气与电子工程学院教授, 博士, 主要研究方向为电力系统通信、信息安全、无线通信等。
E-mail: tangliangrui@163.com



杨安坤 男, 1983 年生于河南省濮阳市, 华北电力大学硕士研究生在读, 主要研究方向为无线通信和电力系统通信。
E-mail: dianjibeijing@163.com



杨雪 女, 1982 年生于山东省德州市, 华北电力大学硕士研究生毕业, 助理工程师, 研究方向为电力系统通信、信号处理等。
E-mail: muzi401@163.com