

蜂窝移动通信系统中一种热点业务分配算法

党安红 朱世华* 汤俊雄

(北京大学电子学系 北京 100871)

*(西安交通大学信息与通信工程系 西安 710049)

摘要: 基于提出的最优组合业务量预测模型,对下一时刻的业务量进行预测,从而确定蜂窝系统中业务分布情况,据此将蜂窝小区分成“冷点区域”和“热点区域”,并提出一种优化的混合信道分配(OHCA)方案,分析并给出了该方案中动静信道比的定量关系。仿真结果证实了该最优组合预测模型较单一预测方法降低了预测误差、提高了预测精度,同时该优化分配算法较固定信道分配(FCA)和动态信道分配(DCA)方案,有较小的呼阻率和较高的频谱利用率,该策略可用来有效处理热点业务问题,有较好的应用前景。

关键词: 业务量预测, 信道分配, 蜂窝移动通信系统

中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1009-5896(2005)02-0230-05

A Channel Assignment Scheme for Hot Spot in Cellular Mobile Communication System

Dang An-hong Zhu Shi-hua* Tang Jun-xiong

(Electronics Dept, Peking University, Beijing 100871, China)

*(Dept of Information and Communications Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract The traffic load is estimated based on the optimally combined traffic load forecasting model for cellular mobile communications system. The results are then used to derive the hot cells and cold cells due to the Quality of Service (QoS) requirement, an Optimized Hybrid Channel Assignment (OHCA) scheme is proposed and the ratio of active channels and static channels is derived. The analysis indicates that the ratio is bounded by the traffic fluctuation and QoS requirement. Simulation results show that the forecasting model can reduce the prediction error and yield higher forecasting precision compared to using only one method, and OHCA is shown to be superior to the current FCA and DCA in terms of call blocking probability and spectrum utilization. The scheme can be used to handle the hot spot case, and is therefore an attractive scheme for practical systems.

Key words Traffic load prediction, Channel assignment, Cellular mobile communications

1 引言

随着移动通信用户的急剧增加,如何提高现有频率资源的利用率已成为制约移动通信发展的瓶颈,而良好的信道分配是解决这一问题的有效措施之一。信道分配的研究^[1-3]普遍存在这样的问题:当呼叫来临时,控制中心完成响应需要一定时间,也就是说当作用到达时,呼叫情况可能已经发生变化;另一方面信道分配的完成缺乏主动性。假如能够比较准确地预测业务量的变化情况,那么就可以在响应呼叫时,主动地采取一些措施来避免呼叫阻塞,大大提高服务质量。为此本文提出基于业务量预测的信道分配策略,可以基于预测模型在服务系统采取预防阻塞控制法,即在阻塞发生前进行控制,通过检测提前知道业务情况将具有什么特性,从而采

取一些针对措施。为了实现预测结果的高预见性,在建立模型时,应尽量多地利用各种有用信息,使预测结果更接近于实际。为此,在本文中构造了一种最优组合马尔柯夫链的预测模型,避免了单一方法仅限于利用部分信息而可能带来的缺陷,从而提高了预测精度。

我们知道,固定信道分配(FCA)有其固有的优点,但它的缺点是过于死板,不能适应业务量的变化;而动态信道分配(DCA)能随着业务量的变化自适应地调整信道的分配^[2,4,5],但DCA造成较多的设备冗余,且控制复杂。为此,混合信道分配(HCA)方案得到了广泛的重视和研究^[6-8],这些文献仅仅对动态信道与静态信道的取值给出了定性的结论,而未给出定量计算这一比例的方法。本文基于优化预测

模型,将小区分成“冷点区域”和“热点区域”,并通过分析,给出一种优化的动态信道与固定信道的定量比例算法,该方案对于处理热点区域、预防呼叫阻塞等有明显的优势。

2 优化的组合预测模型

2.1 蜂窝系统分析

为了研究蜂窝系统中业务量的变化情况,需要考虑引起业务量变化的因素,包括呼叫的到达、呼叫保持时间、越区切换等,下面重点分析越区切换发生的概率。

随着移动通信需求的急剧增加,蜂窝从大区制向小区制甚至微小区发展,一个呼叫可能在其自然结束以前要越区切换多次^[2-3]。导致切换的因素是多方面的,它与小区的大小、移动模式、移动的速度、传播环境等有关;在此将这些因素归结为移动用户在小区的驻留时间。假定驻留时间分布满足

$$R(t) = q^p t^{p-1} e^{-qt} / \Gamma(p) \quad (1)$$

其中 p, q 为参变量,前者影响分布曲线的形状,后者则影响其均值及方差。这样对于不同的系统可以用统计的方法求出相应的参变量,就可以由式(1)得到相应的分布函数。可以看出,当呼叫的持续时间大于该呼叫对应的移动台在该小区的驻留时间时,必然发生越区切换。假定某一呼叫在结束前仅发生一次切换,且在式(1)中,取 $p=1$,这样,越区切换概率密度函数为

$$\begin{aligned} f(t) &= \int_{-\infty}^{+\infty} t_r Q_m(t_r, t) R_r(t_r) dt_r \\ &= \mu q \int_0^{+\infty} t_r e^{-(\mu+q)t_r} dt_r = (\mu q) / (\mu + q)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $t = t_m / t_r$, t_m, t_r 分别是呼叫持续时间和移动台在小区的驻留时间,从而有 $P(t_m > t_r) = p(t > 1) = 1 - \int_0^1 \frac{\mu q}{(\mu t + q)^2} \times dt = q / (\mu + q)$,即切换发生的概率为 $q / (\mu + q)$ 。

2.2 基于移动台分布的业务量预测

在蜂窝系统中,各个小区的业务量大小主要是由其中移动台数量决定的。而影响小区移动台变化的主要因素有三方面:周围小区的移动台切换到该小区;小区中的移动台越区到别的小区;小区中由于人为因素增加的移动台的数量或减少的移动台的数量(如:新开用户、移动台损坏等)。显然移动台数量的变化具有无后效性,是马尔柯夫过程。

设系统共有 M 个小区,记 $X(t) = [X_1(t), X_2(t), \dots, X_M(t)]$ 为 t 时刻系统中各小区的移动台数量; $X(t-1) = [X_1(t-1), X_2(t-1), \dots, X_M(t-1)]$ 为 $(t-1)$ 时刻系统中各小区的移动台数量; $m(t) = [m_1(t), m_2(t), \dots, m_M(t)]$ 为 $[t-1, t]$ 时间内各小区补充(或减少)的移动台数量,其中 $m_i(t)$ 为 $[t-1, t]$ 时间内小区 i 中新增(或减少)的移动台数量。

现构造移动台的转移矩阵如下:

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1M} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{M1} & \alpha_{M2} & \cdots & \alpha_{MM} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 α_{ij} 表示移动台从小区 i 到小区 j 的概率,则

$$X(t) = X(t-1) \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1M} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{M1} & \alpha_{M2} & \cdots & \alpha_{MM} \end{bmatrix} + m(t) \quad (4)$$

式中转移矩阵可以根据历史数据进行估算,也可以通过分析蜂窝系统其他参数,间接得到转移矩阵。这样可以得到小区 i 中移动台的时间变化关系:

$$X_i(t) = X_1(t-1)\alpha_{1i} + X_2(t-1)\alpha_{2i} + \cdots + X_i(t-1)\alpha_{Mi} + m_i(t) \quad (5)$$

假定系统中各个小区呼叫发起率的统计向量为 $\Lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_M]$,那么小区 i 某时刻呼叫量的估计值为 $A_m(t) = X_i(t) * \lambda_i$ 。

2.3 呼叫量变化的递推模型

设 $A(t) = [A_1(t), A_2(t), \dots, A_M(t)]$ 为 t 时刻各小区的呼叫量组成的向量。小区 i 在 t 时刻前来到到的呼叫量 $Y_i(t)$ 是一个随机过程。已知现在 t_0 时刻前的呼叫量,未来某时刻的呼叫量只依赖于该时刻前的呼叫量,因此 $A(t)$ 具有无后效性,是马尔柯夫过程。

构造呼叫量转移矩阵如下:

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \cdots & \beta_{1M} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \cdots & \beta_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{M1} & \beta_{M2} & \cdots & \beta_{MM} \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中 β_{ij} 表示小区 i 向小区 j 的呼叫转移概率,这样可得到某时刻各小区呼叫量的递推表达式:

$$A_c(t) = A_c(t-1) \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \cdots & \beta_{1M} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \cdots & \beta_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{M1} & \beta_{M2} & \cdots & \beta_{MM} \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中转移矩阵同样可根据历史数据进行估算,也可以通过分析蜂窝系统其他参数,间接得到转移矩阵。

2.4 最优组合预测模型

前面得到两个预测结果,为了提高预测的准确性,下面给出一种最优组合预测模型,令

$$A_t = \theta_m A_{mt} + \theta_c A_{ct} \quad (8)$$

其中 θ_m, A_{mt} 及 θ_c, A_{ct} 分别为基于移动台模型的组合系数及相应的预测值和基于呼叫量转移模型的组合系数及相应的预测值, A_t 为组合后得到的估计呼叫量, 且

$$\theta_m + \theta_c = 1 \quad (9)$$

设 a_t 为 t 时刻实际的呼叫量, A_{mt} 和 A_{ct} 分别为基于移动台分布模型和基于呼叫量转移矩阵得到的 t 时刻的呼叫量, $e_t = a_t - A_t$ 为联合预测模型的预测误差, $e_{mt} = a_t - A_{mt}$ 及 $e_{ct} = a_t - A_{ct}$ 分别为用移动台分布模型和呼叫转移矩阵得到的呼叫量在 t 时刻的误差。

令 $\Theta = [\theta_m \ \theta_c]^T$; $E_t = [e_{mt} \ e_{ct}]^T$; $E = E_t E_t^T$, 则系数的确定可归结为求下面的优化问题:

$$\min \sum_{t=1}^N \Theta^T E \Theta, \quad \text{s.t.} \quad \Theta^T \Delta = 1 \quad (10)$$

式中, $\Delta = [1 \ 1]$, N 为实测点总数。由上式确定的优化系数, 得到组合预测模型为

$$A_t = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (e_{ct}^2 - e_{mt} e_{ct})}{\sum_{i=1}^N (e_{mt} - e_{ct})^2} \right] A_{mt} + \left[\frac{\sum_{i=1}^N (e_{mt}^2 - e_{mt} e_{ct})}{\sum_{i=1}^N (e_{mt} - e_{ct})^2} \right] A_{ct} \quad (11)$$

3 信道分配问题策略

基于上述预测模型可以得到区群中, 各小区的业务量分别为 A_1, A_2, \dots, A_K , 其中 K 表示蜂窝系统的复用模式。另外假定系统可用的信道总数为 N , 要求的服务等级为 B 。

令信道数与业务量之间的关系为 $C = f(A, B)$, 其中 C 为信道数, A 为业务量。记小区 i 所需信道数随时间的变化关系为 $c_i(t)$, 令 $C_i = \max_i(c_i(t))$, ($1 \leq i \leq K$)。

假定小区 $1, 2, \dots, K$ 中所分配的固定信道数分别是 F_1, F_2, \dots, F_K , 可使用的动态信道总数为 D , 那么在正常的运行条件下, 须满足

$$\left. \begin{aligned} F_1 + D &\geq C_1 \\ F_2 + D &\geq C_2 \\ &\vdots \\ F_K + D &\geq C_K \\ \sum_{i=1}^K F_i + D &\leq N \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

由式 (12) 得

$$D \geq \frac{\sum_{i=1}^K C_i - N}{K-1} \stackrel{\text{def}}{=} D_{\min} \quad (13)$$

这样, 基于 D_{\min} , 将蜂窝系统分成“冷点区域”和“热点区

域”, 具体含义及分配算法如下。

3.1 “冷点区域”分配策略

所谓冷点区域, 即 $D_{\min} \leq 0$ 。若 $D_{\min} < 0$, 意味着系统提供的信道数大于在一个区群中各小区在满足该服务等级下所需的信道数峰值之和, 即 $N \geq \sum_{i=1}^K \max_i(c_i(t))$ 。此时服务区中用户的需求没有达到系统容量, 因此只需给各小区分配一定的固定信道数就可满足要求, 将剩余信道设置为动态部分, 作为备用信道, 随时准备为某个小区的突发业务服务。具体的动静信道数为

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= C_1 \\ F_2 &= C_2 \\ &\vdots \\ F_K &= C_K \\ D &= N - \sum_{i=1}^K C_i \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

当然也可以将这些动态信道固定地分配给某个或某几个可能增大业务量的小区, 此时 F_1, F_2, \dots, F_K 的取值范围分别变为 $[C_1, C_1 - (K-1)D_{\min}]$, $[C_2, C_2 - (K-1)D_{\min}]$, \dots , $[C_K, C_K - (K-1)D_{\min}]$ 。

若 $D_{\min} = 0$, 意味着系统所能提供的容量恰好满足区群内各小区用户的最大需求, 即 $N = \sum_{i=1}^K \max_i(c_i(t))$ 。此时, 根据各小区最大业务量所需的信道数设置固定信道, 这种情况也是资源利用率最高的情况。具体的固定信道数应取为 $F_i = C_i$, ($i = 1, 2, \dots, K$), 动态信道数 $D = 0$ 。

3.2 “热点区域”分配策略

所谓热点区域, 即 $D_{\min} > 0$, 这意味着在一个区群中各小区在该服务等级下所需信道的最大值之和大于系统可用的信道总数, 即 $N < \sum_{i=1}^K \max_i(c_i(t))$, 此时, 如果各小区的业务需求同时达到峰值, 则系统无法满足要求的性能指标。但若信道需求满足式 (15), 仍然可以运用优化的混合信道分配达到性能要求:

$$\max_i \left(\sum_{i=1}^K c_i(t) \right) \leq N \leq \sum_{i=1}^K \max_i(c_i(t)) \quad (15)$$

为了给出在这种情况下信道分配问题, 首先讨论如何用最少的资源代价取得最大的容量。假定在一定服务等级时区群内至少需要 M_D 个信道 (显然 $M_D \leq N$), 区内 K 个小区 t 时刻的信道需求分别为 $c_1(t), c_2(t), \dots, c_K(t)$, 则该区群 t 时刻所需的信道数为 $q(t) = \sum_{i=1}^K c_i(t)$ 。这样在服务等级为 p 的情况下可将最佳动静信道比的求解归结为如下的优化问题:

$$\begin{aligned} \min D \quad & |_P \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} F_1 + D_1(t) = c_1(t) \\ F_2 + D_2(t) = c_2(t) \\ \vdots \\ F_K + D_K(t) = c_K(t) \\ \sum_{i=1}^K (F_i + D_i(t)) = M_D \\ D_1(t) \geq 0 \\ \vdots \\ D_K(t) \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (16)$$

式中 $c_i(t), D_i(t)$ 分别为 t 时刻 i 小区所需的信道数量和分配的动态信道数量; F_i 是小区 i 所分配的固定信道数。由上式可以求得当 $D_{\min} > 0$ 时, 信道分配的最佳静动信道比为

$$F_i / D_{\text{Opt}} = \frac{\min(c_i(t))}{N - \sum_{i=1}^K \min(c_i(t))} \quad (17)$$

其中 $1 \leq i \leq K$ 。这时业务需求量可能并未达到系统所提供的容量, 信道裕量为 $[N - \max_i(\sum_{i=1}^K c_i(t))]$, 这一部分裕量可以固定地分配给各小区, 也可将其设置为动态信道。

由式 (16) 决定的动态信道数量和固定信道数量是一种最佳的信道分配方案。这种方案可以达到最大的系统容量, 同时最大程度地降低设备冗余度, 节省资源。

4 仿真实验

仿真模型如图 1 所示, 它包括 49 个蜂窝, 信道的复用模式为 7, 呼叫的到达呈泊松分布, 服务时间为负指数分布。图中阴影部分为几个热点区域, 本文重点考察热点区域的性能。

在方案的仿真中, 首先按照式 (18) 的一阶自回归 AR(1) 模型产生一个时间序列作为预测样本(其中 u 和 v 为常数、 W_t 是高斯白噪声)。由该样本可以估测出式 (3) 与式 (6) 两种模型中转移矩阵 α, β , 然后由式 (11) 可计算出最优模型的组合系数, 结果见表 1。

$$a_t = ua_{t-1} + vW_t \quad (18)$$

为了检验方案的有效性, 再产生一个时间序列作为测试样

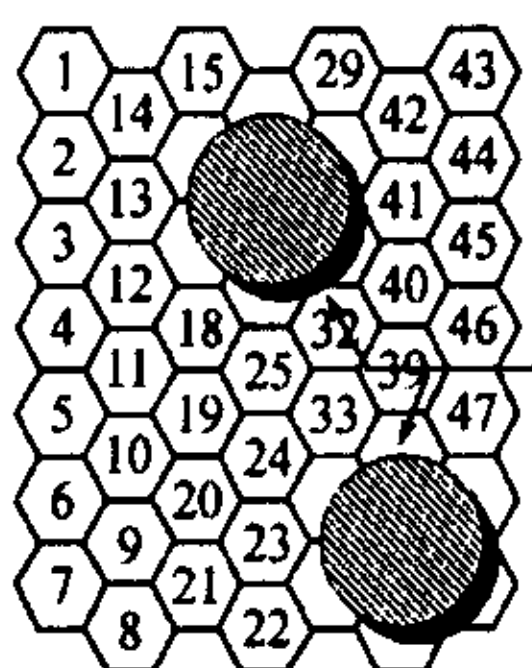


图 1 仿真蜂窝示意图

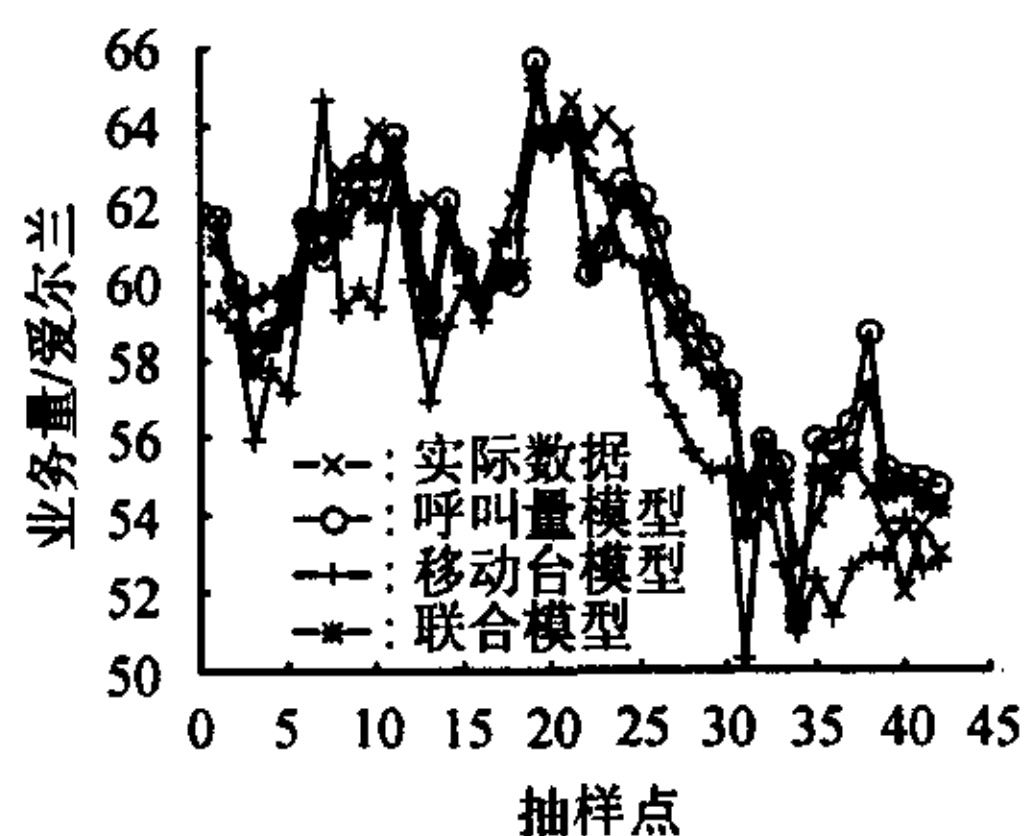


图 2 预测结果比较

本, 由式 (5) 和式 (7) 可以得到两组值, 然后可以由组合系数得到基于最优组合模型的预测值。仿真结果如图 2, 图中显示了 3 种预测结果与实际测试样本的差异情况。为了更清楚地体现组合方案的优势, 由下式计算出 3 种方案的预测值与实际值的均方误差:

$$e^{(i)} = \sqrt{\sum_{t=1}^N (a_t - \bar{a}_i^{(i)})^2 / N} \quad (19)$$

其中 $e^{(i)}$, a_t , $\bar{a}_i^{(i)}$ 分别为采用模型 i 时的均方误差、实测的 t 时刻的呼叫量、 t 时刻的估测值, 计算结果见表 2。从仿真结果及均方误差都可以看出组合模型可以有效提高预测精度。

表 1 组合模型系数

名称	θ_m	θ_c
估计值	0.2581	0.7419

表 2 不同模型均方误差比较

预测模型	移动台模型	呼叫量模型	组合模型
均方误差	9.9770	6.3078	5.6181

另一方面考察本文给出的 OHCA 策略的呼阻性能, 并与固定信道分配及优化的动态信道分配(ODCA)方案比较, 仿真结果如图 3 所示。在信道分配过程中, 优先使用固定信道, 并当占用固定信道的呼叫结束后, 占有动态信道的呼叫即被切换到该区空闲的固定信道上。可以看出, 在满足一定呼阻率所需的信道数确定后, OHCA 方案可达到与 ODCA 方案基本一致的呼阻率, 若采用 FCA 策略, 则无法满足性能要求。图 4 是反映热点区域某小区的资源利用率情况, 可以看出 OHCA 较 DCA 有较高的利用率, 显然, 其计算复杂性大大小于 DCA, 而较 HCA 稍复杂一些。在本仿真实验中, 假设业务量变化较大, 如果业务量变化较小, 则 OHCA 方案将有更明显的优势。

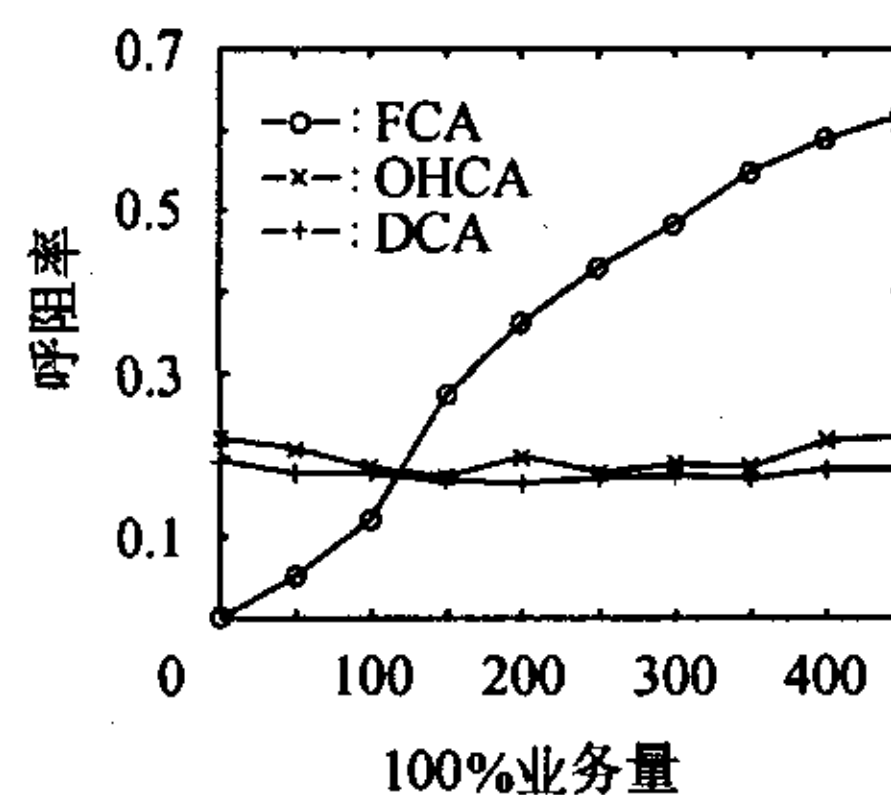


图 3 呼阻率比较

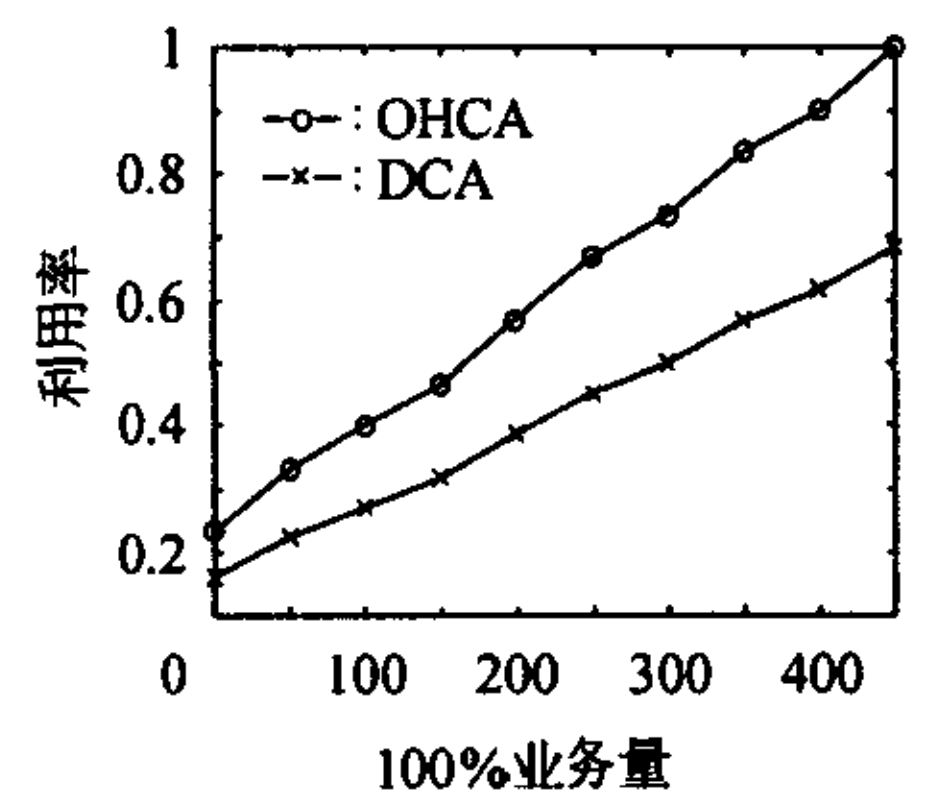


图 4 资源利用率比较

5 结论

业务预测对蜂窝移动通信中预防阻塞有特别重要的意义, 本文中从影响业务量变化的因素出发构造了一种最优组合马尔柯夫链预测模型, 分析和仿真表明该模型较单一模型

可以有效地提高预测精度, 基于该预测模型在服务系统时可以采取预防阻塞控制法。在此基础上, 将系统分成“热点区域”和“冷点区域”两类, 并提出了一种 OHCA 方案, 该方案有较小的呼阻率和较高的效率, 文中分析并给出了该方案中动静信道比例的定量关系。说明了动态信道与固定信道的比例与业务量变化的大小及相应的服务等级有关。该方案可以用来处理局部热点问题, 有较好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Zhang M, Yum T P. Comparisons of channel assignment strategies in cellular mobile telephone systems [J]. *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, 1989, 38(4): 211 – 215.
- [2] 党安红, 朱世华, 程江. 模块化分类紧致的信道分配方案及性能分析. *电子学报*, 1999, 27(11A): 148 – 150.
- [3] Raymond P. Performance analysis of cellular networks [J]. *IEEE Trans. on Commun.*, 1991, 39(12): 1787 – 1793.
- [4] Foschini G J, Gopinath B, Miljanic Z. Channel cost of mobility [J]. *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, 1993, 42(4): 414 – 424.
- [5] 党安红, 汤俊雄, 朱世华. 蜂窝移动通信系统中一种新的优化信道分配模型. *电子学报*, 2003, 31(7): 1002 – 1004.
- [6] Kojima F, Sampei S, Morinaga N. An intelligent radio resource management scheme for multi-layered cellular systems with different assigned bandwidths. *IEICE Trans. on Commun.*, 1998, E81-B(12): 2444 – 2453.
- [7] Sarkar S, et al.. Channel assignment algorithms satisfying cochannel and adjacent channel reuse constraints in cellular mobile networks [J]. *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, 2002, 51(9): 954 – 967.
- [8] Yue W. Analytical methods to calculate the performance of a cellular mobile radio communication system with hybrid channel assignment [J]. *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, 1991, 40(2): 453 – 460.

党安红: 男, 1969年生, 博士后, 主要研究方向为无线通信、无线光通信、卫星通信等。

朱世华: 男, 1950年生, 教授, 博士生导师, 电信学院院长, 主要研究方向为移动通信、数据传输等。

汤俊雄: 男, 1941年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为自由空间光通信等。