多业务蜂窝 CDMA 系统中的呼叫接纳控制策略 [1]

王 宇 李少谦 李乐民 高 卓

(电子科技大学通信抗干扰技术国防重点实验室 成都 610054)

摘 要 基于码分多址 (CDMA) 技术的第三代 (3G) 移动通信系统将支持多种业务传输，有效的呼叫接纳控制策略将使系统在满足各类业务不同 QoS 要求的同时，能够为更多的用户提供服务．该文首先分析了多业务蜂窝 CDMA 系统的剩余容量与 QoS 约束间的关系，接着提出了适用于任意多类业务环境、基于信号干扰比 (SIR) 测量的两种呼叫接纳控制策略：局部策略与全局策略，并通过大量计算机仿真研究了两种策略在业务均匀分布和非均匀分布环境下的性能．仿真结果表明，在两种业务分布情况下，全局策略的性能都优于局部策略．

关键词 CDMA，接纳控制，中断概率，阻塞概率， QoS

中图号 TN914.4

1 引 言

基于码分多址 (CDMA) 技术的第三代 (3G) 系统将支持语音、视频、数据等不同 QoS 要求的多种业务传输，如何设计有效的呼叫接纳控制策略以保证各类业务不同的 QoS 要求，同时充分利用系统容量，是 3G 系统无线资源管理技术中的新问题，近年来引起了人们的广泛关注．

文献 [1,2] 提出了基于信号干扰比 (SIR) 测量的呼叫接纳控制策略；文献 [3] 提出了基于移动台发射功率测量的接纳策略；文献 [4–6] 提出了基于接收总功率测量的接纳策略．其中文献 [1,2,4] 的讨论仅限于具有相同 QoS 要求的话音业务 CDMA 系统，无法满足 3G 系统支持多类业务传输的需要；文献 [3,5,6] 虽然讨论了多类业务的情况，但他们在判断是否接纳一个新用户时，都没有考虑由于该用户的接入所引起的干扰增加对邻近小区用户 QoS 的影响，此外，他们都只局限于在业务均匀分布环境下对所提策略的性能进行考察，而没有考虑业务非均匀分布对接纳策略的影响．

本文提出了在蜂窝 CDMA 系统中，能够满足多种业务类型不同 QoS 要求的，基于 SIR 测量的两种呼叫接纳控制策略：局部策略与全局策略，并通过大量计算机仿真考察了两种策略在不同业务分布环境下的性能．

本文内容安排如下：在第 2 节叙述系统模型；第 3 节首先分析了系统剩余容量与 QoS 约束间的关系，接着对基于 SIR 测量的局部和全局两种接纳控制策略作了描述；第 4 节对计算机仿真结果进行讨论；第 5 节对全文作小结．

2 系统模型

我们考虑一个多小区的 CDMA 系统，每个小区的中心配置有一个全向天线的基站，每个小区可以提供 M 类业务，所有业务共享相同的扩频带宽 W ．假设 [1,2,6]：

(1) 与来自小区内和小区外其他用户的多址干扰相比，基站接收机背景噪声可以忽略；

(2) 移动用户具有均匀的空间分布，每个用户选择传输增益最好 (不一定是距离最近) 的基站作为其控制基站，同类业务用户到达基站的接收功率相等，即采用理想的功率控制；

[1] 2001-08-14 收到，2002-04-28 改回
国家“863”资助课题 (863-317-03-01-01-04-20)

(3) 每个小区中第 i 类业务的用户到达服从泊松分布，λ_i 是用户的平均到达率，μ_i 是用户的平均服务时间，用户的到达间隔与服务时间均服从负指数分布，且不同类业务用户的到达过程与服务时间相互独立；

(4) 每一类业务都由一个 ON/OFF 模型来表示，第 i 类业务的激活因子 (处于 ON 状态的概率) 为 α_i，在业务激活期，第 i 类业务的传输速率为 R_i，在静默期，传输速率为 0；第 i 类业务的所需的接收 SIR 门限为 $\gamma_{i,\mathrm{th}}$，$\gamma_{i,\mathrm{th}}=(E_b/N_0)_{i,\mathrm{th}}R_i/W$；

(5) 无线传播模型包括路径损耗和阴影衰落。移动台与基站间的传输增益 $L(r)$ 为

$$L(r)=r^{-v}10^{\xi/10} \tag{1}$$

其中 r 为移动台与基站间的距离，v 的典型取值为 $2\sim4$，ξ 是一个与距离 r 相独立的高斯随机变量，其均值为 0dB，标准方差为 σ(dB)，σ 的典型取值为 $5\sim12$dB。

3 基于 SIR 测量的接纳控制策略描述

3.1 上行链路 SIR 与小区剩余容量的关系

考虑小区 k 的基站接收到本小区内第 i 类业务用户的信号与干扰能量比为

$$\mathrm{SIR}_i=S_i\Big/\left\{(N_i-1)\alpha_iS_i+\sum_{j\neq i}^{M}\alpha_jN_jS_j+I_{\mathrm{ext}}\right\} \tag{2}$$

其中 S_i，N_i，α_i 分别是小区 k 中第 i 类业务的接收功率，用户总数和激活因子，分母中第一、二两项表示 k 小区内其他用户的总干扰；I_{ext} 是来自第 k 小区以外的用户总干扰：

$$I_{\mathrm{ext}}=\sum_{h\neq k}^{\text{其它小区}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N_{m,h}}\alpha_ms_m\frac{L_{mn}^{h,k}}{L_{mn}^{h,h}}=\sum_{h\neq k}^{\text{其它小区}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N_{m,h}}\alpha_ms_m\left[\frac{r_{mn}^{h,k}}{r_{mn}^{h,h}}\right]^{-v}10^{(\xi_{mn}^{h,k}-\xi_{mn}^{h,h})/10} \tag{3}$$

其中 $L_{mn}^{h,k}$，$L_{mn}^{h,h}$ 分别为小区 h 中的第 m 类业务的第 n 个用户与基站 k 和基站 h 的传输增益，它们由各自的传输距离 $r_{mn}^{h,k}$，$r_{mn}^{h,h}$ 和阴影衰落参数 $\xi_{mn}^{h,k}$，$\xi_{mn}^{h,h}$ 两部分决定。

假设小区 k 中已有 $(N_1,N_2,\cdots,N_M)$ 个用户，那么，小区 k 还可以容纳任意第 i 类业务的最大用户数 R_i 可以由下列 QoS 约束条件求得

$$\mathrm{SIR}_i'=S_i\Big/\left\{(N_i+R_i-1)\alpha_iS_i+\sum_{j\neq i}^{M}N_j\alpha_jS_j+I_{\mathrm{ext}}\right\}\geq\gamma_{i,\mathrm{th}},\quad\forall i \tag{4}$$

$$\mathrm{SIR}_j'=S_j\Big/\left\{(N_j-1)\alpha_jS_j+\sum_{m\neq j}^{M}N_m'\alpha_mS_m+I_{\mathrm{ext}}\right\}\geq\gamma_{j,\mathrm{th}},\quad\forall j\neq i \tag{5}$$

以上两式中，i，j，$m\in(1,\cdots,M)$。当 $m=i$ 时，$N_i'=N_i+R_i$，当 $m\neq i$ 时，$N_m'=N_m$。CDMA 系统是干扰受限的系统，令 (4) 与 (5) 式取等号，即各类业务用户的接收功率恰好满足各自的 QoS 要求，此时，用户间的干扰降低到最小，系统可以获得最大的容量 [6]。由 (2)，(4)，(5) 式可推导出异类业务间的最佳接收功率比 β_{ij}^* 和系统剩余容量 R_i

$$\beta_{ij}^*=S_i/S_j=\{1/\gamma_{j,\mathrm{th}}+\alpha_j\}/\{1/\gamma_{i,\mathrm{th}}+\alpha_i\} \tag{6}$$

$$R_i=\frac{1}{\alpha_i}\left[\frac{1}{\gamma_{i,\mathrm{th}}}-\frac{1}{\mathrm{SIR}_i}\right] \tag{7}$$

(6) 式中 β_{ij}^* 为第 i 类业务与第 j 类业务的最佳接收功率比，当此条件满足时，系统可获得最大的容量，它同时意味着一个激活的 i 类业务用户所需的接收功率等效于 β_{ij}^* 个 j 类激活用户所需的接收功率．(7) 式中除 SIR_i(参见 (2) 式) 需要测量得到外，其余参数都是已知的．

(7) 式表明，对于 $\forall i \in (1,\cdots,M)$，当 $R_i = 0$ 时，小区的容量处于临界饱和状态，已接纳用户的 QoS 恰好可以得到保证：$\mathrm{SIR}_i = \gamma_{i,\mathrm{th}}$，此时该小区不能再接纳任何一个用户 (无论其属于哪一类业务)；当 $R_i > 0$ 时，表明小区尚有剩余容量，还可以再接纳 R_i 个 i 类用户；当 $R_i < 0$ 时，表明小区已经接纳了过多的用户，以致此时用户的 QoS 已无法得到保证：$\mathrm{SIR}_i < \gamma_{i,\mathrm{th}}$，我们定义该小区中的用户此时处于中断状态．

接下来我们提出基于 SIR 测量的、能够满足多类业务不同 QoS 要求的两种接纳策略．

3.2 局部接纳控制策略

当小区 k 中有一个 i 类业务用户发起呼叫请求时，基站 k 测量上行链路中第 i 类业务的 SIR_i，计算该类业务的剩余容量，并与一门限值比较，以决定是否接纳该用户，即

$$R_i = \frac{1}{\alpha_i}\left[\frac{1}{\gamma_{i,\mathrm{th}}} - \frac{1}{\mathrm{SIR}_i}\right] = \begin{cases} \geq R_{i,t,\mathrm{loc}}, & \text{接纳该用户} \\ < R_{i,t,\mathrm{loc}}, & \text{阻塞该用户} \end{cases} \tag{8}$$

其中 $R_{i,t,\mathrm{loc}}$ 是第 i 类业务的接纳门限，为系统保留的容量，是局部接纳策略的设计参数．如果一个 j 类业务用户发起呼叫请求时，同理基站 k 测量 SIR_j 并计算剩余容量，再与门限值 $R_{j,t,\mathrm{loc}}$ 比较，以决定是否接纳该用户．结合 (6) 式，可知两类业务的接纳门限有如下的关系：

$$R_{j,t,\mathrm{loc}} = \{(R_{i,t,\mathrm{loc}} - 1)\beta_{ij}^*\alpha_i/\alpha_j\} + 1, \quad j \neq i \tag{9}$$

(9) 式表明，不同业务类型的接纳门限设置可以统一到一种业务类型的接纳门限设置上来，这就简化了在多业务环境中，不同业务类型接纳门限的设置问题．

该策略的实质为，只要接纳一个用户不致使本小区中的其他用户发生中断，则允许其接入，而不考虑该用户的接入是否会造成其它小区用户发生中断．

3.3 全局接纳控制策略

当小区 k 中有一个 i 类业务用户发起呼叫请求时，基站 k 及其临近基站分别测量此时上行链路中的第 i 类业务的 SIR_i，根据下式决定是否接纳该用户．

$$R_i = \min_{h\in\Omega(k)}\{R_i^h\} = \begin{cases} \geq 0, & \text{接纳该用户} \\ < 0, & \text{阻塞该用户} \end{cases} \tag{10}$$

其中 $\Omega(k)$ 为包括基站 k 在内的以基站 k 为中心的基站集合，小区 h 的剩余容量 R_i^h 为

$$R_i^h = \begin{cases} \dfrac{1}{\alpha_i}\left[\dfrac{1}{\gamma_{i,\mathrm{th}}} - \dfrac{1}{\mathrm{SIR}_i^h}\right] - R_{i,t,\mathrm{glb}}, & h = k \\ \dfrac{1}{\alpha_i}\left[\dfrac{1}{\gamma_{i,\mathrm{th}}} - \dfrac{1}{\mathrm{SIR}_i^h}\right] - \dfrac{L_h}{L_k}, & h \neq k \end{cases} \tag{11}$$

$$L_h/L_k = (r_i^{k,h}/r_i^{k,k})^{-v}10^{(\xi_i^{k,h}-\xi_i^{k,k})/10} \tag{12}$$

其中 $R_{i,t,\mathrm{glb}}$ 为小区 k 中第 i 类业务的接纳门限，是全局接纳策略的设计参数．L_h，L_k 分别为小区 k 中的正发起呼叫请求的第 i 类业务用户与基站 h 和基站 k 的传输增益，它们由各自的传输距离 $r_i^{k,h}$，$r_i^{k,k}$ 和阴影衰落参数 $\xi_i^{k,h}$，$\xi_i^{k,k}$ 两部分决定．此处我们假定小区 k 中的每一个用户都能够测量 $\Omega(k)$ 中每个基站发射的导频信号强度，并将这些测量值反馈给基站 k，基

站 k 再将相应测量值通知 $\Omega(k)$ 内的每个基站，由于每个基站知道自己发射的导频信号功率，也就可以确定它与该用户间的传输增益，从而计算出 $L_h/L_k^{[2]}$.

类似地可以计算异类业务间接纳门限值 $R_{j,t,\mathrm{glb}}$ 与 $R_{i,t,\mathrm{glb}}$ 的关系为

$$R_{j,t,\mathrm{glb}} = \{(R_{i,t,\mathrm{glb}} - 1)\beta_{ij}^{*}\alpha_i/\alpha_j\} + 1, \quad j \neq i \tag{13}$$

该策略的实质为，只有当接纳一个用户不致使本小区及临近小区中的其他用户发生中断时，才允许其接入，否则拒绝.

3.4 接纳控制策略的性能指标

本文选择的性能指标为各类业务的阻塞概率、系统中断概率和系统服务等级 GoS[3,6] 业务阻塞概率：

$$P_{\mathrm{blk},i} = \begin{cases} P\{R_i < R_{i,t,\mathrm{loc}}\}, & \text{局部策略} \\ P\{R_i < 0\}, & \text{全局策略} \end{cases} \quad i \in (1, \cdots, M) \tag{14}$$

系统中断概率：

$$P_{\mathrm{out}} = P\{\mathrm{SIR}_i < \gamma_{i,\mathrm{th}}\}, \quad i \in (1, \cdots, M) \tag{15}$$

GoS 是阻塞率与中断率的加权评估指标：

$$\mathrm{GoS} = \sum_{i=1}^{M} P_{\mathrm{blk},i} + 10P_{\mathrm{out}} \tag{16}$$

4 仿真结果与讨论

我们建立了 3 层 19 个正六边形小区的蜂窝系统模型，为简化起见，只考虑了话音和数据两种业务的情况. 有关的仿真参数参见表 1 .

表 1 仿真参数

名称	符号	数值
带宽	W	3.84MHz
话音业务	R_1, $(E_b/N_0)_{\mathrm{th}1}$, α_1, μ_1	9.6kbps, 7dB, 0.5, 180s
数据业务	R_2, $(E_b/N_0)_{\mathrm{th}2}$, α_2, μ_2	38.4kbps, 10dB, 1, 200s
距离损耗因子	v	4
阴影衰落标准差	σ	8dB

我们将分别考察两种策略在业务均匀分布 (每个小区具有相同的业务负荷) 和非均匀业务分布 (中心小区的业务负荷比其他 18 个小区均高出 50%) 情况下，中心小区和第 2 层小区的性能. 在全局策略中，每个小区的邻近小区集合选择为那些与其紧邻的小区. 此外，对于仿真中每个确定的业务负荷，在系统平稳运行后，我们都模拟了不少于 10,000 个数据业务呼叫到达所考察的小区，这就保证了同时到达的话音呼叫数目也大于 10,000 个.

假设系统要求中断率为 $P_{\mathrm{out}}^{\mathrm{req}} = 0.02$ ，我们首先为两种策略确定合理的接纳控制门限.

图 1 示出了在业务均匀分布、重负荷 (各小区内话音负荷 = 数据负荷 =10Erlang) 情况下，中心小区话音与数据业务的阻塞概率随接纳门限变化的关系. 我们以话音业务作为参考业务类型，即 $R_{1,t,\mathrm{loc}} = R_{1,t,\mathrm{glb}} = 1 \sim 17$(个话音用户) ，相应数据业务的接纳门限可由 (9) 与 (13) 式获得. 图 2 示出了中心小区的中断概率随接纳门限变化的关系. 我们看到，当接纳门限增高时，两种业务的阻塞概率均增加，而系统的中断概率则下降. 这是因为，接纳门限越高，每个小区保留的容量就越大，被阻塞的用户数会更多，被接纳用户的 QoS 得到保证的可能性也就越大. 同

时，我们注意到数据业务的阻塞率始终高于话音业务的阻塞率，这是因为数据业务的 QoS 要求(传输速率，门限 $(E_b/N_0)_{\text{th}2}$，激活因子) 高于话音业务，因此其被阻塞的可能性也就越大．此外，两种策略的中断性能随接纳门限值的增加而渐趋一致．这是因为，在较低接纳门限 (<8 个话音用户) 时，每个小区保留的容量较少，已接纳用户的 QoS 更易于受到邻近小区新用户，尤其是数据新用户造成的干扰增加的影响，致使中断概率曲线斜率较大；当接纳门限进一步增加 (>8 个话音用户) 时，每个小区保留的容量较多，已接纳用户的 QoS 受邻区新用户的干扰影响减小，使得中断概率曲线斜率减小，两种策略的性能逐渐趋同．

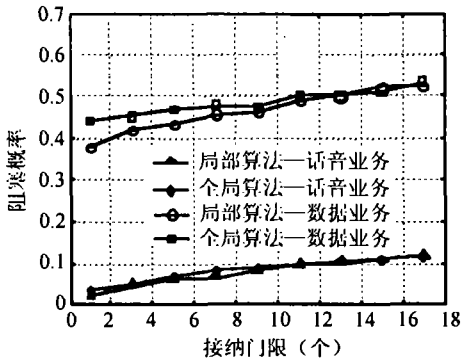

图 1　均匀分布情况下阻塞概率与接纳门限的关系

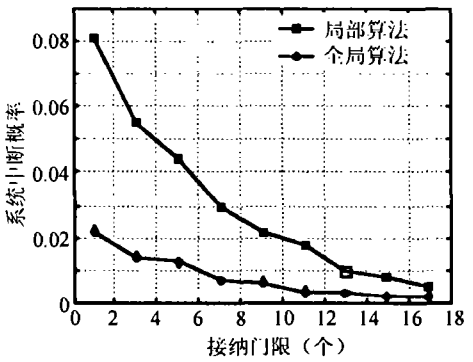

图 2　均匀分布情况下系统中断概率与接纳门限的关系

由上述仿真结果，我们选择话音业务的接纳门限 $R_{1,t,\text{loc}} = 10$(个话音用户)，$R_{1,t,\text{glb}} = 2$(个话音用户)，进一步可确定数据业务的接纳门限．接下来，我们将比较两种策略在业务均匀分布和非均匀分布情况下的性能．在以下的仿真中，我们固定话音业务负荷为 10Erlang/ 小区(在非均匀分布情况下，中心小区为 10Erlang，其他小区为 5Erlang/ 小区)．

图 3～ 图 5 示出了在业务均匀分布情况下，由中心小区统计得到的两种策略的性能指标．从中可以看到，两种策略的中断性能相当，而全局策略有更好的阻塞性能，在数据业务负荷为 10Erlang 时，话音和数据业务的阻塞概率均低于局部策略约 5%，GoS 有约 10% 的改善，这是因为，局部策略为了保证系统的中断性能，只有设置较大的接纳门限，保留较多的容量，从而损失了一定的阻塞性能．全局策略由于考虑了新用户的接入对邻区用户 QoS 的影响，可以设置较小的接纳门限，允许接纳更多的用户．此外，我们还考察了第 2 层小区的性能，结果与中心小区性能非常接近，为节省篇幅，我们不再单独绘出这组曲线．

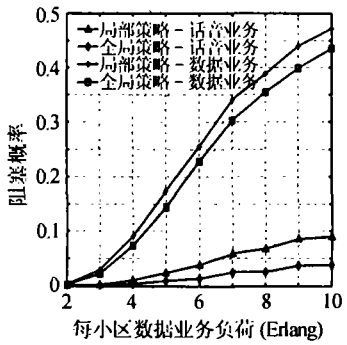

图 3　均匀分布情况下业务阻塞概率与业务负荷的关系

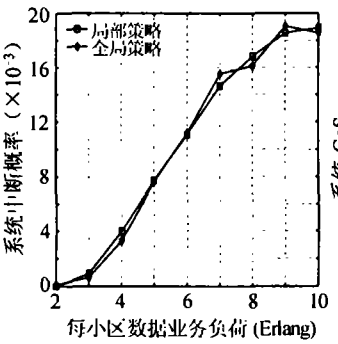

图 4　均匀分布情况下系统中断概率与业务负荷的关系

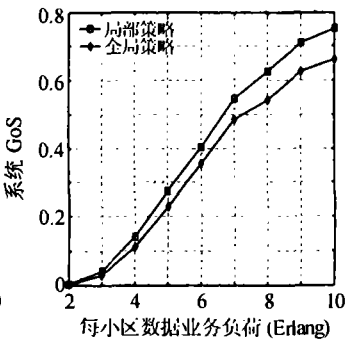

图 5　均匀分布情况下系统 GoS 与业务负荷的关系

图 6~ 图 8 示出了在业务非均匀分布情况下，由中心小区统计得到的两种策略的性能指标．可以看到两种策略的性能差异与业务均匀分布时相近，仍然是全局策略性能更好．此外，我们也考察了第 2 层小区的性能，由于第 2 层小区的负荷仅为中心小区的一半，因此第 2 层小区的阻塞率与中断率都明显低于中心小区相应指标，但两种策略的 GoS 差异与中心小区的 GoS 差异相近，仍然是全局策略在重负荷时有约 10% 的改善，本文中也不再另外绘出这组曲线．

以上仿真结果表明，我们所提出的基于 SIR 测量的两种接纳控制策略，都能够保证系统中各类业务的 QoS 要求．全局策略在业务均匀与非均匀分布条件下都有比局部策略更优的性能，并且两种策略的性能差异受业务分布条件变化的影响不大．

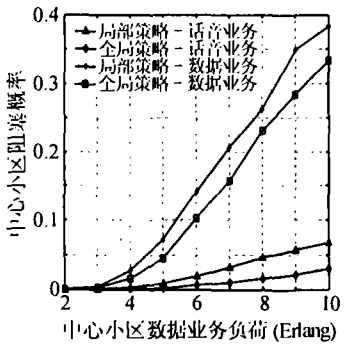

图 6 非均匀分布情况下业务阻塞概率与业务负荷的关系

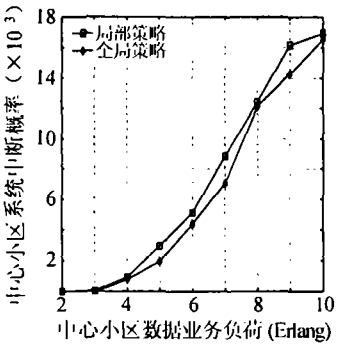

图 7 非均匀分布情况下系统中断概率与业务负荷的关系

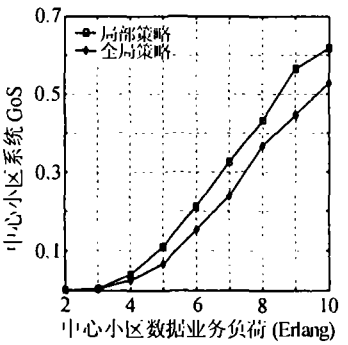

图 8 非均匀分布情况下系统 GoS 与业务负荷的关系

5 结 束 语

本文提出了蜂窝 CDMA 系统中，能够满足多种业务不同 QoS 要求的、基于 SIR 测量的两种接纳控制策略：局部策略和全局策略．局部策略在接纳一个新用户时没有考虑由于该用户的接入所引起的干扰增加对邻近小区内用户 QoS 的影响，全局策略考虑了这一影响．本文通过大量计算机仿真，分别确定了两种策略合理的接纳门限，并比较了两种策略在业务均匀分布与非均匀分布情况下的性能．仿真结果表明，全局策略在两种业务分布情况下都具有更好的性能．但我们同时看到，全局策略所获得的性能改善是以增加移动台与基站间，以及基站与基站间的信令开销为代价的．

参 考 文 献

[1] Z. Liu, M. E. Zarki, SIR-based call admission control for DS-CDMA cellular systems, IEEE Journal on Selected Area of Communications, 1994, 12(4), 638–644.

[2] I. M. Kim, B. C. Shin, D. J. Lee, SIR-based call admission control by intercell interference prediction for DS-CDMA cellular systems, IEEE Commun. Letters, 2000, 4(1), 29–31.

[3] N. Dimitriou, G. Sfikas, R. Tafazoli, Call admission policies for UMTS, IEEE Proc. of VTC'2000, Tokyo, Japan, 2000, 1420–1424.

[4] C. Y. Huang, R. D. Yates, Call admission in power controlled CDMA systems, IEEE Proc. of VTC'96, Atlanta, U.S.A., 1996, 1665–1669.

[5] J. Kuri, P. Mermelstein, Call admission on the uplink of a CDMA system based on total received power, IEEE Proc. of ICC'99, Vancouver, Canada, 1999, 1431–1436.

[6] K. Kim, Y. Han, A call admission control scheme for multi-rate traffic based on total received power, IEICE Trans. on Commun., 2001, E84-B(3), 457–463.

CALL ADMISSION CONTROL SCHEME IN MULTI-SERVICE CDMA CELLULAR SYSTEMS

Wang Yu　Li Shaoqian　Li Leinin　Gao Zhuo

(*The National Communication Lab, UEST of China, Chengdu* 610054, *China*)

Abstract The 3G mobile communication systems based on CDMA technique are expected to provide multi-services to mobile users. An efficient call admission control scheme is essential to provide QoS guarantees of different services to as many users as possible. This paper analyzes the relation between the system residual capacity and QoS constraints for a multi-service CDMA cellular system. Then the SIR-measurement-based local and global call admission control schemes for multi-services are proposed. The performances of the two schemes under both uniform and non-uniform traffic distribution environments are studied through extensive simulations. The simulation results show that global scheme outperforms the local scheme under both environments.

Key words CDMA, Call admission control, Outage probability, Block probability, QoS

王　宇：　男，1970 年生，博士，主要研究方向为移动通信系统中的无线资源管理与信号处理.

李少谦：　男，1957 年生，教授、博士生导师，通信抗干扰技术国防重点实验室主任，国家 863 计划通信领域专家组成员，主要研究领域包括移动通信、个人通信、扩频通信、抗干扰通信等.

李乐民：　男，1932 年生，中国工程院院士，教授、博士生导师，研究领域为数字信息传输与通信网.

高　卓：　男，1977 年生，硕士，主要研究方向为 CDMA 移动通信系统中的无线资源管理.