

# 移动通信系统自适应业务均衡算法

薛富国<sup>1,2</sup> 李建东<sup>1</sup> 庞继勇<sup>1</sup>

(1. 西安电子科技大学 综合业务网理论及关键技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071; 2. 中国移动集团陕西有限公司, 陕西 西安 710075 )

**摘要:** 提出一种新的基站覆盖控制和容量优化方法, 实现移动通信网络中的话务热点区域的业务自适应均衡。该算法根据基站的利用率自适应地调整其实际的覆盖半径, 借助于实际覆盖范围的控制实现基站间业务的均衡, 提高了系统的利用率。该方法简单有效, 适用于各种蜂窝移动通信系统。

**关键词:** 无线容量; 自适应控制; 业务均衡

中图分类号: TN929.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-2400(2007)S1-0005-04

## A new algorithm for coverage control and traffic balance of base stations in the mobile communication network

XUE Fu-Guo<sup>1, 2</sup> LI Jian-Dong<sup>1</sup> PANG Ji-Yong<sup>1</sup>

(1. State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071, China; 2. China Mobile Group ShaanXi Co. Ltd., Xi'an 710075, China)

**Abstract:** A new algorithm for adapting the coverage and capacity of a base station in mobile networks is proposed. The base station's coverage varies with its utilization. Then traffic balance between base stations is achieved and network utilization is improved through adaptive coverage adaption. The algorithm is simple and can be used in any existing and future mobile networks.

**Key Words:** Wireless Capacity; Self-adaptive Control; Traffic Balance

在蜂窝移动通信系统<sup>[1]</sup>中, 由于移动业务分布的不均衡性, 网络中总存在话务热点。基础网络中基站位置相对固定, 因此只有距离热点(业务量集中的区域)位置最近的基站能够吸收业务, 而相邻的其他基站即使信道空闲, 也难以有效的分担话务。要提高服务质量, 降低系统的拥塞率, 则需要扩大基站容量或者将热点小区的业务均衡到相邻的空闲基站。

由于网络中的参数设定后不能自动调整, 常规均衡业务的方法就是通过不断调整基站参数<sup>[2]</sup>(重选、切换、天线倾角)等。这些方法都需要人工干预, 并且效率有限。近年来也有学者将多跳技术引入蜂窝移动通信系统, 借助于多跳实现对话务热点的业务均衡<sup>[3,4]</sup>。文献[4]按照无线链路的相对质量来选择合适的接入点, 虽然对系统性能有了明显改进, 但是在热点基站业务量过高的情况下, 并没有给出好的解决办法。

研究表明, 如果基站的分布与业务量的分布一致, 则网络实际承载能力最大, 网络利用率最高<sup>[5]</sup>。实际上, 基站的分布很难处于理想地理位置, 且网络中业务量分布在不断变化, 实现基站业务量的自适应控制是提高网络承载能力的有效方法。考虑到高话务区域的基站较为密集, 基站间重叠覆盖比例较高, 笔者提出根据基站无线利用率的变化, 自动的进行基站覆盖范围的调整, 实现基站间业务的均衡。当基站利用率达到一定门限, 开始进行覆盖控制, 利用率升高, 减小基站的覆盖; 反之, 提高基站的覆盖范围。

## 1 系统模型

设移动通信网络中基站和移动台均匀分布, 且每个基站所能提供的无线容量相同。系统中存在一个热点基站,

收稿日期: 2007-06-05

基金项目: 国家自然科学基金和微软亚洲研究院联合资助项目(60372048); 国家自然科学基金重大项目(60496316); 国家863计划课题(2005AA123910); 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划; 教育部科学技术研究重点项目(104171)

作者简介: 薛富国(1977-), 男, 西安电子科技大学博士研究生。

且该基站同时被其他的相邻基站重叠覆盖, 当该基站覆盖面积减小时, 相邻的基站能够保证网络中的连续覆盖。该基站的主要参数如下(见图 1):

$R$  为基站的标称覆盖半径,  $r$  为基站实际的覆盖半径,  $S$  为基站的覆盖面积,  $\lambda$  为单位面积的业务量强度,  $u$  为基站的利用率,  $C$  为基站的容量,  $T$  为基站的业务量,  $c$  为基站覆盖半径减小的最大比例,  $t_h$  为基站进行覆盖控制的利用率门限。其中, 参数  $c$  与  $t_h$  是根据基站资源的配置、业务量分布等在服务质量(如拥塞率)和利用率之间折中得到。

设每个基站单位面积业务量强度为  $\lambda$ , 则基站的业务量等于该基站覆盖范围内业务强度与覆盖面积的乘积, 整个系统的业务量为所有基站的业务量之和。

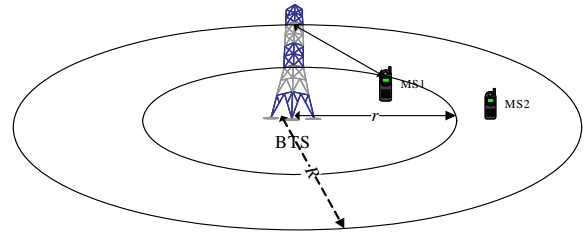


图 1 基站自适应控制示意图

$$T_i = \lambda_i S_i \quad (1)$$

$$\text{每个基站的利用率为: } u_i = T_i / C_i \quad (2)$$

$$\text{整个系统的利用率为: } u_i = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N C_i} \quad (3)$$

式中  $N$  为基站数量。在基站覆盖半径不变的情况下, 基站的业务量和利用率随业务量强度的增加直线上升。

## 2 自适应覆盖控制算法

在基站位置确定的条件下, 实现系统业务分布均匀的主要方法就是将热点基站的业务分流到周围的空闲基站。实现业务分流的方法很多, 可以通过各种参数的调整来实现, 但是都不能自动进行。由于利用率反映了基站自身承载的业务量与所能提供容量的比值, 因此根据利用率的高低能判断某处基站的业务量的高低。自适应控制算法过程如下: 当基站的利用率达到一定的门限, 就自动地进行覆盖距离的调整, 当利用率升高时, 减小基站覆盖距离; 反之, 则增加覆盖距离。以图 1 为例, BTS 标称覆盖半径和实际覆盖半径分别为  $R$ 、 $r$ , MS1、MS2 同时在 BTS 的标称覆盖范围之内。当 BTS 的业务量小的时候, 两个 MS 都可与 BTS 建立通信链路; 当 BTS 的业务量较大, 覆盖半径减小为  $r$ , MS2 即不能与 BTS 建立通信, 只能使用相邻基站的无线资源。相当于 BTS 通过减小自身的覆盖半径, 将 MS2 的业务量转移到相邻的基站。

将基站半径归一化, 即  $R=1$ 。给定业务量门限, 如基站的利用率门限  $t_h$ , 当基站的利用率达到或者超过门限  $t_h$  时, 其覆盖半径为:

$$r = \frac{1-c(u-t_h)}{1-t_h} \quad (4)$$

## 3 热点基站利用率分析

### 3.1 利用率的求解

基站按照式 (4) 进行控制后, 基站的覆盖半径随着利用率变化, 而利用率又会对基站的覆盖半径有影响。当系统覆盖半径和利用率稳定时, 二者的关系可以表述如式 (5):

$$u = \frac{\lambda \pi (1-c(u-t_h) / (1-t_h))^2}{C} \quad (5)$$

且满足  $0 \leq u \leq 1$ 。

根据一元二次方程解法求出： $u = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}) / (2a)$ ， (6)

其中  $a = (c / (1 - t_h))^2$ ， (7)

$b = -(2t_h a + \frac{2c}{1 - t_h} + \frac{C}{\lambda \pi})$ ， (8)

$c = 1 + \frac{2ct_h}{1 - t_h} + t_h^2 a$ 。 (9)

### 3.2 热点基站利用率、覆盖分析

设定热点基站系统参数为： $C = 50$ ， $t_h = 0.8$ ， $c = 0.4$ ， $\lambda$ 变化时系统的利用率和覆盖变化曲线见图2。

从图2中可以看到，随着 $\lambda$ 的增加，基站的利用率一直在增长，而利用率增加到 $t_h$ 门限的时候，利用率的增长明显变缓。当 $\lambda$ 超过45时，由于基站半径不再缩小，基站实际覆盖范围所产生业务大于基站提供的容量，所计算得到的利用率大于100%，此时系统开始出现拥塞现象。如果不采用覆盖控制，则利用率随着 $\lambda$ 直线上升，当 $\lambda$ 达到16的时候，基站的利用率就达到100%，随之出现拥塞。由此可见自适应的控制覆盖半径降低了热点基站的拥塞率。另外随着业务强度的增加，覆盖半径也逐渐减小，当达到 $1 - c$ 后不再减小。

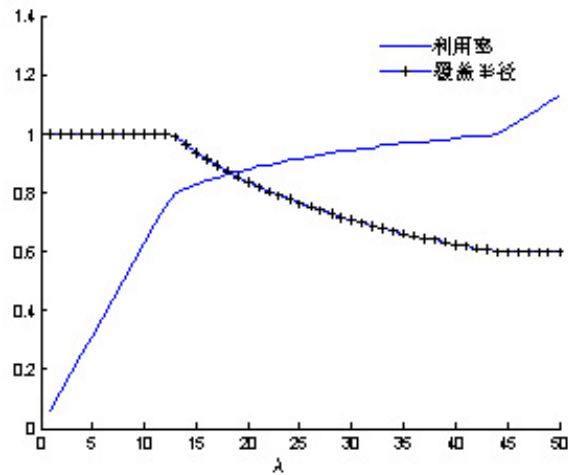


图2

## 4 网络性能分析

### 4.1 业务均衡因子

每个基站的业务时时都在变化，确保系统的容量最高的方法就是使得业务量在系统中比较均衡，也就是业务量的分布与基站所能提供的容量相一致。根据文献 [5]，定义系统业务均衡因子为：

$$b = \frac{\left( \sum_{n=1}^N \lambda_n S_n \right)^2}{\left( N \sum_{n=1}^N (\lambda_n S_n)^2 \right)} \quad (10)$$

如果  $T_n = T_{\text{mean}} = \frac{\sum_{n=1}^N T_n}{N}$ ， (11)

则  $b = 1$ ，系统容量最大 ( $N$  为基站个数)。

当某一个基站 (如基站 1) 业务量很高 (最高不超过  $C_1$ )，而其他基站没有业务量，则：

$$\lim_{T_n \rightarrow \infty} b = \frac{\left( \sum_{n=1}^N T_n \right)^2}{N \sum_{n=1}^N (T_n)^2} = \frac{\left( \sum_{n=1}^N \lambda_n S_n \right)^2}{N \sum_{n=1}^N (\lambda_n S_n)^2} = \frac{C_1^2}{N C_1^2} = \frac{1}{N} \quad (12)$$

在此情况下,系统容量最小。

#### 4.2 业务均衡性能分析

假设系统中有7个基站(图3),其中基站1为热点基站,且被周边6个基站所包围,基站2-7业务量相对较低。不考虑六边形与圆形覆盖区域的差异,设基站1实际覆盖半径内的移动台均与基站1通信,而其标称半径与实际覆盖半径之间的移动台被其他6个基站平均分担。因此,系统中7个基站的业务量分别为

$$T_1 = \lambda_1 \pi r_1^2 \quad , \quad (13)$$

$$T_i = \lambda_i \pi R_i^2 + \lambda_i \pi (R_1^2 - r_1^2) / 6 \quad i=2, \dots, 7 \quad 。 \quad (14)$$

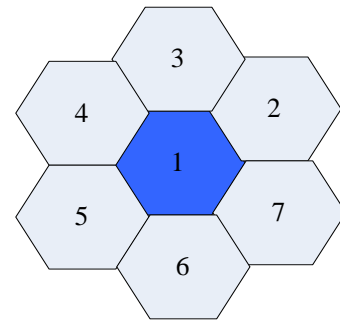


图3 基站分布图

图4给出了 $\lambda_i=5(i=2, \dots, 7)$ ,  $\lambda_1$ 从1到50变化时,采用自适应均衡前后,系统均衡因子的变化曲线。图中可以看出,在业务较小的时候( $<12$ ),业务均衡因子变化曲线一致,其原因是业务量小,没有启用自适应均衡;当 $\lambda_1=5$ , $b$ 值达到最高;当 $\lambda_1$ (基站1的业务量强度)增加到一定程度( $>12$ ),热点基站1利用率超过自适应均衡门限后,采用自适应均衡技术后的业务均衡因子明显高于不均衡的情况,且业务量越高,业务均衡的效果越大。图5可见,在热点基站业务量高的情况下,自适应均衡启动后,系统的利用率随着热点基站的业务量增加直线上升,如果不采用自适应均衡,则系统利用率一直保持在较低水平。

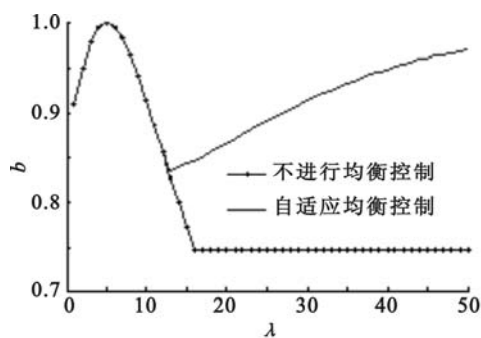


图4 系统均衡因子随热点业务变化

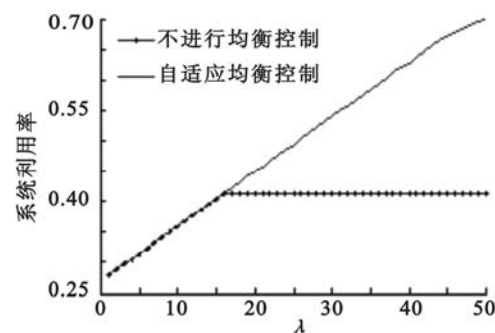


图5 系统利用率随热点业务变化

## 5 结束语

移动通信技术仍在不断的发展,无论采用何种无线接入技术,各种移动通信网络均存在着热点区域业务处理的难题。作者根据移动通信网络运行中的特点,提出了一种简单的自适应的控制网络覆盖的方法。该算法在不降低网络覆盖质量的情况下,实现了基站间业务的均衡。该算法在具体应用中可以通过基站的收发功率、切换参数等的自适应调整来实现。在当前或者未来的任何蜂窝移动通信系统中都有应用价值。

#### 参考文献

- [1] 郭梯云,杨家玮,李建东. 数字移动通信(修订本)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- [2] 韩斌杰. GSM原理及其网络优化[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [3] Aggelou G, Tafazolli R. On the Relaying Capacity of Next-Generation GSM Cellular Networks[J]. IEEE Personal Comm. Magazine, 2001, 8(1): 40-47.
- [4] Zhao D, Todd T. Cellular CDMA Capacity with Out-of-Band Multi-hop Relaying[J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2006, 5(2):170-178.
- [5] Zimmermann H M, Seitz A. Dynamic Cell Clustering in Cellular Multi-hop Networks[C]// Proc of ICCS. Singapore: IEEE, 2006:1-5.