

## 基于模糊逻辑的呼叫允许控制研究

马育锋 胡修林 张蕴玉

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

**摘要:** 无线频谱资源的缺乏以及用户的移动性使无线网络的服务质量的供给成为一个日益严峻的问题。为了满足服务质量的需要, 该文提出蜂窝移动通信系统的一种模糊呼叫允许控制方案。它自动搜寻基站中保护信道数量的最优值, 使资源得到合理的利用并保证服务质量的供给。对提出的模糊方案和一种动态信道预留方案进行了仿真比较, 仿真结果表明模糊方案具有较强的鲁棒性, 方案的呼叫阻止率、切换掉线率和信道利用率等性能参数都优于自适应方案。

**关键词:** 无线网络, 模糊, 呼叫允许控制, 服务质量, 保护信道

中图分类号: TN929.53

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2005)10-1635-04

## Call Admission Control Using Fuzzy Logic in Wireless Networks

Ma Yu-feng Hu Xiu-lin Zhang Yun-yu

(Dept of Electron. & Inform. Eng., Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract** Scarcity of the spectrum resource and mobility of users make Quality-of-Service(QoS) provision a critical issue in wireless networks. This paper presents a fuzzy call admission control scheme to meet the requirement of QoS. It searches automatically the optimal number of the guard channels in a base station to make an effective use of resource and guarantee the QoS provision. Simulation compares the proposed fuzzy scheme with a dynamic channel reservation scheme. Simulation results show fuzzy scheme has a better robust performance. It outperforms the adaptive scheme in terms of call dropping probability, call blocking probability, and channel utilization.

**Key words** Wireless networks, Fuzzy, Call Admission Control(CAC), QoS, Guard channel

### 1 引言

在目前以及下一代无线网络中, 蜂窝拓扑在电信体系结构中仍然是一个主要的部分。蜂窝系统采用频率复用技术通过限制每个基站的传输覆盖在一个小的地理范围(称为小区)内来实现高的容量。当用户在通信过程中从一个小区移动到另一个小区时, 切换操作就会发生。移动用户在他们的连接过程中可能会多次改变小区。特别是在将来的微蜂窝及微微蜂窝网络中, 切换操作出现的频率将比目前的宏蜂窝网络大得多。由于用户的路线和各个小区资源的可用性通常不能预先知道, 使无线网络的服务质量的供给成为一个日益严峻的问题。

呼叫允许控制(CAC)方案是一种保证服务质量的重要机制, 用来决定是否承认一个新呼叫的接入。如果网络不能满足呼叫用户的请求, 呼叫请求将被拒绝。在蜂窝无线网络中, 服务质量有两个重要的参数。一个参数是呼叫阻止率(Call Blocking Probability, CBP), 表明新呼叫由于小区缺乏资源而被拒绝接入的概率; 另一个参数是呼叫掉线率(Call Dropping Probability, CDP), 表明呼叫在切换过程中由于目的

小区资源不足而造成掉线的概率。从用户的观点来看, 一个呼叫在连接过程中被中断比一个新呼叫被阻止更令人难以接受。因此, 在呼叫允许控制中通常给切换呼叫以更高的优先级。优先切换的方法包括保护信道方法和切换排队方法。在保护信道方法中, 每个小区专门为切换需求预留一部分信道资源。静态预留方案为切换呼叫预留固定数量的信道, 当切换呼叫远小于新呼叫时, 会浪费宝贵的频谱资源。而动态预留方案通过动态调节切换呼叫与新呼叫的信道共享率, 能提供有效的资源利用率。切换排队方法在切换呼叫分配不到信道的情况下进行排队等候, 当有资源空闲时, 队列中的切换呼叫将得到服务。

目前, 许多呼叫允许控制方案旨在减小呼叫阻止率和切换掉线率, 同时最大化资源利用率来满足系统需求<sup>[1-6]</sup>。当切换掉线率减小时, 呼叫阻止率会相应地增加。因此, 很难同时保证呼叫阻止率和切换掉线率都最小。减小切换掉线率成为无线网络中提供服务质量的主要目标之一。

本文基于模糊逻辑提出了蜂窝移动通信系统的一种智能呼叫允许控制方案, 基于保护信道的方法, 考虑了服务质

量的要求,设计了模糊控制器,方案根据切换掉线率和当前的保护信道数量及时调整保护信道数量为最优值,使资源得到有效利用,并使切换掉线率和呼叫阻止率均达到较低值。

本文余下部分是这样安排的:第2节对呼叫允许控制的方法和模型进行了分析,第3节详细地给出了模糊呼叫允许控制方案,第4节对模糊方案和一种动态信道预留方案进行了仿真比较,第5节给出了结论。

### 2 呼叫允许控制的方法和模型分析

每个小区总的信道数  $C$  可分成两部分。一部分是专门为切换呼叫预留的信道(保护信道)  $C_h$ , 另一部分是切换呼叫和新呼叫的共享信道  $C - C_h$ 。当系统忙信道数  $B < C - C_h$  时,新呼叫可以接入系统;当  $B < C$  时,切换呼叫可接入系统。

假设新呼叫和切换呼叫的到达是独立的泊松过程,新呼叫到达率为  $\lambda_n$ ,切换呼叫的到达率为  $\lambda_h$ ,服务时间服从负指数分布,均值为  $1/\mu$ 。对容量为  $C$  的小区,可看作最多有  $C$  个服务窗工作,系统排队模型为  $M/M/C$ 。系统可能出现的状态为  $E = \{0,1,2,\dots,C\}$  中之一。模型的稳态转移概率图如图1所示。

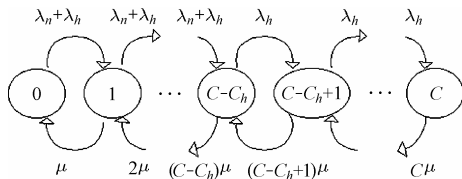


图1 稳态转移概率

设  $P_j$  表示状态  $j$  时的稳态概率,由生死过程的分析可得到系统在状态  $j$  时的概率  $P_j^{[1,4]}$ :

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^{C-C_h} \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^k}{k! \mu^k} + \sum_{k=C-C_h+1}^C \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^{C-C_h} \lambda_h^{k-C+C_h}}{k! \mu^k} \right]^{-1} \quad (1)$$

$$P_j = \begin{cases} \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^j}{j! \mu^j} P_0, & 1 \leq j \leq C - C_h \\ \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^{C-C_h} \lambda_h^{j-C+C_h}}{j! \mu^j} P_0, & C - C_h + 1 \leq j \leq C \end{cases} \quad (2)$$

当系统忙信道数大于  $C - C_h$  时,新呼叫被阻塞,因此呼叫阻止率为

$$CBP = \sum_{j=C-C_h}^C P_j \quad (3)$$

当忙信道数等于  $C$  时,切换呼叫被拒绝,切换掉线率为

$$CDP = P_C \quad (4)$$

### 3 模糊呼叫允许控制方案

在保护信道方法中,保护信道的数量对无线网络的性能

影响很大,它直接影响着网络的服务质量和资源的利用率。本文提出的模糊控制方案就是通过动态调整保护信道数量为最优值,来使资源得到有效地利用,并满足服务质量要求。

#### 3.1 模糊控制器结构

模糊集合的概念是经典集合的拓展。对于一个经典集合  $X$ ,元素  $\alpha$  可能属于  $X$  或不属于  $X$ ,而对于一个模糊集合,它是通过隶属函数来定义,其值域是  $0 \sim 1$  范围的闭集。模糊控制通过把人的经验加以总结,形成以语言和模糊数学描述的控制策略,容易对复杂系统和过程进行控制。模糊控制器由模糊化、模糊推理机、模糊规则库和解模糊化等部分组成。模糊控制器结构如图2所示。本文基于 Mamdani 模糊模型设计一个双输入单输出的模糊控制器。模糊控制器的输入语言变量是切换掉线率(CDP)和保护信道的数量( $C_h$ ),输出语言变量是保护信道数量的变化量( $\Delta C_h$ )。

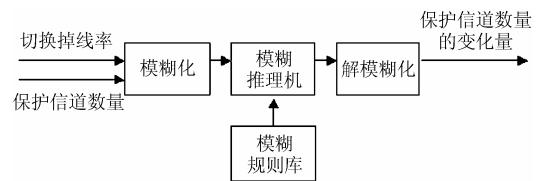


图2 模糊控制器结构

#### 3.2 隶属度函数

设输入变量切换掉线率的指标为 0.01,保护信道的最大数量为一个小区总容量  $C$  的 12%,因此,切换掉线率和保护信道数量的变化范围分别为  $[0, 0.01]$  和  $[0, 12\% C]$ ,输出变量保护信道数量的变化量的变化范围为  $[-12\% C, +12\% C]$ 。

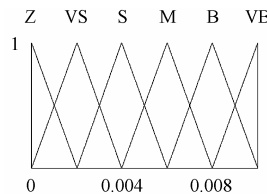
语言变量 CDP,  $C_h$  和  $\Delta C_h$  的辞集分别为

$$T(CDP) = \{Z, VS, S, M, B, VB\}$$

$$T(C_h) = \{VS, S, M, B, VB\}$$

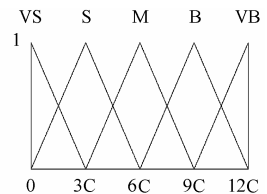
$$T(\Delta C_h) = \{NB, NM, NS, NVS, Z, PVS, PS, PM, PB\}$$

由于三角形函数简单而又实用,所以选择它作为隶属度函数。输入和输出语言变量的隶属度函数分别如图3~5所示。



Z: Zero VS: Very Small  
S: Small M: Middle  
B: Big VB: Very Big

图3 切换掉线率的隶属度函数



VS: Very Small S: Small  
M: Middle B: Big  
VB: Very Big

图4 保护信道数量的隶属度函数

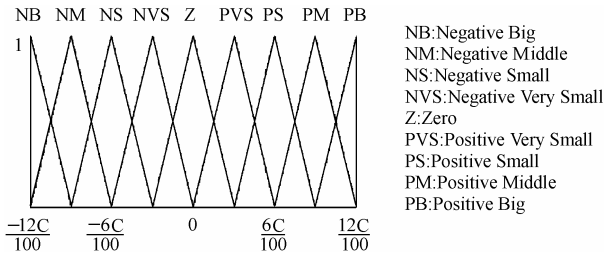


图 5 保护信道数量的变化量的隶属度函数

3.3 模糊规则库

模糊规则库由一系列模糊规则组成, 包括 30 条规则, 如表 1 所示。如果切换掉线率为小(Small), 而且保护信道数量是非常小(Very Small), 那么第 11 条规则会起作用, 使保护信道数量的变化量为正小(Positive Small)。

这样, 模糊控制器根据切换掉线率和当前的保护信道数量就能计算出保护信道数量的变化量。模糊化的输出变量通过解模糊过程按最大隶属度推理方法转换为精确值, 从而实现保护信道数量的动态调整。

表 1 模糊控制规则

规则数目	如果切换掉线率	而且保护信道数量	那么保护信道数量的变化量
R <sub>1</sub>	Zero	Very Small	Zero
R <sub>2</sub>	Zero	Small	Negative Very Small
R <sub>3</sub>	Zero	Middle	Negative Small
R <sub>4</sub>	Zero	Big	Negative Middle
R <sub>5</sub>	Zero	Very Big	Negative Big
R <sub>6</sub>	Very Small	Very Small	Zero
R <sub>7</sub>	Very Small	Small	Zero
R <sub>8</sub>	Very Small	Middle	Zero
R <sub>9</sub>	Very Small	Big	Zero
R <sub>10</sub>	Very Small	Very Big	Zero
R <sub>11</sub>	Small	Very Small	Positive Small
R <sub>12</sub>	Small	Small	Positive Very Small
R <sub>13</sub>	Small	Middle	Zero
R <sub>14</sub>	Small	Big	Zero
R <sub>15</sub>	Small	Very Big	Zero
R <sub>16</sub>	Middle	Very Small	Positive Middle
R <sub>17</sub>	Middle	Small	Positive Small
R <sub>18</sub>	Middle	Middle	Positive Very Small
R <sub>19</sub>	Middle	Big	Positive Very Small
R <sub>20</sub>	Middle	Very Big	Zero
R <sub>21</sub>	Big	Very Small	Positive Big
R <sub>22</sub>	Big	Small	Positive Middle
R <sub>23</sub>	Big	Middle	Positive Small
R <sub>24</sub>	Big	Big	Positive Very Small
R <sub>25</sub>	Big	Very Big	Zero
R <sub>26</sub>	Very Big	Very Small	Positive Big
R <sub>27</sub>	Very Big	Small	Positive Middle
R <sub>28</sub>	Very Big	Middle	Positive Small
R <sub>29</sub>	Very Big	Big	Positive Very Small
R <sub>30</sub>	Very Big	Very Big	Zero

4 仿真研究

4.1 仿真比较方案

为了评价提出的模糊方案的性能, 我们对模糊方案和文献[3]中的动态信道预留方案进行了仿真比较。文献[3]提出的自适应算法如下:

$\tau$  = time period for updating the measurements.

$H$  = total number of handoff calls into the present cell in the past  $\tau$  seconds.

$D_H$  = number of rejected handoff calls in the past  $\tau$  seconds.

$T_H$  = threshold for handoff call dropping probability.

If a handoff call is dropped and  $D_H / H \geq \alpha_u T_H$ , then  $C_h = \min\{C_h + 1, C_{max}\}$  where  $\alpha_u$  is  $\alpha$  threshold chosen as, e.g., 0.9.

If  $D_H / H \leq \alpha_d T_H$  for  $N$  consecutive handoff calls, then  $C_h = \max\{C_h - 1, C_{min}\}$ , where  $\alpha_d$  is another threshold chosen as, e.g., 0.6, and  $N$  is an integer chosen as, e.g., 10.

此算法根据时间周期  $\tau$  内的切换掉线率来自适应调整  $C_h$ , 使切换掉线率低于指标  $T_H$ , 同时通过减小  $C_h$  来降低呼叫阻止率。

4.2 仿真参数

为公平地比较模糊方案和文献[3]中的自适应方案, 我们采用文献[3]中的模型和参数。假设小区总信道容量为 50, 并且假设新呼叫和切换呼叫的到达是独立的泊松过程, 新呼叫到达率为  $\lambda_n$ , 切换呼叫的到达率为  $\lambda_h$ , 平均服务时间为  $1/\mu$ , 服从负指数分布, 设  $\lambda_n / \lambda_h = 5/1$ , 且  $1/\mu = 180$  s, 总仿真时间为 24h。

4.3 仿真结果

仿真得出的性能参数分别为切换掉线率、呼叫阻止率和信道利用率, 对新呼叫到达率从 10 次/min 到 35 次/min 之间变化进行了仿真。切换掉线率、呼叫阻止率和信道利用率作为新呼叫到达率的函数绘制成了图形。

模糊方案和自适应方案的切换掉线率的仿真曲线如图 6 所示。从图中可以看出, 当业务量变化时, 两种方案的 CDP 值均低于指标 0.01。当业务量较低(新呼叫到达率为 10 次/min)时, 两种方案的 CDP 相等。随着业务量的增加, 模糊方案的 CDP 明显低于自适应方案, 表明模糊方案有较强的鲁棒性能, 能适应不同业务量的变化。

呼叫阻止率的仿真曲线如图 7 所示。从图中可以看出, 对所有方案, 呼叫阻止率的值均随着业务量的增加而增加。当业务量较低(新呼叫到达率为 10 次/min)时, 两种方案的 CBP 相等, 两种方案均调整  $C_h$  为最小值 0 来降低呼叫阻止

率。随着业务量的增加,模糊方案的CBP低于自适应方案。表明提出的算法比自适应算法能更好地调节 $C_h$ 值,从而降低了呼叫阻止率。

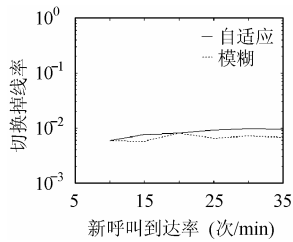


图6 切换掉线率

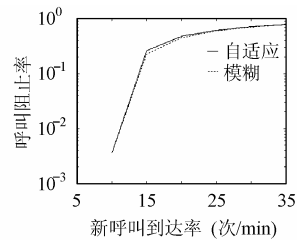


图7 呼叫阻止率

信道利用率的仿真曲线如图8所示。从图中可以看出,当业务量变化时,模糊方案的信道利用率高于自适应方案,表明模糊方案能更好地利用资源。

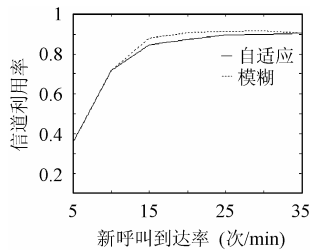


图8 信道利用率

## 5 结束语

本文基于模糊逻辑提出了蜂窝移动通信系统的一种呼叫允许控制方案,它能自动搜寻最佳的保护信道数量。仿真结果表明模糊方案优于自适应方案。模糊方案具有较强的鲁棒性能,它在减小切换掉线率的同时使呼叫阻止率保持较低,保证了网络的服务质量,同时也提高了网络的资源利用率。

## 参考文献

[1] Hong D, Rappaport S. Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and

non-prioritized handoff procedures. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 1986, 35(3): 77 – 92.

- [2] Oliveira C, Kim J B, Suda T. An adaptive bandwidth reservation scheme for high-speed multimedia wireless networks. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 1998, 16(6): 858 – 874.
- [3] Zhang Y, Liu D. An adaptive algorithm for call admission control in wireless network. *IEEE Global Telecommunications Conference*, San Antonio, Texas, USA, 2001: 3628 – 3632.
- [4] Ko Y C, Cho C H. Adaptive handoff guard channel allocation scheme using fuzzy logic in personal communications service. *IEEE ICUPC*, San Diego, CA, USA, 1997: 239 – 243.
- [5] Kim S, Varshney P K. An adaptive bandwidth reservation algorithm for QoS sensitive multimedia cellular networks. *Proc. of the 56<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conference*, Vancouver, Canada, 2002: 1475 – 1479.
- [6] Boumerdassi S. An efficient reservation-based dynamic channel assignment strategy. *IEE First International Conference on 3G Mobile Communication Technologies*, London, UK, 2000: 352 – 355.
- [7] Rappaport T S. *Wireless Communications Principles and Practice*. New York: Prentice Hall Inc., 1996, Chapter 2.
- [8] Ross T J. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. New York: McGraw-Hill, 1995, Chapter 13.

马育锋: 女, 1970年生, 博士生, 从事计算机网络、无线通信等方面的研究工作。

胡修林: 男, 1945年生, 教授, 博士生导师, 长期从事现代通信理论、通信系统、多媒体通信、计算机网络等方面的研究工作。

张蕴玉: 女, 1948年生, 副教授, 主要从事微型计算机应用、信号处理、信号检测及多媒体通信等方面的研究工作。