

基于价格机制的无线网自适应接纳控制算法

张 雪

(东南大学教育部计算机网络和信息集成重点实验室, 南京 210096)

[摘要] 为了有效地控制对无线网资源的使用, 针对自适应的多媒体应用带宽可以动态调整的特点以及价格对用户行为的影响, 提出一种与价格机制相结合的自适应的接纳控制算法, 该算法适合于无线网中具有多服务类、多优先级服务的情况, 并根据网络当前状况动态地调整价格以缓解拥塞问题。该价格机制力求在有效性和易用性之间做出权衡。最后与未结合价格机制的自适应接纳控制算法进行性能对比表明, 将价格机制与接纳控制结合起来, 可以很大程度上改善无线网的性能。

[关键词] 无线网络; 自适应的接纳控制; 微观经济学; 价格机制; 连接级 QoS

[中图分类号] TP393 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)04-0032-07

1 引言

近十几年来, 无线通信网的发展, 除了用户数的增加外, 还出现诸如不同流量特征、不同 QoS 需求的多媒体应用, 要求无线网提供更多的资源。无线网带宽资源难以满足这种日益增长的需要, 成为提供多媒体服务的 QoS 性能瓶颈。为此, 最初的做法是采用蜂窝分裂 (cellular splitting) 和频率复用。但这种做法不能无限制进行下去。

为了有效地使用有限的无线网带宽 (信道) 资源并提供满意的 QoS 保证, 方法之一是采用接纳控制合理的接纳新发起呼叫。方法之二是采用更有效的算法对可用信道数进行管理, 即只分配给那些迫切需要它们的小区, 如动态和混合信道分配策略^[1]。

传统的接纳控制策略^[2-7]对于一定范围内的呼叫到达率, 能够提高网络的性能, 但当呼叫到达率临时非常高而超过了一定的限度时, 它们的性能就开始下降, 网络出现了拥塞。另外, 在低峰期, 资源又得不到充分利用。大多数移动电话服务商通常

采用的做法, 对不同的时间段收取不同的费用, 并不能反映某一时刻的实际网络负载, 不能对网络使用状况的动态和不可预测的变化做出有效反应。

动态价格在分组交换网络 (如 Internet) 中流量管理方面已经有相当长时间的应用, 但直到最近才被用来解决蜂窝网中的拥塞问题。要想得到可能的最好结果, 就必须使用最合适的价格函数。

近年来提出的许多静态或动态的策略约 4 类: a. 守卫信道策略^[2,3]; b. 排队优先策略^[4-6]; c. 信道借用策略^[7]; d. 基于价格机制的接纳控制策略^[8-10]。前三类接纳控制策略并不能解决无线网的拥塞问题。从系统性能角度来讲, 与价格机制相结合的接纳控制策略是最好的一种策略, 因为它能够缓解网络拥塞, 满足用户的 QoS 需求, 增加网络运营者的收入, 且能更有效地利用网络资源^[8]。

利用经济学中价格机制理论以及其在有线网中应用范例, 结合自适应的多媒体应用带宽可以动态调整的特点, 提出一种与价格机制相结合的自适应的接纳控制算法, 该算法适合于无线/移动网络中具有多服务类、多优先级服务的情况。根据网络当

[收稿日期] 2004-12-06; **修回日期** 2005-06-16

[基金项目] “九七三”国家重点基础研究发展计划资助项目 (2003CB314801); 下一代互联网中日 IPv6 合作资助项目 ([2003] 1607)

[作者简介] 张 雪 (1974-), 女, 河南延津县人, 东南大学博士研究生, 研究重点为无线/移动多媒体网络

前状况动态地调整价格以缓解拥塞问题。动态价格虽然在避免拥塞方面非常有效，但过于复杂的价格计算会使用户难以接受，力求在有效性和易用性之间做出权衡。

2 基于价格机制的自适应接纳控制算法

网络用户的行为各自独立并不考虑网络的流量状况，系统过载状况就难以避免。第三代和第四代服务的出现，用户需要更多的带宽资源来传输多媒体数据，拥塞状况更趋严重^[11]。通过价格机制来规范用户行为，以提高整体利用率和性能。

2.1 最优新呼叫到达率

如果将无线网资源看作是公共福利，最好的共享策略是能够最大化所有用户的效用^[12]。常用效用函数来描述用户对所获得的 QoS 的满意程度^[12,13]，效用越高，用户越满意。所用的效用函数由两部分组成，一部分用 S 形曲线来描述用户对所用资源多少的满意程度^[14]，这主要是考虑到适应多媒体应用可能会被降级，另一部分是蜂窝网中的主要参数——呼叫阻塞率的函数。

假设有 m 类服务，S 形曲线^[15]为

$$u_{ij}(r_j) = \psi(r_j/x)^\zeta / (1 + (r_j/x)^\zeta) \quad (1)$$

$u_{ij}(r_j)$ 为 i 类服务中第 j 个连接对分配给其 r_j 资源的满意程度，参数 $\zeta \geq 2$ 和 $x > 0$ 用来调整效用，使效用限制在 $[0, \psi]$ 区间内。

定义 i 类服务的呼叫阻塞率 P_{bi} 为该类服务的新呼叫阻塞率 (CBP) P_{nbi} 和切换呼叫丢弃率 (HDP) P_{hbi} 的加权和^[8]，

$$P_{bi} = \alpha_i P_{nbi} + \beta_i P_{hbi} \quad (2)$$

其中， α_i 和 β_i 分别表示对拒绝新呼叫和切换呼叫的惩罚，且 $\alpha_i + \beta_i = 1$ 。用 $\beta_i > \alpha_i$ 来反映阻塞切换呼叫要花费比较高的代价。因为 P_{nbi} 和 P_{hbi} 都是 i 类新呼叫到达率 λ_{ni} 的单调递增的凸函数^[16]；所以， P_{bi} 也是 λ_{ni} 的单调递增的凸函数，即 $P_{bi} = g(\lambda_{ni})$ 。 P_{bi} 与用户效用之间的关系为

$$u_i(P_{bi}) = (1 - \exp(-c_i(P_{bi} - d_i))) \text{sig}(P_{bi}) \quad (3)$$

最终也是 λ_{ni} 的函数， c_i 和 d_i 为可调参数， $\text{sig}(P_{bi})$ 为一符号函数，

$$\text{sig}(P_{bi}) = \begin{cases} 1 & P_{bi} < P_{\text{thre}}^i \text{ or } P_{bi} > d_i, \\ -1 & P_{\text{thre}}^i \leq P_{bi} < d_i \end{cases} \quad (4)$$

P_{thre}^i 为限制呼叫阻塞率的阈值。

系统中所有接纳用户的总效用

$$u_{\text{total}} = \max \left(\sum_{i=1}^m \left(a_i \sum_{j=1}^{N_i} u_{ij}(r_j) + b_i N_i u_i(P_{bi}) \right), 0 \right) = \max \left(\sum_{i=1}^m (a_i u_i^1 + b_i N_i u_i^2), 0 \right) \quad (5)$$

a_i 和 b_i 为权值，且有 $\sum_{i=1}^m a_i = 1$ 和 $\sum_{i=1}^m b_i = 1$ 。 N_i 为 i 类服务的平均连接数，它是 i 类服务新呼叫到达率 λ_{ni} 的函数，即 $N_i = f_i(\lambda_{ni})$ ，且是可微的单调递增的凹函数^[16]。

系统中总的新呼叫到达率 $\lambda_n = \sum_{i=1}^m \lambda_{ni}$ 。式 (5)

取最大值 $u_{\text{total}}^{\text{max}}$ 的新呼叫到达率可能不止一个，其中最大的一个是最优的新呼叫到达率

$$\lambda_n^* = \sup_{i \in \{0, 1, \dots\}} \{ \lambda_n^i (u_{\text{total}} = u_{\text{total}}^{\text{max}}) \}。$$

应该指出，最大化所有用户的效用即是指有效地利用信道资源^[8]。当 $\lambda_n < \lambda_n^*$ 时，用户可得到比其需求更高的 QoS 保证，但某些信道资源将被浪费，这意味着服务提供者的收入较少。当 $\lambda_n > \lambda_n^*$ 时，大量的用户（新发起的和要求切换的）被阻塞，这意味着 QoS 的下降，尤其是切换呼叫很难成功完成，因此很难令用户满意；信道资源的有效利用率很低。当 $\lambda_n = \lambda_n^*$ 时，满意用户数是最多的，且大多数信道资源得到了有效的利用。系统最好运行在最优的流量负载 (λ_n^*) 或以下。

2.2 系统模型

蜂窝移动环境下基于价格机制的自适应的接纳控制算法，支持多优先级服务类。系统由自适应接纳控制模块和价格机制模块组成，如图 1 所示。

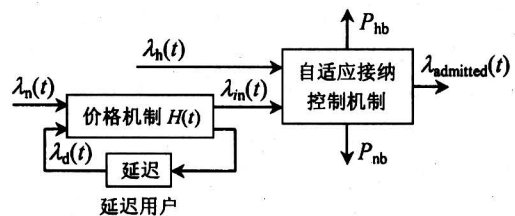


图 1 基于价格机制的自适应接纳控制模型

Fig.1 Pricing based adaptive CAC model

假设：有实时应用和非实时应用 2 类应用，可以很容易地扩展到多类应用的情况；实时应用的带宽需求为 $[b_{RD}, b_R]$ ，非实时应用的带宽需求为 $[b_{ND}, b_N]$ ， b_R, b_N 是其要求的带宽， b_{RD}, b_{ND} 是其可以容忍的最低带宽需求；实时应用的优先级高于

非实时应用的优先级；实时应用和非实时应用的新呼叫到达率服从泊松分布，均值分别为 λ_{RN} 和 λ_{NN} ；二者的连接持续时间（CHT）都服从负指数分布，均值分别为 $1/\mu_R$ 和 $1/\mu_N$ ；信道停留时间（CRT）都服从负指数分布，均值分别为 $1/\eta_R$ 和 $1/\eta_N$ ；新连接请求和切换连接请求的 CRT 相同；切换连接请求到达率服从泊松分布，均值分别为 λ_{RH} 和 λ_{NH} ，可表示为^[17, 18]

$$\lambda_{MH} = \eta_M(1 - P_{MN})\lambda_{MN}/(\mu_M + \eta_M P_{MH}) \quad (6)$$

其中， $M \in \{R, N\}$ ， P_{MN} ， P_{MH} 分别是应用类 M 的 CBP 和 HDP。当蜂窝中移动主机的数量远远大于蜂窝中的信道数量时，以上假设是合理的。假设每个蜂窝的容量为 C 且固定。蜂窝状态集合 $X = \{(i, j) \mid i \geq 0, j \geq 0, ib_{RD} + jb_{ND} \leq C\}$ ，其中，状态 (i, j) 表示蜂窝中有 i 个实时连接， j 个非实时连接， b_{RD} ， b_{ND} 分别代表实时应用、非实时应用的最小带宽需求。

2.3 基于价格机制的自适应的接纳控制算法

图 1 中的价格机制模块按如下方式工作： $\lambda_n < \lambda_n^*$ 时，采用普通价格（即所有用户都能接受的价格）；在 $\lambda_n > \lambda_n^*$ 时采用动态价格（根据网络当前状况动态调整）。当用户试图接入时，基站负责向用户广播当前的单位价格。当网络在高峰时间采用动态价格时，不愿意接受该价格的用户，就不会在此时发起呼叫，他们会延迟一段时间。这部分流量由 $\lambda_d(t)$ 表示。价格机制模块的系统函数 $H(t)$ 定义为在时刻 t 愿意接受此时价格的用户占总到达用户的百分数^[8]，

$$(\lambda_n(t) + \lambda_d(t))H(t) = \lambda_{in}(t) \quad (7)$$

$\lambda_{in}(t)$ 为自适应的接纳控制模块的流量输入。根据网络当前状况调整 $H(t)$ ，使 $\lambda_{in}(t)$ 总是满足

$$\lambda_{in}(t) \leq \lambda_n^* \quad (8)$$

这一要求确保小区不会发生拥塞，因而正在接受服务用户的 QoS 可得到保证。描述用户对价格反应的需求函数为^[8, 10]

$$D[p(t)] = \exp[-(p(t)/p_0 - 1)^2] \quad (9)$$

p_0 为普通价格（单位时间单位带宽的钱数，以下同）， $p(t)$ 为 t 时刻的价格。 $D[p(t)]$ 为愿意接受该价格的用户所占的比例。 $D[p_0] = 1$ 意味着所有用户都接受普通价格。将 $H(t)$ 表示为用户对当前价格的反应，有

$$H(t) = D[p(t)] \quad (10)$$

由式 (7) 和式 (8) 得

$$H(t) \leq \frac{\lambda_{in}(t)}{\lambda_n(t) + \lambda_d(t)} \leq \frac{\lambda_n^*}{\lambda_n(t) + \lambda_d(t)} \quad (11)$$

由式 (9)、式 (10) 和式 (11) 得

$$p(t) = D^{-1}(\min(\lambda_n^*/(\lambda_n(t) + \lambda_n(t)), 1)) \quad (12)$$

接纳控制策略是：

1) 对于新发起呼叫，若满足下面 2 个条件被接纳，否则被阻塞。**a.** 蜂窝当前状态下没有出现应用 QoS 降级，即 $D_M = 0$ ， $M \in \{R, N\}$ ；**b.** 其最大带宽需求得到满足。

2) 对于切换呼叫，**a.** 若蜂窝内空闲的带宽可以满足其最小的带宽需求则接纳；否则，**b.** 对优先级不高于自己的应用进行 QoS 降级。若降级后释放的带宽可以满足其最小带宽需求，则接纳；否则丢弃。

其中， D_M 为瞬时降级率，在当前状态 (i, j) 下， $D_M = D(M)/C(M)$ ， $M \in \{R, N\}$ ；其中 $D(M)$ 指蜂窝中 M 类连接降级的数量， $C(M)$ 指蜂窝中 M 类连接的总数， D_M 指 M 类连接的瞬时降级率，它反映了蜂窝中同类流量的瞬时超载程度。

基于价格机制的自适应的接纳控制算法如下：

```

if ( $\lambda_n < \lambda_n^*$ )
    Adaptive CAC ( $i, j, x$ )
else
    calculate  $p(t)$  according to equation (12)
    apply dynamic pricing
    Adaptive CAC ( $i, j, x$ )
end if

```

其中，Adaptive CAC (i, j, x) 为自适应接纳控制模块采用的算法， (i, j) 为系统当前状态， x 为到达的连接请求。

3 性能分析模型

3.1 性能分析

根据前面的接纳控制算法，系统处于稳定状态 (i, j) 的概率 $P(i, j)$ 表示为

$$\begin{aligned} P(i+1, j) &= \rho_R(i, j)P(i, j)/(i+1) \\ & \quad i \neq 0 \text{ or } j \neq 0, \\ P(i+1, j) &= \rho_N(i, j)P(i, j)/(i+1) \\ & \quad i \neq 0 \text{ or } j \neq 0 \end{aligned} \quad (13)$$

式中 $(i, j) \in X$ ， $\rho_R(i, j) = \lambda_{RP}(i, j)/w_R$ ， $\rho_N(i,$

$j) = \lambda_{NP}(i, j)/w_N, w_R = \mu_R + \eta_R, w_N = \mu_N + \eta_N,$

$$\begin{aligned} \lambda_{RP}(i, j) &= (\lambda_{RN} + \lambda_{RD})D[p(t)] + \lambda_{RH}, \\ \lambda_{NP}(i, j) &= (\lambda_{NN} + \lambda_{ND})D[p(t)] + \lambda_{NH} \end{aligned} \quad (14)$$

其中, λ_{RD} 和 λ_{ND} 分别为应用动态价格时延迟接入的实时和非实时流量。

根据自适应的接纳控制算法, 可以得到实时应用的 CBP 和 HDP 分别为

$$\begin{aligned} P_{RN} &= \sum_{(i,j) \in X, ib_R + jb_N > C - b_R} P(i, j), \\ P_{RH} &= \sum_{(i,j) \in X, ib_{RD} + jb_{ND} > C - b_{RD}} P(i, j) \end{aligned} \quad (15)$$

非实时应用的 CBP 和 HDP 分别为

$$\begin{aligned} P_{NN} &= \sum_{(i,j) \in X, ib_R + jb_N > C - b_N} P(i, j), \\ P_{NH} &= \sum_{(i,j) \in X, ib_{RD} + jb_{ND} > C - b_{ND}} P(i, j) \end{aligned} \quad (16)$$

蜂窝中实时应用连接数量的数学期望为

$$E[N_R] = \sum_{i=0}^{[C/b_{RD}]} i \left[\sum_{j=0}^{[(C - ib_{RD})/b_{ND}]} P(i, j) \right] \quad (17)$$

其中降级实时应用连接数量的数学期望为

$$E[D_R] = \sum_{j=0}^{[C/b_{ND}]} \sum_{i=[(C - jb_{ND})/b_{RD}]}^{[C/b_{RD}]} \left[\frac{ib_R + jb_{ND} - C}{b_R - b_{RD}} \right] P(i, j) \quad (18)$$

实时应用的平均降级率为

$$DRP = E[D_R]/E[N_R] \quad (19)$$

蜂窝中非实时应用连接数量的数学期望为

$$E[N_N] = \sum_{j=0}^{[C/b_{ND}]} j \left[\sum_{i=0}^{[(C - jb_{ND})/b_{RD}]} P(i, j) \right] \quad (20)$$

其中降级非实时应用连接数量的数学期望为

$$\begin{aligned} E[D_N] &= \sum_{i=0}^{[C/b_R]} \sum_{j=[(C - ib_R)/b_{ND}]}^{[(C - ib_R)/b_{ND}]} \left[\frac{ib_R + jb_N - C}{b_N - b_{ND}} \right] \cdot \\ &P(i, j) + \sum_{i=C/b_R+1}^{[C/b_{RD}]} \sum_{j=0}^{[(C - ib_{RD})/b_{ND}]} j P(i, j) \end{aligned} \quad (21)$$

非实时应用的平均降级率为:

$$DNP = E[D_N]/E[N_N] \quad (22)$$

根据文献 [19], 应用类 M 的未完成率 (FTP) 是指应用连接在生存期内由于切换连接请求丢弃而导致的的服务被迫终止的概率, 为

$$P_{MT} = P_{MH}/(\mu_M/\eta_M + P_{MH}) \quad (23)$$

其中 $M \in \{R, N\}$ 。

式 (5) 重写为

$$u_{total} = \max (a_1 u_R^1 + a_2 u_N^1 + b_1 N_R u_R^2 + b_2 N_N u_N^2, 0) \quad (24)$$

其中

$$\begin{aligned} u_R^1 &= \sum_{i=1}^{N_R} \psi \frac{(r_i/x_R)^{\zeta_R}}{1 + (r_i/x_R)^{\zeta_R}}, \\ u_N^1 &= \sum_{i=1}^{N_N} \psi \frac{(r_i/x_N)^{\zeta_N}}{1 + (r_i/x_N)^{\zeta_N}}, \end{aligned}$$

$$P_{bl} = \alpha_1 P_{RN} + \beta_1 P_{RH}, P_{bz} = \alpha_2 P_{NN} + \beta_2 P_{NH},$$

$$N_E = E[N_R], N_N = E[N_N],$$

$$u_R^2 = (1 - \exp(-c_1(P_{bl} - d_1))) \text{sig}(P_{bl}),$$

$$u_N^2 = (1 - \exp(-c_2(P_{bz} - d_2))) \text{sig}(P_{bz}).$$

3.2 性能分析的数值结果及比较

3.2.1 实验参数设置 实验参数设置如下:

1) 对于自适应的应用采用自适应的接纳控制, 实时应用的带宽需求为 [3, 5] (带宽单位), 非实时应用的带宽需求为 [2, 4] (带宽单位);

2) 应用流量模型中 $\mu_R = \mu_N = 0.4, \eta_R = \eta_N = 0.8$, 蜂窝的容量固定为 36 (带宽单位);

3) 式 (24) 中, $a_1 = a_2 = 0.5, b_1 = 0.6, b_2 = 0.4, c_1 = c_2 = 30, d_1 = d_2 = 0.1, \alpha_1 = \alpha_2 = 0.3, \beta_1 = \beta_2 = 0.7, P_{thre}^R = 0.01, P_{thre}^N = 0.05, x_R = 2, x_N = 1.5, \zeta_R = 3, \zeta_N = 2$;

4) 系统采用式 (24) 中的效用函数, 由上述给出的参数值, 并假设实时应用和非实时应用的新呼叫到达率相同, 可得最优新呼叫到达率为 1.36;

5) 新呼叫到达率服从泊松分布, 其随时间的变化如图 2 所示。

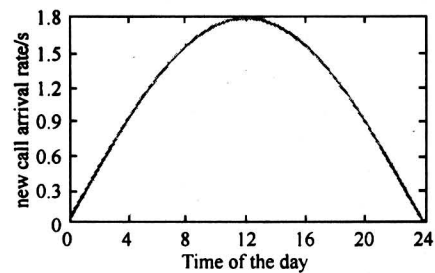


图 2 输入的新呼叫到达率

Fig.2 New call arrival rates

3.2.2 PACAC 和 ACAC 的 QoS 性能对比 图 3 和图 4 分别给出了传统的 ACAC 算法^[20]和基于价格机制的 PACAC 算法在各点的流量速率。从图 3 可以看出, 在传统的 ACAC 算法中, 由于没有任何措施对用户的行为进行约束, 各时间点上的 $\lambda_{in}(t)$ 都等于 $\lambda_n(t)$, 在 $\lambda_n(t)$ 非常大时, 就会使 CBP 和 HDP, 以及呼叫未完成率、呼叫降级率跟着增加,

使总用户效用随之降低。从图 4 可以看出，PACAC 算法能在高峰期对流量很好的进行平滑，使系统始终工作在最优速率或以下。

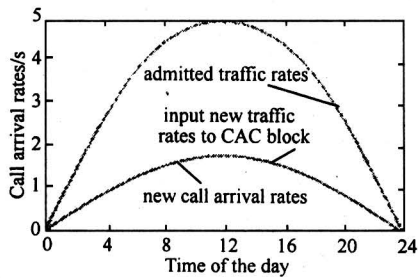


图 3 ACAC 在各点的流量速率

Fig.3 Traffic rates at different points in ACAC

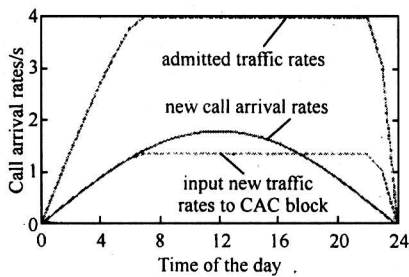


图 4 PACAC 在各点的流量速率

Fig.4 Traffic rates at different points in PACAC

各点的加权呼叫阻塞率 (WCBP) 见图 5，prwcbp 和 pnwcbp 曲线分别是 PACAC 算法中的实时和非实时 WCBP，rwcbbp 和 nwcbbp 是 ACAC 算法中的实时和非实时 WCBP，其余各图命名原则类似。

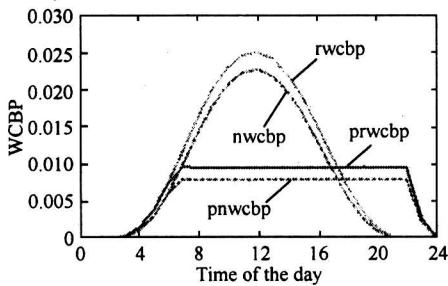


图 5 各点的加权呼叫阻塞率

Fig.5 Weighted CBP at different points

图 5 可以看出，在 PACAC 算法中，实时应用的 WCBP 不会超过 0.01，非实时应用的 WCBP 低于实时应用的 WCBP，这是因为实时应用的 CBP 高于非实时应用的 CBP，而两者的 HDP 相差较小。在 ACAC 算法中，实时应用和非实时应用的 WCBP 都

随着负载的增加而急剧上升。

图 6 为各点的未完成率 (FTP)，因为实时应用的优先级高于非实时应用的优先级，当可用带宽不能满足其带宽需求时，它的切换呼叫首先剥夺非实时应用活动连接的带宽，因此它的 FTP 远远低于非实时应用的 FTP，两类应用的 FTP 变化规律与它们的 HDP 性能结果是相符的。在 PACAC 算法中，非实时应用的 FTP 被控制在一定的范围，无论新呼叫到达率如何增加，都不会超出该范围。在 ACAC 算法中，非实时应用的 FTP 随着负载的增加而急剧上升。

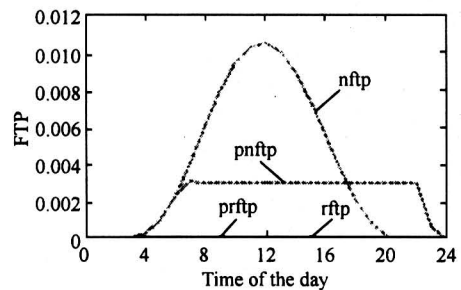


图 6 各点的未完成率

Fig.6 FTP at different points

图 7 为各点的降级率 (DR)，实时应用的平均降级率低于非实时应用的平均降级率。因为实时应用的优先级高于非实时应用的优先级，当蜂窝中空闲带宽不足以接纳实时应用的切换连接请求，首先对非实时应用的 QoS 进行降级。随着负载的增加，两类应用的降级率逐渐加大。在 PACAC 算法中，实时应用和非实时应用的降级率被控制在一定的范围，无论新呼叫到达率如何增加，都不会超出该范围。在 ACAC 算法中，实时应用和非实时应用的降级率都随着负载的增加而增加。

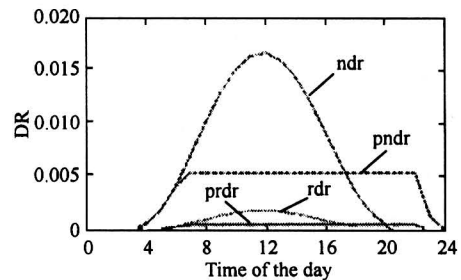


图 7 各点的降级率

Fig.7 DR at different points

图 8 为各点的资源利用率，在流量高峰期，

ACAC 算法的资源利用率比 PACAC 算法高, 但这是以更高的未完成率和降级率为代价的, 并从图 6 和图 7 中也可看出。未完成率的升高, 表明其有效资源利用率不高。

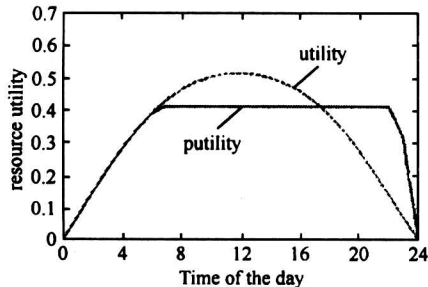


图 8 各点的资源利用率

Fig.8 Resource utility at different points

图 9 为各点的总用户效用, 在流量高峰期, ACAC 算法的总用户效用急剧下降, 因为此时它的 CBP 和 HDP 急剧增加, 用户的满意度也随之降低, 从式 (5) 也可看出; 而 PACAC 算法的总用户效用此时达到最大。PACAC 算法能使系统工作在最优状态而不会随着到达流量的增加而出现拥塞现象。

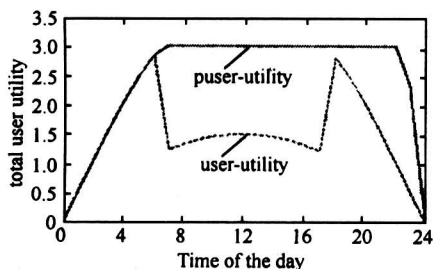


图 9 各点的总用户效用

Fig.9 Total user utility at different points

从以上分析可知, PACAC 算法能很好地对流量进行控制, 对各 QoS 指标均能控制在一定范围内。只要系统参数设置合理, 无论输入流量模式如何, 都能使系统工作在所期望的状态, 在总用户效用最大化的前提下, 增加服务提供商的收入。

5 结语

针对自适应的多媒体应用带宽可以动态调整的特点以及价格对用户行为的影响, 提出一种无线/移动网络中结合价格机制的多优先级服务自适应接纳控制算法, 它根据网络当前状况动态地调整价格以缓解拥塞问题。所用的价格机制力求在有效性和易用性之间做出权衡, 价格调整只发生在用户接入

网络时, 用户被接纳后将保持其接入时的价格。

将价格机制与接纳控制结合起来, 能够有效的避免网络拥塞, 能将各项 QoS 指标控制在期望的范围内, 可以很大程度上改善无线网的性能。只要系统参数设置合理, 无论输入流量模式如何, 都能使系统始终工作在所期望的状态下, 在总用户效用最大化的前提下, 增加服务提供商的收入。

应该指出, 所用的效用函数只在 S 形曲线部分反映了自适应的多媒体应用的带宽变化对系统总用户效用的影响, 对用户接入系统后可能遭受的 QoS 降级并未作特殊处理, 将进一步研究如何更有效的对用户的效用进行衡量, 如引入后向效用^[15]的概念以反映降级率对系统总用户效用的影响。

参考文献

- [1] Katzela I, Naghshineh M. Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: a comprehensive survey [J], IEEE Pers Commun, 1996, (June): 10 ~ 31
- [2] Hong D, Rappaport S S. Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures [J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions, 1986, VT35 (3): 77 ~ 92
- [3] Ramjee R, Nagarajan R, Towsley D. On optimal call admission control in cellular networks [A]. INFOCOM'96, Fifteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer Societies, Networking the Next Generation, Proceedings IEEE, Vol 1[C]. 1996. 43 ~ 50
- [4] Lau V K N, Maric S V. Mobility of queued call requests of a new call queuing technique for cellular systems [J]. IEEE Trans Vehicular Technology, 1998, 47(2): 480 ~ 489
- [5] Tekinay S, Jabbari B. A measurement - based prioritization scheme for handovers in mobile cellular networks [J]. IEEE J Selected Areas in Comm, 1992, 10 (8): 1343 ~ 1350
- [6] Chang C J, Su T T, Chiang Y Y. Analysis of a cutoff priority cellular radio system with finite queuing and reneging/dropping [J]. IEEE/ACM Trans Networking, 1994, 2(2): 166 ~ 175
- [7] Chang K N, Kim J T, Yim C S, Kim S. An efficient borrowing channel assignment scheme for cellular mobile systems [J]. IEEE Trans Vehicular Technology, 1988, 47 (2): 602 ~ 608

- [8] Hou Jiongkuan, Yang Jie, Papavassiliou S. Integration of pricing with call admission control to meet QoS requirements in cellular networks [J]. Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions, 2002, 13(9): 898 ~ 910
- [9] Viterbo E, Chiasserini C F. Dynamic pricing for connection - oriented services in wireless networks [A]. 12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Vol 1 [C], 2001. A68 ~ A72
- [10] Yaipairoj S, Harmantzis F C. Dynamic pricing with "alternatives" for mobile networks [A]. Wireless Communications and Networking Conference, WCNC, 2004 IEEE, Vol 2 [C], 2004. 671 ~ 676
- [11] Ohmori S, Yamao Y, Nakajima N. The future generations of mobile communications based on broadband access technologies [J]. IEEE Comm Magazine, 2000, 38(12): 134 ~ 142
- [12] Ji H, Hui J Y, Karasan E. GoS-based pricing and resource allocation for multimedia broadband networks [A]. Proceedings of IEEE INFOCOM [C]. 1996. 1020 ~ 1027
- [13] Cocchi R, Shenker S, Estrin D, et al. Pricing in computer networks: motivation, formulation and example [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1(6): 614 ~ 627
- [14] Xiao M, Shroff N B, Chong E K-P. Utility-based power control in cellular wireless systems [A]. Proc INFOCOM 2001, Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies [C]. 2001. 412 ~ 421
- [15] Badia L, Zorzi M. On utility based radio resource management with and without service guarantees [A]. MSWiM'04 [C]. Italy: Venezia, 2004
- [16] Kreshinan K R. The convexity of loss rate in an erlang loss system and sojourn in an erlang delay system with respect to arrival rate and service rate [J]. IEEE Trans Commun, 1987, COM-38(Dec): 1314 ~ 1316
- [17] Lin Y B, Noerpele A, Harasty D. The subrating channel assignment strategy for PCS handoffs [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1996, 45(1): 123 ~ 130
- [18] Lin Y B, Mohan S, Noerpele A. Queueing priority channel assignment strategies for handoff and initial access for a PCS network [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1994, 43(3): 704 ~ 712
- [20] 姜爱全, 赵阿群. 无线/移动网络中自适应的接纳控制算法及性能分析 [J]. 通信学报, 2004, 25(6): 147 ~ 156
- [19] Naghshineh M, Schwartz M. Distributed call admission control in mobile/wireless networks [J]. IEEE JSAC, 1996, 14(4): 711 ~ 717

Pricing Based Adaptive Call Admission Control Algorithm for Wireless Networks

Zhang Xue

(Key Laboratory of Computer Network and Information Integration of Education
Ministry, Southeast University, Nanjing 210096, China)

[**Abstract**] In order to efficiently and effectively control the use of wireless network resources, in this paper, according to the characteristic of adaptive multimedia applications in which bandwidths can be adjusted dynamically, and the influence of pricing on the users' behavior, an adaptive admission control algorithm integrated with pricing is proposed. The algorithm, in with the price is adjusted dynamically based on the current network conditions, is fit for the multi-priorities services. Attempt is tried to make best balance between the efficiency and simplicity for the pricing scheme. Comparison of the performance of the proposed approach is made with the corresponding results of conventional systems where pricing is not taken into consideration in CAC process. The performance results verify the considerable improvement achieved by the integration of pricing with CAC in wireless networks.

[**Key words**] wireless networks; adaptive call admission control; microeconomic theory; pricing; connection level QoS