

有 / 无线 ATM 混合网络传输容量动态分配方案¹

王 捷 李乐民

(电子科技大学宽带光纤传输与通信网国家重点实验室 成都 610054)

摘 要 以往对有 / 无线 ATM 混合网络传输容量(带宽)资源管理的研究或是局限于无线网络部分、或是局限于骨干(有线)网络部分,很少有人研究整个网络中涉及越区切换的链路的传输容量资源管理方案。本文将无线系统中越区切换对传输容量管理的影响扩展到骨干网,分别针对基站(BS)与基站控制器(BSC)之间的链路(包括空中接口)和基站控制器间的虚通道(VP),提出了自适应于各小区中各类呼叫业务量状态的传输容量动态分配和越区切换保护容量(Guard capacity)预约算法。通过对其性能的数值模拟分析,结果表明应用该算法时各类业务的阻塞率的比例与其指标要求的比例基本一致,因而可以适用于各类传输容量需求迥异的多媒体业务传输,使传输容量资源得以有效地利用。

关键词 有 / 无线 ATM 混合网, 容量分配, 越区切换, 业务分类

中图分类号 TN913.24

1 前 言

随着人们对多媒体业务通信和个人通信需求的增长,利用无线 ATM(W-ATM)技术直接接入骨干网(例如宽带综合业务数字网, B-ISDN)的有 / 无线 ATM 混合网成为研究热点。

W-ATM 网支持用户呼叫连接的越区切换。从用户的观点来看,因越区切换阻塞而造成的呼叫中断比新呼叫阻塞更令人难以容忍,所以通常可以在传输容量(带宽)分配中为越区切换呼叫预约一定的保护容量(Guard capacity),使越区切换呼叫阻塞率显著降低而新呼叫阻塞率仅有不明显的增加^[1-4]。但人们常会忽视了这样一个问题,即在宽带网络支持的多媒体业务中,因各种业务服务质量(QoS)要求不同,可能具有多种多样,相差悬殊的传输速率,若不采取任何措施,高速业务呼叫的阻塞率将比低速业务呼叫的阻塞率高;但如果采取措施设法接入高速业务呼叫,(如给高速业务呼叫以优先权),就又可能发生低速业务在短期内呼叫阻塞率很高的情况。而极少的、涉及 ATM 骨干网中与网络支持的越区切换相关链路上的传输容量资源分配问题的研究工作,例如文献^[5],却又没有考虑多媒体业务。

许多研究表明,在 ATM 网络中引入虚通道(VP)的概念可简化网络管理。因此在本文中,我们提出一种传输容量管理方案:先根据多媒体业务的特征和服务质量(QoS)要求进行业务和 VP 分类,然后根据无线蜂窝小区的业务量状况,对基站(BS)与基站控制器(BSC)之间的链路(包括空中接口)和 BSC 之间的 VP 进行传输容量分配(配给),并预约越区切换保护容量,使各类业务越区切换呼叫阻塞率都满足系统设计指标要求。在该方案中,我们假设采用在两个 BSC 之间相应的 VP 上为越区切换呼叫建立延伸连接、同时为切换后的呼叫连接重选最佳路由的两阶段“网络支持”越区切换方案。由于传输容量分配是动态进行的,故不会产生文献^[4]中指出的因各类业务传输容量固定分配而导致容量资源利用率降低的问题。考虑到应用“等效带宽”作为可变比特率(VBR)业务的统计复用传输容量需求比较保守,因此我们的方案采用了基于扩散模型的 VBR 业务传输容量需求估计算法^[6],使传输容量资源利用率较高。

¹ 1998-06-17 收到, 1999-01-31 定稿

下文中, 我们在第 2 节建立系统的研究模型, 第 3 节研究越区切换所涉及的所有链路上传输容量分类划分及越区切换保护容量预约算法, 第 4 节给出数值模拟分析的方法和结果, 最后在第 5 节进行小结。

2 系统模型

2.1 系统构成

我们研究的有 / 无线 ATM 混合网系统构成是: 无线网络覆盖是微蜂窝或微微蜂窝结构, 每个 BS 服务一个蜂窝小区, 每个小区的空中接口都配有足够的无线频谱带宽资源以支持相同的信元转移容量 C 。整个无线网络内有多个作为 B-ISDN 骨干网边缘节点的 BSC, (BSC 类似一个增加了移动管理控制功能的 ATM 交换机), 每个 BSC 管理着多个基站 (小区)。图 1 给出了我们用于数值模拟分析的例子。

我们假设各小区与 BSC 之间 VP 中某种类型的新呼叫发生过程和越区切换呼叫的发生过程均为泊松随机过程, 并且假设呼叫发生率随时间的变化平缓, 在一段估计时间内可看成是常数。

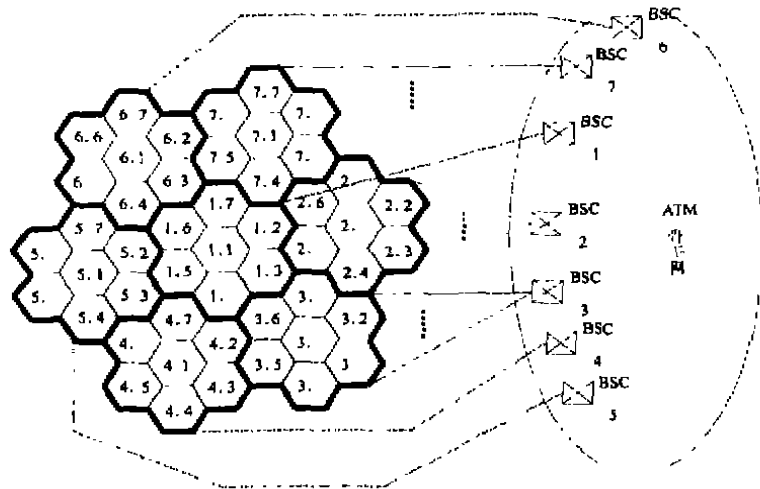


图 1 系统构成模型

2.2 VP 分类

考虑到基于 ATM 的 B-ISDN 支持四种不同的业务类型: 恒定比特率 (CBR)、VBR、可用比特率 (ABR) 和未定义比特率 (UBR), 而这些业务呼叫连接的信元发生并不在同一时刻达到峰值信元率 (PCR), 每个连接都可能瞬时占用超过分配给它的传输带宽, 共享没有被使用的带宽, 使得在满足 QoS 的同时获得较高的统计复用增益。因此本文中, 我们把业务和 VP 分为 CBR、VBR 和 ABR/UBR 三类, 对 CBR 业务连接按其 PCR 分配传输容量; 对 VBR 业务连接按其可支持信元速率 (SCR — 可以用等效传输带宽, 也可以用基于扩散模型的传输容量近似估计等表示) 分配传输容量; 对 ABR 业务连接只以最低信元速率 (MCR) 分配给其最低传输需求的传输容量, 尽量利用 (CBR、VBR 传输) 信道的空闲来传输; 对 UBR 业务则干脆不分

配任何传输容量资源, 其传输只能利用信道的空闲来进行。移动用户的各类业务呼叫连接通过各个小区 BS 与 BSC 之间的链路 (包括空中接口), 经 BSC 接入 ATM 骨干网中相应的 VP。

2.3 各类业务连接传输容量需求估计算法

对于第 u 种 CBR 类 (或 ABR 类业务), N_{uk} 个连接的总传输容量需求 C_{dfk} , ($k = 1, 3$)

$$C_{dfk} = \sum_u N_{uk} R_{uk}, \quad k = 1, 3, \quad (1)$$

其中 CBR 的 R_1 为 PCR, ABR 的 R_3 为 MCR。

对于 VBR 类业务^[6], 我们假设: λ_{u2} 为源 u_2 的信元平均到达率, σ_{u2}^2 为源 u_2 的信元到达方差, c_{u2}^2 为源 u_2 的信元到达过程间隔时间变化平方系数, 则所有 N_{u2} 个 VBR 类呼叫连接的总信流参数矢量

$$\vec{I}_2 = \left\{ \left[\Lambda_2 = \sum_u N_{u2} \lambda_{u2} \right], \left[\Gamma_2^2 = \sum_u N_{u2} \sigma_{u2}^2 \right], \left[A_2 = \sum_u N_{u2} \lambda_{u2} c_{u2}^2 \right] \right\}, \quad (2)$$

其中 Λ_2 为总信元平均到达率, Γ_2^2 为总信元到达方差, A_2 为总信元到达间隔时间方差, N_{u2} 为第 u 种 VBR 业务呼叫连接数。若我们假设 VBR 业务的信元丢失率为 L^* 、基站缓冲空间大小为 B , 所有 VBR 类呼叫连接的总传输容量需求 C_{df2} 的计算公式为

$$C_{df2} = \Lambda_2 - \delta + \sqrt{\delta^2 - 2\Gamma_2^2 \omega_1}, \quad (3)$$

其中 $\delta = (2B/A_2)\Gamma_2^2$, $\omega_1 = \ln(L^* \sqrt{2\pi})$ 。

2.4 移动性考虑

本文中, 我们把用户的移动性简单地归纳为各个“小区”中各类业务的越区切换呼叫发生率。越区切换呼叫发生过程取决于各类呼叫的越区切换发起过程、相邻“小区”中当前此类呼叫的业务量状态和各呼叫连接用户的移动性、“小区”覆盖范围大小和该类呼叫连接的持续时间分布。

3 传输容量分配 (配给) 和越区切换保护容量预约的算法

在有 / 无线 ATM 混合网络的系统设计中, 一般只会给出各类业务新呼叫阻塞率指标和越区切换呼叫阻塞率指标要求。显然为保证系统设计的呼叫阻塞率指标要求, 需要确定每条相关链路的各类业务新呼叫阻塞率指标和越区切换呼叫阻塞率指标。本文不失一般性, 假设每条链路上的第 k 类业务新呼叫阻塞率指标都是 B_{Nk} , 并且各条链路上的第 k 类越区切换呼叫阻塞率指标也都是 B_{Hk} 。另外在以下我们提出的容量分配算法中还假设了各类呼叫均无新呼叫优先权。

3.1 BSC 与其所辖小区 BS 之间链路 (包括空中接口) 的传输容量分类划分和各类保护容量预约算法

先根据第 m 个估计间隔期小区 j 内第 k 类第 u 种业务越区切换呼叫发生率 $\lambda_{Huk}(m)$, 应用 (6) 式算出 $\rho_{uk}(m)$; 然后根据 B_{Hk} 和 B_{Nk} , 由 $M/M/n$ 模型的越区切换呼叫阻塞率和新发起呼叫的阻塞率计算公式 (4) 和 (5) 式, 迭代计算出最少可同时容纳的各种业务呼叫连接数 $C_{uk}(m)$ 和所需的越区切换呼叫专用保护连接数 $H_{uk}(m)$

$$B_{Hk} = P_{uk0}(m) \frac{\rho_{uk}(m)^{C_{uk}(m)}}{C_{uk}(m)!} (1 - \gamma_{uk}(m))^{H_{uk}(m)}, \quad (4)$$

$$B_{Nk} = 1 - P_{uk0}(m) \sum_{i=0}^{C_{uk}(m) - H_{uk}(m) - 1} \frac{\rho_{uk}(m)^i}{i!}, \quad (5)$$

其中

$$\rho_{uk}(m) = \frac{\lambda_{Nuk}(m) + \lambda_{Huk}(m)}{\mu_j}, \quad \gamma_{uk}(m) = \frac{\lambda_{Nuk}(m)}{\rho_{uk}(m)\mu_j}, \quad (6)$$

$$P_{uk0}(m) = \left[\sum_{i=0}^{C_{uk}(m) - H_{uk}(m)} \frac{\rho_{uk}(m)^i}{i!} + \sum_{i=C_{uk}(m) - H_{uk}(m) + 1}^{C_{uk}(m)} \frac{\rho_{uk}(m)^i}{i!} (1 - \gamma_{uk}(m))^{2 - C_{uk}(m) + H_{uk}(m)} \right]^{-1}. \quad (7)$$

把 $C_{uk}(m)$ 分别代入 (1) 和 (3) 式, 即可算出各类业务的传输容量需求 $C_{dj k}(m)$ 。若

$$\left| \sum_k C_{dj k}(m) - C \right| \leq \min_k R_k, \quad (8)$$

则小区 j 内的瞬时容量划分 $C_{dk}(m)$ 为

$$C_{dk}(m) = C_{dj k}(m) \quad k = 2, 3, \quad C_{d1}(m) = C - C_{d2}(m) - C_{d3}(m). \quad (9)$$

相应地, 把 $H_{uk}(m)$ 代入 (1) 和 (3) 式即可计算得到各类业务的越区切换保护容量 $C_{hk}(m)$ 。反之就相应调整 B_{Nk} 值, 再重复上述过程, 直到求出小区 j 内满足 (9) 式条件的 $C_{dk}(m)$ 和 $C_{hk}(m)$ 。图 2 示出了该算法流程。

3.2 BSC 之间各类 VP 的传输容量配给和保护容量预约的算法

两个 BSC 间 VP 中越区切换呼叫到达率应为其辖区 (可以看成是宏小区) 相互之间越区切换发生率。根据我们采用的“网络支持”越区切换方案, 两个 BSC 间 VP 中越区切换呼叫的平均占用信道时间可近似为在新 VP 中重建新 VC 的平均等待时间 W , (假设新 VC 申请被拒绝后就立即重新申请, 并且 CAC 的处理时间可以忽略不计)。基于 $M/M/n$ 模型的 W 取决于新 VP 中平均呼叫到达率和平均呼叫持续时间。

同样是根据呼叫阻塞率指标 B_{Nk} 和 B_{Hk} , 应用 (4) 和 (5) 式, 我们就能迭代计算出各类 VP 中最少需要可同时容纳的各种业务呼叫连接数 $C_{uk}(m)$, 以及越区切换呼叫专用保护连接数 $H_{uk}(m)$, 其中

$$\rho_{uk}(m) = \frac{\lambda_{Nuk}(m)}{\mu} + W\lambda_{Huk}(m), \quad \gamma_{uk}(m) = \frac{\lambda_{Nuk}(m)}{\rho_{uk}(m)\mu}. \quad (10)$$

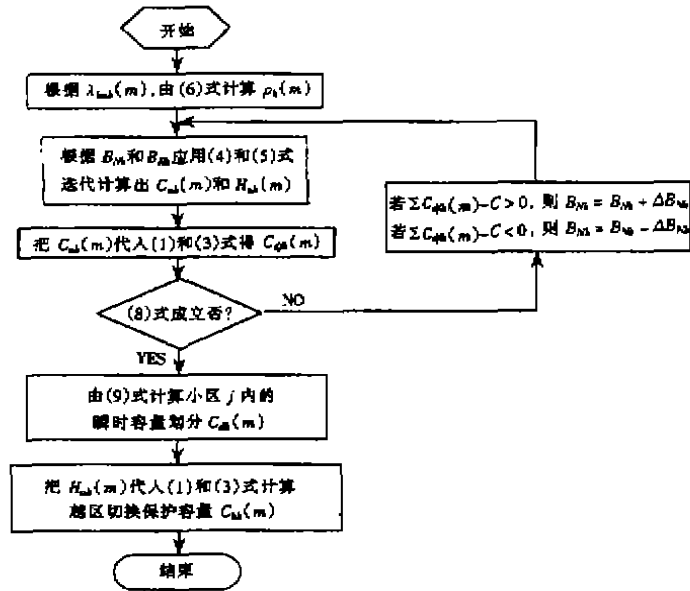


图2 BS 与 BSC 间链路 (包括空中接口) 的传输容量分类划分和保护容量预约算法流程

然后根据 $C_{uk}(m)$ 和 $H_{uk}(m)$, 应用 (1) 和 (3) 式, 即可计算出两个 BSC 间各类 VP 的传输容量和保护容量需求。显然两个 BSC 间各类 VP 传输容量的配给受到网络物理链路传输容量的制约, 因此我们假设两个 BSC 间各类 VP 的传输容量之和的上限为 C_{max} 。若两个 BSC 间各类 VP 的传输容量需求总和大于 C_{max} , 为保证越区切换呼叫的阻塞率指标, 只有增大新呼叫的阻塞率指标值并重复上述计算过程, 直到各类 VP 的传输容量需求总和小于等于 C_{max} 。图 3 示出了该算法流程。

4 数值模拟分析

为方便数值模拟分析, 我们假设系统中包括有七个 BSC, 每个 BSC 控制七个小小区的 BS; 每个小区的覆盖近似为正六边形, 小区排列的顺序如图 1 所示, 其中 BSC1 辖区内中间小区 1.1 的空中接口、以及 BSC 1 与 BSC 2 之间的各类 VP 是我们的研究对象。为简化数值分析, 我们假设 CBR 类中为单一一种话音业务且 $R_1 = 64\text{kb/s(PCR)}$; ABR 类中为单一一种数据业务且 $R_3 = 200\text{kb/s(MCR)}$; VBR 类中为单一一种视频业务, 其 $\lambda_{u2} = 1.25$ 、 $\sigma_{u2}^2 = 1.25$ 、 $c_{u2}^2 = 0.0156$, 信元丢失率 $L_3^2 = 10^{-6}$, 缓冲区大小为 $B_2 = 304$; 假设当前小区 1.1 内各类业务的越区切换呼叫发生率为 $\lambda_{H1}(m) = 0.58$ 、 $\lambda_{H2}(m) = 0.86$ 、 $\lambda_{H3}(m) = 1.44$, BSC 1 与 BSC 2 之间各类 VP 中越区切换呼叫发生率为 $\lambda_{H1}(m) = 0.44$ 、 $\lambda_{H2}(m) = 0.66$ 、 $\lambda_{H3}(m) = 1.1$; 假设所有有关链路各类业务的呼叫阻塞率要求均为 $B_{Hk} = 0.5\%$ 和 $B_{Nk} = 5\%$, 每个小区的 BS 与 BSC 之间链路 (包括空中接口) 的传输容量 C 和 BSC 之间各类 VP 的传输容量总和的上限 C_{max} 均为 155Mb/s , 并且取 $W = 1\text{s}$ 。

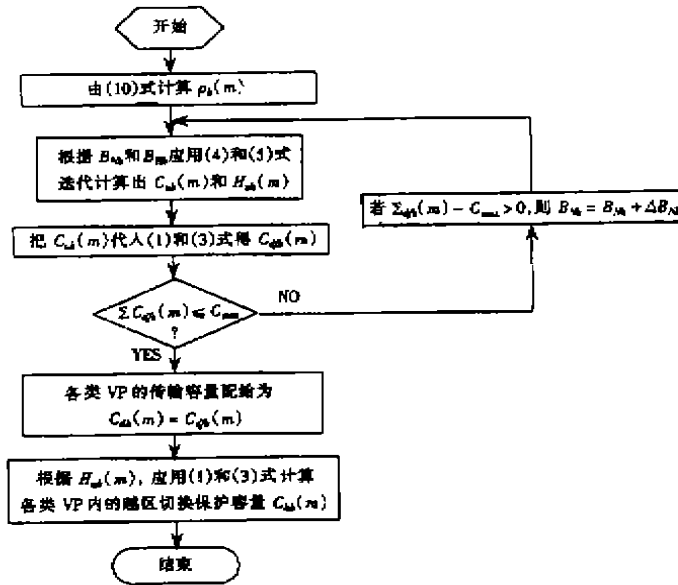


图 3 两个 BSC 之间各类 VP 的传输容量分配和保护容量预约算法流程

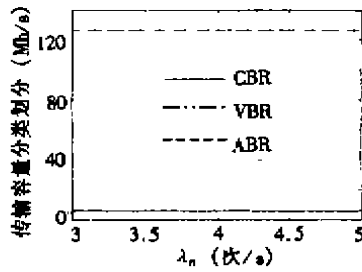


图 4 小区 1.1 空中接口各类业务传输容量划分随新呼叫瞬时发生率变化曲线

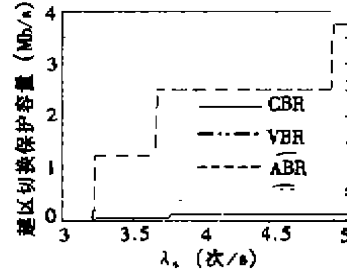


图 5 小区 1.1 空中接口各类业务保护容量预约量随新呼叫瞬时发生率变化曲线

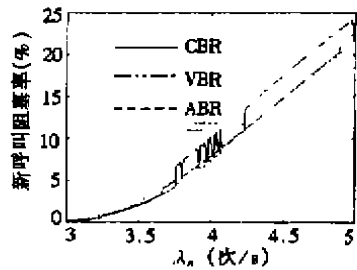


图 6 应用动态容量分配算法时小区 1.1 空中接口各类新呼叫阻塞率随新呼叫瞬时发生率变化曲线

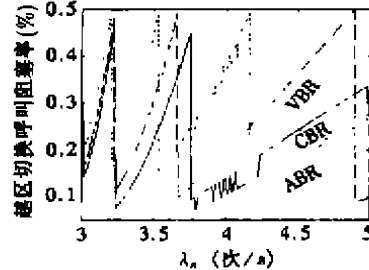


图 7 应用动态容量分配算法时小区 1.1 空中接口各类越区切换呼叫阻塞率随新呼叫瞬时发生率变化曲线

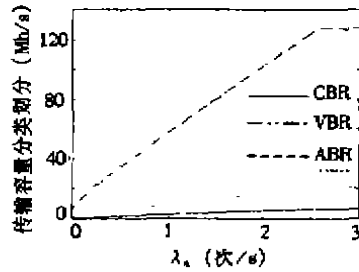


图 8 BSC1 和 BSC2 之间各类 VP 传输容量配给随新呼叫瞬时发生率变化曲线

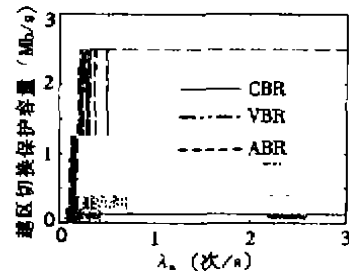


图 9 BSC1 和 BSC2 之间各类 VP 保护容量预约量随新呼叫瞬时发生率变化曲线

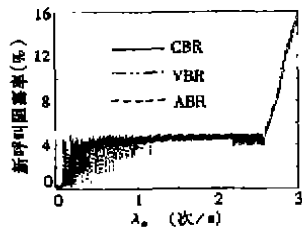


图 10 应用动态容量分配算法时 BSC1 和 BSC2 之间各类新呼叫阻塞率随新呼叫瞬时发生率变化曲线

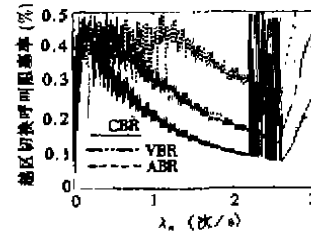


图 11 应用动态容量分配算法时 BSC1 和 BSC2 之间各类越区切换呼叫阻塞率随新呼叫瞬时发生率变化曲线

模拟结果如图 4-图 11 所示。图 4 示出了 BSC 1 的辖区内中间小区 1.1 的传输容量划分受各类新呼叫发生率影响的情况，图 5 给出了相应的各类业务保护容量预约；图 6 是小区 1.1 中各类业务新呼叫的阻塞率随新呼叫发生率变化的曲线，图 7 则是小区 1.1 中各类业务越区切换呼叫的阻塞率随新呼叫发生率变化的曲线。图 8 给出了 BSC 1 和 BSC 2 之间各类 VP 的传输容量配给随新呼叫发生率变化的曲线，图 9 为相应预约的越区切换保护容量随新呼叫发生率变化的曲线；图 10 是 BSC 1 和 BSC 2 之间各类 VP 中新呼叫的阻塞率随新呼叫发生率变化的曲线，图 11 则是各类 VP 中越区切换呼叫的阻塞率随新呼叫发生率变化的曲线。从图 4 可见，在新呼叫发生率变化范围 (3-5) 内，BS 与 BSC 之间链路 (包括空中接口) 的传输容量分配变化很小，这是因为我们假设的越区切换呼叫发生率的值较小 $\lambda_{H1}(m) = 0.58$ 、 $\lambda_{H2}(m) = 0.86$ 、 $\lambda_{H3}(m) = 1.44$ ，使各类业务量随新呼叫的变化不大。若我们取新呼叫发生率为 $\lambda_{N1}(m) = 3$ 、 $\lambda_{N2}(m) = 4$ 、 $\lambda_{N3}(m) = 5$ ，则各类业务传输容量的分配情况为 $C_{d1}(m) = 4.544$ 、 $C_{d2}(m) = 125.04$ 、 $C_{d3}(m) = 25.4$ ；而取 $\lambda_{N1}(m) = 5$ 、 $\lambda_{N2}(m) = 4$ 、 $\lambda_{N3}(m) = 3$ ，则各类业务传输容量的分配情况为 $C_{d1}(m) = 7.168$ 、 $C_{d2}(m) = 128.79$ 、 $C_{d3}(m) = 19.0$ ；可见它们之间的差异就比较大了。从图 5 和图 9 可以看出，只要为各类业务预约很少的保护容量就使越区切换呼叫的阻塞率低于 B_{Hk} 的要求。从图 6、7、10、11 中还可看出，应用我们提出的传输容量分配算法使各类业务的呼叫阻塞率基本趋于一致，且各类业务的越区切换呼叫阻塞率满足指标要求。

5 结 论

本文提出了一种可在有 / 无线 ATM 混合网中实际应用的动态容量管理算法，该算法在 ATM 骨干网中根据多媒体业务特征对 VP 分类，并在 BS 与 BSC 之间的链路 (包括空中接口)

也同样对业务进行分类, 然后根据无线蜂窝小区中各类业务量状况, 为网络内所有与越区切换相关的链路分类划分 (配给) 传输容量并预约保护容量, 从而使越区切换呼叫强迫中断率满足系统设计的指标要求。通过对其性能进行的数值模拟分析, 结果表明该算法使各类业务的呼叫阻塞率随各类业务的瞬时业务量状态的变化与各类呼叫阻塞率的要求成比例, 适用于传输容量需求迥异的多媒体业务传输情况, 使传输容量资源得以有效地利用。

参 考 文 献

- [1] Biswas S K, Sengupta B. Call admissibility for multirate traffic in wireless ATM networks. Proc. IEEE Infocom'97, Kobe, Japan: 1997.4, 650-658.
- [2] Songwu Lu, Bhargavan V. Adaptive resource management algorithm for indoor mobile computing environments. SIGCOMM'96, Ca, USA: 1996.8, 231-242.
- [3] Levine D A, Akyildiz I F, Naghshineh M. A resource estimation and call admission algorithm for wireless multimedia networks using the shadow cluster concept. IEEE/ACM Trans. on Networking, 1997, 5(1): 1-12.
- [4] Chi-chao Chao, Wai Chen. Connection admission control for mobile multiple-class personal communications networks. IEEE J. on SAC, 1997, SAC-15(8): 1618-1626
- [5] Yu O T W, Leung V C M. Adaptive resource allocation for prioritized call admission over an ATM-based wireless PCN. IEEE J. of SAC, 1997, SAC-15(7): 1208-1225.
- [6] Gelenbe E, Xiaowen Mang. Bandwidth allocation and call admission control in high-speed networks. IEEE Communications Magazine, 1997, 35(2): 122-129.

A DYNAMIC TRANSMISSION CAPACITY ALLOCATION SCHEME FOR WIRED/WIRELESS ATM NETWORKS

Wang Jie Li Lemin

(National Key Lab of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks,
University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract The previous research on administration of the transmission capacity in the wired/wireless ATM networks only focuses on wired part or wireless part. There are very few people do the work extending to the links associating with handoff in the whole network. This paper develops the algorithms of transmission capacity administration on the link connecting the base station and base station controller (including the air interface of the base station) and the VPs among the base station controllers in the wired/ wireless ATM networks, which adapt to the traffic state of each service in every cellular cell to allocate (provision) transmission capacity and to reserve handoff guard capacity on these links, respectively. By simulating and analyzing the performance of the algorithm, it is found that it does well for the multimedia communication in which the transmission capacity requirement of each service may be widely different, so that the network bandwidth resource can be used efficiently.

Key words Wired/wireless ATM networks. Capacity allocation, Handoff, Service classification

王 捷: 男, 1963 年生, 博士生, 主要研究方向是无线 ATM 宽带网的网络管理。

李乐民: 男, 1932 年生, 中国工程院院士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向是宽带通信网。