

# 对一种新的基于实测的无线网络呼叫接入控制算法的性能研究<sup>\*</sup>)

伍仁勇 朱光喜

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

**摘要** 本文对一种新的基于实测的呼叫接入控制算法进行了仿真分析。研究结果表明预测算法均方差很小,同时不同多媒体业务的切换阻塞率和在总允许接入呼叫数中所占比例,在业务负载低于系统容量时满足要求;而在高负载情况下,性能出现分化,其中高带宽业务的服务质量下降更快。

**关键词** 呼叫接入控制,无线移动网络,时间序列分析,服务质量

## Evaluation on a Novel Measurement-based Call Admission Algorithm for Wireless/Mobile Networks

WU Ren-Yong ZHU Guang-Xi

(Department of Electronics & Information Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, 430074)

**Abstract** A novel measurement-based call admission algorithm for wireless mobile networks utilizing time series analysis is put forward in this paper. And the handoff-dropping probabilities and the proportions in the admitted sessions of every service types are comparatively studied through simulations, which results indicate that performances of different types can maintain good enough until the total traffic load below the system capacity. Otherwise, the quality-of-service (QoS) with higher bandwidth request will drop much more quickly.

**Keywords** Call admission control, Wireless/mobile networks, Time series analysis, Quality-of-service

### 1 引言

呼叫接入控制是无线资源管理的一个主要内容。为了确保切换掉线(阻塞)率,近来提出了一些分布式呼叫接入算法<sup>[1~3]</sup>来动态计算可能的切换掉线概率,以决定是否允许新呼叫接入。其中典型如阴影簇方案,假设系统中所有用户路由的细节信息已知,并被用来预测未来基站负载需求,从而降低切换呼叫掉线概率。这些分布式方案的主要缺点是算法计算量大,并且不同基站间需要状态信息的频繁交换,同时用户路由跟踪信息要准确。Epstein<sup>[4,5]</sup>提出了两个方案:多媒体单步预测(MMOSPRED)和独立多级单步预测(IMOSP-CS和IMOSP-RES),它们只需要用户移动参数基本信息和相邻基站的状态信息,简化了分布式算法。上述呼叫接入控制方案的基本思想,都是试图对影响呼叫用户资源需求的大量外部因素建模,而没有直接对切换呼叫的资源需求建模,算法复杂,并且算法的成功与否必须建立在对许多外部条件的理想化假设的基础上。算法实用性都比较差。

基于时间序列分析技术,文[6,7]仅仅使用本地基站信息直接对新到达呼叫的资源需求总量建模。由于资源需求模型的复杂性,预留资源的数量必须设置成置信区间的上限,这造成了带宽资源的浪费。同样,算法假设资源需求被大量的独立和弱依赖性的因子所影响,而没有直接对切换掉线数目建模。事实上,切换掉线数才是能准确刻画系统拥塞状态的主要状态参量,而切换呼叫的资源需求多变并在不同时期受不同的外部因素所决定,具有不同的应用模式。这些都影响了该方案的实用性。

作者提出了一种采用自回归滑动平均(ARMA)直接对切换呼叫掉线数建模的算法。通过预测下一时刻可能的掉线

数目,据此更新保证信道的预留门槛。该算法一定程度上克服了现存方案的不足,同时满足切换掉线概率,降低新呼叫的阻塞概率,从而最大化统计复用增益(系统允许接入最大呼叫数)。但是该方案并没有对不同业务类型分别独立处理,各类型业务在算法中的性能到底如何也没有讨论。本文将分析这一类呼叫接入算法在处理多媒体业务时的性能。

### 2 使用时间序列分析的基于实测算法

Kuok<sup>[8]</sup>将业务数据划分为三类:实时流、实时块和非实时业务。其中实时流业务要求一旦接入,在其会话期间至少确保最低限度的带宽资源,不允许中断连接。而实时块业务,其数据块的传输必须在有限期限内完成。非实时业务主要是指传统的基于文本的尽力服务业务,不携带任何时延敏感信息。

实时流业务对应于切换保证(Handoff-guaranteed)业务,不允许任何会话中断(掉线),对服务质量(QoS)的要求非常苛刻,预留资源只能被相应的切换保证业务使用。实时块业务对应于切换优先(Handoff-prioritized)业务,能够忍耐一定程度的延时,但是其业务中断概率(掉线率)必须限定在一个目标值以内,采用集中预留资源(如保证信道算法)来确保一个较低的目标切换掉线率。非实时业务连接建立不需要最小带宽,只有在网络资源空闲时才传送,不需要任何的呼叫接入控制和资源预留。在我们的算法里,按处理优先次序排列有三类实时业务:切换保证的切换呼叫(HGH),切换优先的切换呼叫(HPH)和新呼叫。我们为HGH呼叫预留足够的资源保证其掉线率为零,为HPH呼叫采用一种基于预测的动态保证信道算法。

考虑到下一时刻切换保证呼叫掉线数和目前及过去数值

<sup>\*</sup>基金项目:国家自然科学基金重大项目(No. 60496315);国家高技术研究发展计划(863)(No. 2003AA12331005)。伍仁勇 在读博士,主要研究方向为网络控制和管理。朱光喜 教授,博士生导师。

的相关性,作者提出了一个基于预测的动态保证信道方案。与传统方案不同的是,该方案没有采用马尔可夫(Markov)链,而是采用时间序列分析的回归滑动平均 ARMA( $p, q$ )模型:

$$X_t = c + \phi_p X_{t-p} + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (1)$$

其中  $c, \phi_i$  和  $\theta_i$  是未知参数,  $\{\varepsilon_t\}$  是白噪声,均值为 0, 方差为  $\sigma^2$ 。当  $q=0$ ,  $X_t$  只和  $p$  个过去的值相关,记为自回归模型 AR( $p$ )。

$$X_t = c + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2)$$

实际应用中低阶 AR 模型 ( $p=1, 2$ , 或 3) 一般就足够了。在本文算法中,在每个时刻,记录当前和最近的两个切换呼叫掉线数目,则下一个时刻的可能切换掉线数目的预测值用 3 阶 AR 线性预测模型表示为:

$$\tilde{H}_D(n+1) = \phi_1 H_D(n) + \phi_2 H_D(n-1) + \phi_3 H_D(n-2) \quad (3)$$

这里  $H_D(n-i)$  ( $i=0, 1, 2$ ) 表示当前和最近的两个切换呼叫掉线数目,  $\tilde{H}_D(n+1)$  表示下一个时刻的可能切换掉线数目的预测值。实际中,如果已经给定预测值和实际值,我们可以简单定义一个均方差(MSE)来刻画预测算法的性能。这里  $\hat{y}$  是预测值,  $y_t$  表示真值。

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^N (y_t - \hat{y}_t)^2}{N} \quad (4)$$

用  $H_N(j)$  表示  $j$  时刻的切换优先呼叫的到达数,则掉线概率( $P_D$ )可以用类似于时间序列分析中的指数平均(exponential smoothing)技术计算得到。

$$P_D(j) = (1 - \kappa(j)) P_D(j-1) + \kappa(j) \frac{H_D(j)}{H_N(j)} \quad (5)$$

其中权值  $\kappa(j) = H_N(j)/M$ 。  $M$  是一个确保上式既能在统计意义上反映掉线概率,又能有效反映其动态变化的参数,表示在多少个呼叫接入后计算掉线率才有意义。

$$M = 10 \left( \frac{1}{P_{D\text{-tar}}} \right) \quad (6)$$

其中  $P_{D\text{-tar}}$  表示目标掉线率。

本文动态门限调整算法在满足掉线率目标值  $P_{D\text{-tar}}$  的前提下,尽量提高  $Th$  门限值,即降低新呼叫阻塞率,提高系统统计复用增益。算法概述如下:

```
更新  $\tilde{H}_D(n+1)$  and  $P_D$ 
if 有 HPH 切换发生
    if  $P_D > P_{D\text{-tar}}$ 
         $Th = Th - a * \tilde{H}_D(n+1)$ 
    else
         $Th = Th - b * \tilde{H}_D(n+1)$ 
else
    if  $P_D < P_{D\text{-tar}}$  &  $\sum_{i=0}^2 H_D(n-i) > 0$ 
         $Th = Th + c * \tilde{H}_D(n+1)$ 
    if  $P_D < P_{D\text{-tar}}$  and  $\sum_{i=0}^2 H_D(n-i) = 0$ 
         $Th = Th + d$ 
```

图 1 基于预测的动态保证信道算法

这里  $a, b, c$  和  $d$  是四个调节因子,将预测掉线数映射为带宽资源,是  $H_D(n-i)$  ( $i=0, 1, 2$ ) 和到达率( $\lambda_P$ )的函数。

### 3 数值仿真

本文采用统计自驱动离散事件模型仿真一个单蜂窝系统, MATLAB 6.5 编程。假设新呼叫请求数和切换到达数都服从泊松分布,连接的生存周期服从  $\eta$  的负指数分布。在下一代多媒体无线网络中,每一个呼叫请求申明一个具体的业务种类和优先级<sup>[9]</sup>,每一业务种类对应于从最差的保证位速率到最好的最大位速率的一系列服务质量等级。本文假设

有三类实时多媒体业务,例如视频、音频和话音,它们在产生的任何新呼叫接入或切换呼叫中分别各占 25%、25% 和 50% 的比例。它们要求的最高带宽资源分别是 4、2 和 1 个单位带宽,最低为 1.4、0.7 和 0.48 个单位带宽,中间划分为 25 个等级。这里小数表示分配带宽可以小于一个单位带宽,实际对应于包交换的数据传输。仿真算法采用 Hopfield 神经网络(HNN)算法在 25 个等级中动态分配资源带宽,因为不在本文讨论范围内,这里不多加赘述。

假设单蜂窝系统的系统容量  $C_T = 100$ , 切换保证业务  $\lambda_G = 0.05$  呼叫/秒,  $\eta_G = 25$  秒;切换优先业务  $\eta_P = 50$  秒;新呼叫业务  $\lambda_N = 0.5$  呼叫/秒,  $\eta_N = 100$  秒。仿真目标掉线率  $P_{D\text{-tar}}$  设为 0.01。仿真选取文[10]基于实测的计时器算法(下文记为 Timer)和文[7]的本地预测算法作为参照(下文简称计时算法),其中计时器设为 120 秒。保证信道门限  $Th$  的初值取 100,即等于  $C_T$ 。等式(3)中的 ( $\phi_i = 1, 2, 3$ ) 分别简单取值为 0.9、0.05 和 0.05。

本文仿真中,图 1 动态门限调整算法中  $a, b, c$  和  $d$  四个因子按下式计算。显见,  $a$  是最低带宽按比例换算的带宽值,是三类多媒体业务最低带宽需求按所占比例的加权和。

$$a = 1.4 \times \frac{1}{4} + 0.7 \times \frac{1}{4} + 0.48 \times \frac{2}{4} = 0.765 \quad (7)$$

$$b = \alpha \cdot \lambda_P \quad \alpha < 1 \quad (8)$$

$$c = \beta \cdot \lambda_P \quad \beta < 1 \quad (9)$$

$$d = \gamma + \rho \frac{1}{\lambda_P} \quad \gamma < 1 \quad (10)$$

这里,参数  $\alpha, \beta, \gamma$  和  $\rho$  是依赖于实际具体系统的常量,本文仿真分别设为 0.1, 0.01, 0.01 和 0.1。

先与现有的基于维纳过程的预测方法<sup>[7]</sup>在资源利用率指标上进行比较。文[7]的固定预留水平设为 0.05 ( $P_{D\text{-tar}} = 5\%$ ),仿真结果显示平均过预留  $763 \pm 519$  kb/s, 对应呼叫数为  $10 \pm 7$  calls。图 2 显示了本文算法的均方差(MSE)。即使固定预留水平严格设为 0.01 ( $P_{D\text{-tar}} = 1\%$ ),在到达率达到 1.7 以前 ( $Th$  接近于 0), MSE 小于 0.1。可见预测误差非常小。

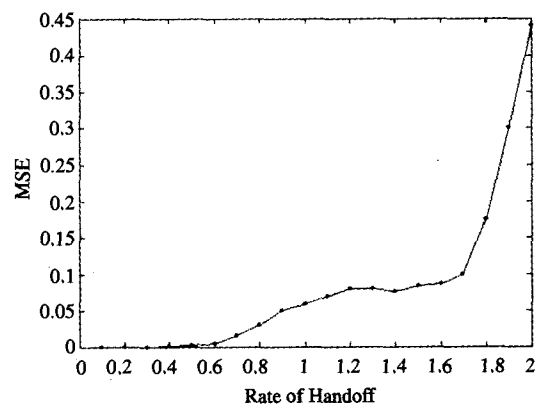


图 2 切换优先业务不同到达率(call/s)的预测均方差

为比较两种算法在不同业务负载下掉线概率、阻塞概率、 $Th$  门限值和统计复用增益的性能,将切换优先呼叫的到达率从 0.1 递增到 2, 算法其它参数保持不变。这里,本文算法和计时器算法(Timer)<sup>[10]</sup>在新呼叫阻塞率  $P_B$ , 切换呼叫的掉线率  $P_D$ , 统计复用增益和资源利用率等性能参数上比较。图 3 (a) 显示,当切换呼叫的到达率小于 1.0 前,两算法中的掉线概率先缓慢上升,然后都稳定保持在目标掉线率以内(本文

算法的掉线率高于计时算法)。当到达率超过 1.7 以后,此时爱尔兰负载值是系统容量(换算值)的 100%,二者都线性上升。从图 3(b)所示的系统统计复用增益在高负载情况下的差别,我们可以看到,两个算法的统计复用增益一直增加,直到切换到到达率为 1.1,此时系统的爱尔兰负载(换算值)是 106.75,接近系统容量换算值的 80%。然后统计复用增益下降,直到切换到到达率等于 1.6(1.7,接近系统容量换算值的

100%),然后近似线性上升。线性上升的可能原因是,当切换呼叫的到达率大于 1.7 后,小带宽需求的呼叫与大带宽需求的呼叫接入相比,形成了事实上的高优先级。当切换呼叫的到达率大于 1.7 后,此时接入系统的多媒体业务中,小带宽需求业务类型所占比例不断上升,使整个系统统计复用增益上升。

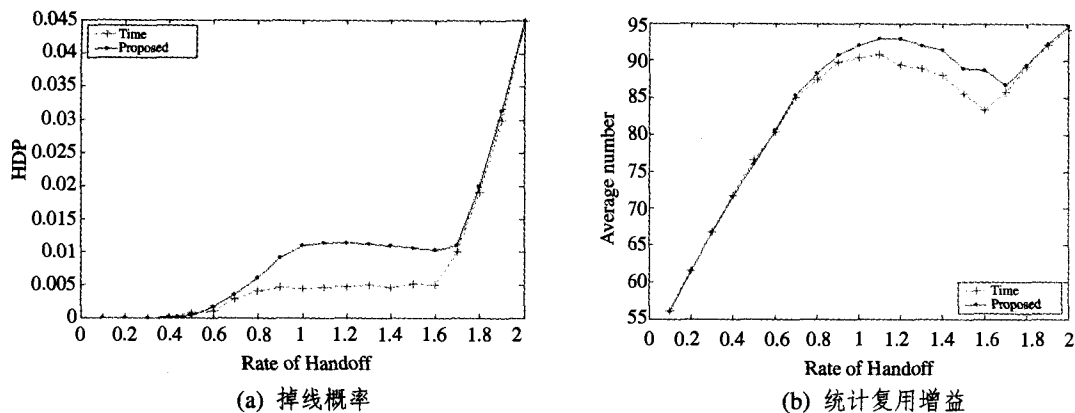


图 3 切换优先业务不同到达率(call/s)的系统性能

图 4 对在不同到达率情况下三类不同业务分别的掉线概率和业务接入比例进行了仿真。图 3(a)显示,当爱尔兰负载(换算值)接近系统容量(换算值)的 104%之前,三类业务的切换呼叫阻塞率基本相等,两种算法中都无需区别对待。随着负载继续上升,三类业务的掉线概率差距渐渐拉开,低带宽

业务具有事实上的高接入优先级,高带宽业务具有事实上的低接入优先级。图 4(b)表明,类型 3 接入比例上升,而类型 1 的比例下降,类型 2 的比例基本维持不变。这证明了低带宽业务具有事实上的高接入优先级。

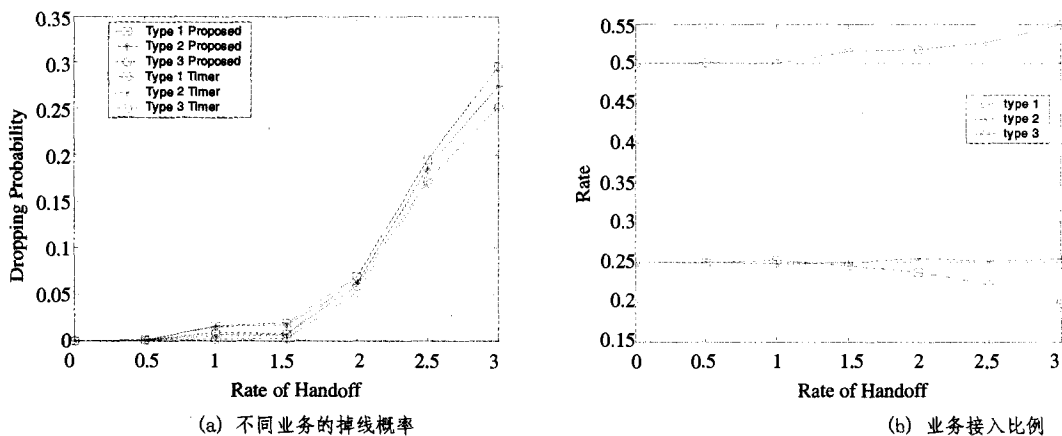


图 4 切换优先业务不同到达率(call/s)各业务类型的掉线概率和所占比例

**结论** 本文对一类新的基于实测的呼叫接入控制算法进行了性能仿真分析。仿真结果表明不同业务负载下,掉线率略有提高,但是爱尔兰负载值在系统容量 104%之前仍满足目标掉线率的要求。当爱尔兰负载值大于系统容量后,低带宽业务具有事实上的高接入优先级,反之,高带宽业务具有事实上的低接入优先级。

参考文献

- 1 Naghshineh M, Schwartz S. Distributed call admission control in mobile/wireless networks, IEEE J. Select. Areas Commun, May 1996, 14, 711~717
- 2 Wu S, Wong K Y M, Li B. A new distributed and dynamical call admission policy for mobile wireless networks with QoS guarantee. In Proc. 9<sup>th</sup> IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol. 1, Sept. 1998, 260~264
- 3 Levine D, Akyildiz I, Naghshineh M. A resource estimation and call admission algorithm for wireless multimedia networks using

- the shadow cluster concept. IEEE/ACM Trans. Networking, Feb. 1997, 5, 1~12
- 4 Epstein B, Schwartz M. QoS-based predictive admission control for multi-media traffic. In Broadband Wireless Communications, M. Luise and S. Pupolin, Eds. Berlin, Germany; Springer-Verlag, 1998, 213~224
- 5 Epstein B, Schwartz M. Predictive QoS-based Admission Control for multiclass traffic in cellular wireless networks. IEEE J. Select. Areas Commun, March 2000, 18, 523~534
- 6 Zhang T, et al. Local predictive resource reservation for handoff in multimedia wireless IP networks. IEEE J. Select. Areas Commun, Oct. 2001, 19, 1932~1941
- 7 Dias K L, et al. Predictive call admission control for all-ip wireless and mobile networks. ACM LANC'03 OCT, 2003, 3~5
- 8 Kuok T C. Residential Broadband Internet Services and Applications Requirements. IEEE Communications Magazine, June 1997, 35, 76~83
- 9 3GPP. QoS concept and architecture. Technical specification TS 23.107 (march 2002). <http://www.3gpp.org>
- 10 Huang L, Kumar S, Kuo C-C J. Adaptive resource allocation for multimedia QoS management in wireless networks. IEEE Trans. Veh. Technol, March 2004, 53, 547~558