

# 一种基于无线多媒体业务的可升降级 QoS 动态带宽分配与优化策略

甄皓琮 方旭明 朱龙杰  
(西南交通大学计算机与通信工程学院 成都 610031)

**摘要** 无线多媒体网络中的业务包括语音、流媒体、交互类和背景类业务 4 种,除语音业务外其余 3 种业务都是可变比特速率业务。对该网络用户资源分配(主要是带宽的分配)若采用传统的固定分配方法,必定陷入资源利用率低下和用户 QoS 得不到保障的两难境地。该文提出了一种基于无线多媒体业务的动态带宽分配与优化策略,在保证用户 QoS 的前提下,尽可能提高资源利用率。该文分别从网络 and 用户两个角度考虑,通过系统容量、业务阻塞率、数据延迟、流媒体的实际传输比和 VBR 业务综合服务等级等参数,对可升降级 QoS 无线多媒体网络进行了仿真分析,结果表明,对比传统的网络资源管理策略,该策略大大改善了系统的性能,提高了系统资源利用率。

**关键词** 无线通信网络,多媒体,可升降级 QoS,可变比特速率,无线资源管理

中图分类号: TN915.07

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)10-1912-05

## A Changeable QoS Dynamic Bandwidth Allocation and Optimization Strategy Supporting Wireless Multimedia Traffics

Zhen Hao-cong Fang Xu-ming Zhu Long-jie

(School of Computer & Communications Engineering, SWJTU, Chengdu 610031 China)

**Abstract** There are four traffic classes in wireless multimedia network, including conversational class, streaming class, interactive class, and background class, while three of them are Variable Bit Rate (VBR) traffic except conversation class. It will fall into a dilemma if conventional resource allocation methods are adopted (especially for the bandwidth allocation methods). In this paper, a dynamic bandwidth allocation scheme is proposed for packet switched wireless multimedia networks. The scheme could guarantee users' QoS, while the utility of resource could be improved. Using these models, the effects of the changeable QoS dynamic bandwidth allocation and optimization strategy are evaluated from both points of view of the networks and users. Simulation results are presented to demonstrate the performance of the proposed scheme in terms of system capacity, blocking probability, delay, practical transmission ratio of video traffic, and the Integrated Grade of Service (IGoS) of VBR traffic. Compared with the conventional scheme, the proposed scheme can greatly improve the system performance and resource utility.

**Key words** Wireless communication networks, Multimedia, Changeable QoS, VBR, Radio resource management

### 1 引言

在无线多媒体通信中,带宽资源是个瓶颈。当系统带宽用尽时,呼叫就会被阻塞。然而,在某些情况下,如果我们考虑适当降低已接入用户的QoS等级,就可以在在一定程度上降低系统阻塞率<sup>[1]</sup>。

目前,无线网络提供的服务从过去单一的话音业务,经过语音/数据综合业务阶段,发展到现在的语音/流媒体/数据的多媒体业务。随着用户需求的变化和服务提供商提供业务种类的增加,3G系统等多媒体网络对业务模型进行了新的划分。针对多媒体业务的资源分配问题,文献[2-5]通过不同的CAC策略和资源预留机制来完成资源的动态分配。然而,虽然以上成果涉及了多媒体业务的动态资源分配,但仅限于区分实时和非实时业务的特性,并未考虑到其中某些业务的可变比特速率(VBR)特征。本文基于此研究现状,采用3GPP定义

的4种业务类型作为业务源模型<sup>[6]</sup>,为满足各类型用户的QoS需求,同时减少不必要的资源占用,提出了一种可逐级滚降QoS的动态带宽分配策略。仿真结果表明,本策略在带宽资源一定的情况下显著提高了带宽资源利用率,并同时保证了高优先级业务的QoS。

带宽资源分配与优化的另一思路是,在带宽资源完全被占用的情况下,根据各业务类型的QoS等级,按照一定的升降级准则令某些用户接受降级服务,以保证有新的带宽资源分配给更多的用户。在文献[7-9]中,通过运用QoS降级,系统性能(带宽利用率)得到明显提高,但忽略了用户本身受QoS降级策略的影响。一般来讲,在网络资源丰富的情况下,即使用户可以容忍一定程度的QoS下降,但他们有权获得高质量的服务。因此,我们就要考虑一些反映用户所享受到的平均QoS水平的性能参数。Kwon等使用了降级时间比率参数来表示一个用户降级的时间<sup>[10]</sup>,但其算法是建立在平均降级时间和降级状态相互独立的基础上。Chou等论证了这两个变量的关联性<sup>[1]</sup>,提出了一种新的降级率(DR)和一种新的性

能参数——升降级频率(UDF),但只是基于单种业务——语音业务。本文结合恒比特率(CBR)和VBR的特点,提出两个新的性能参数:流媒体的实际传输比和VBR业务的综合服务等级(IGoS),并结合上述资源分配策略,对此进行了仿真。仿真结果表明,本文所提出的策略在适当降低流媒体的实际传输比和增加数据延迟的情况下,大大提高了系统容量,显著降低了高优先级业务的阻塞率。

本文的其余部分安排如下:第 2 节介绍系统模型,第 3 节描述本文提出的可升降级 QoS 的动态带宽分配与优化策略,第 4 节是策略分析,第 5 节是仿真结果与分析,第 6 节为结论。

## 2 系统模型

假设我们讨论的系统为无线多媒体通信系统,基站资源管理器(RM)同时负责接入控制和带宽分配。基站按一定的周期  $T$  对接入用户的传输速率进行检测,忽略检测延迟。不失一般性,再假定,系统总带宽一定,设为  $W$ ,带宽分配的基本单元为  $W_b$ ,它是可以满足基本传输速率  $R_b$  的带宽。

针对未来无线多媒体通信网络的需求,以 3GPP 定义为基础,本文将网络中的业务分为以下 3 种优先级:语音业务的优先级最高,设为  $PRI_v=3$ ;视频流媒体业务优先级次之,设为  $PRI_s=2$ ;交互式业务与背景类业务对延时的要求有所不同,为分析方便起见,本文将这两种业务合并为一种数据业务,优先级最低,设为  $PRI_d=1$ 。再假设:

(1) 三类业务的到达服从泊松分布,平均到达率依次为  $\lambda_v, \lambda_s$  和  $\lambda_d$ ,服务时间服从指数分布,平均服务时间依次为  $\mu_v, \mu_s$  和  $\mu_d$ ,不同类型业务之间的用户的到达是相互独立的;

(2) 对于语音业务,采用Markov ON/OFF模型。在激活期,传输速率为  $R_v$  bit/s,  $R_v = R_b^{[1]}$ ,在休眠期,传输速度为 0;

(3) 视频流媒体业务的建模一直是人们研究的难点,为简化分析,这里将视频流媒体业务仅限于视频电话业务。目前一般观点认为,该类业务服从一个多级的离散状态、连续时间的Markov过程,传输速率由有限的离散等级状态决定,如图 1 所示<sup>[11]</sup>。各状态之间的转移速率服从指数分布:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= 3.9 - \beta \\ \beta &= 3.9 / (1 + 5.04458N / M) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中  $N$  为流业务源的集合数,  $M$  为视频流业务量化的级别数。为分析方便起见,本文假定  $N=1, M=8$ 。处于  $jA$  状态的流业务用户的传输速率为  $jR_b$ 。

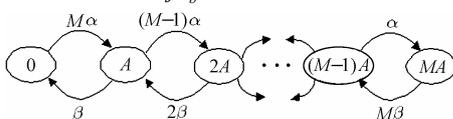


图 1 视频流媒体业务模型

Fig.1 Video traffic model

(4) 对于数据业务,为提高系统资源利用率,认为它是一种可用比特率(ABR: Available Bit Rate)业务,即利用系统剩余可用资源进行传输,初始传输速率为  $R_d$  bit/s。

## 3 新的动态带宽分配与优化策略

本文新提出的动态带宽分配与优化策略——基于无线多媒体业务的可升降级 QoS 的动态带宽分配与优化策略(Changeable QoS-Level Dynamic Bandwidth Allocation and Optimization Strategy Supporting Wireless Multimedia Traffics, CQoS)主要包括 3 类事件:用户到达事件、流媒体用户速率跳转事件和用户离开事件。

考虑到视频流媒体将业务量化为 8 个级别,所以取分配带宽的等级数  $Z=8$ ,各等级带宽从高到低依次为  $W_1, W_2, \dots, W_8$ ,其中  $W_i = (Z-i+1)W_b, i=1,2,\dots,8$ 。此外,假设  $W_{\text{unused}}$  为系统剩余带宽,  $W_\alpha$  为用户服务结束释放的带宽(不同类型用户、相同类型不同服务级别的用户释放的带宽都不同),  $W_{\text{min}}$  为系统最低可分配带宽单位;  $R_s, R'_s$  分别为当前和下一时刻视频流媒体用户的速率,且定义  $|R_s - R'_s|$  为  $W_{\text{require}}$ ; 3 类用户实时要求的带宽分别为  $W_v, W_s$  和  $W_d$ ; 接入系统的 3 种业务的用户数分别为  $N_v, N_s$  和  $N_d$ ; 两种 VBR 业务接受降级服务的用户数分别为  $D_s$  和  $D_d$ ,其中仍能接受降级服务的用户数分别为  $DD_s$  和  $DD_d$ ; 3 种业务被阻塞掉的用户数分别为  $B_v, B_s$  和  $B_d$ 。

当带宽资源富裕时,各类用户到达不论优先级高低,均可按需分得带宽。当带宽资源不够满足接入需求带宽时,则按照优先级顺序从低到高对已接入的用户进行 QoS 的滚降一级或若干级服务,直到腾出足够带宽满足新用户的要求,否则阻塞该用户,具体流程如图 2 所示。

RM 对已接入的视频流用户的速率进行周期性检测,当检测到  $R'_s > R_s$  时,将该视频流用户带宽追加  $\left\lceil \frac{W_{\text{require}}}{W_{\text{min}}} \right\rceil$  个单

位,同时更新剩余带宽  $W_{\text{unused}} = W_{\text{unused}} - \left\lceil \frac{W_{\text{require}}}{W_{\text{min}}} \right\rceil \cdot W_{\text{min}}$ ;

当检测到  $R'_s = R_s$ ,不做调整;当检测到  $R'_s < R_s$  时,将该视频流用户带宽自动释放  $\left\lfloor \frac{W_{\text{require}}}{W_{\text{min}}} \right\rfloor$  个单位,同时更新剩余带

宽  $W_{\text{unused}} = W_{\text{unused}} + \left\lfloor \frac{W_{\text{require}}}{W_{\text{min}}} \right\rfloor \cdot W_{\text{min}}$ 。当带宽资源用尽时,

判断新用户的优先级,选择接入,即高优先级用户可以依次剥夺若干低优先级用户的带宽,让其接受降速率(即降 QoS)服务,从而保证高优先级用户的低阻塞率,具体流程如图 3 所示。

若用户呼叫结束,则释放带宽,即  $W_{\text{unused}} = W_{\text{unused}} + W_\alpha$ 。若  $D_s > 0$ ,将  $W_\alpha$  分配给随机选择的一个最高级的接受

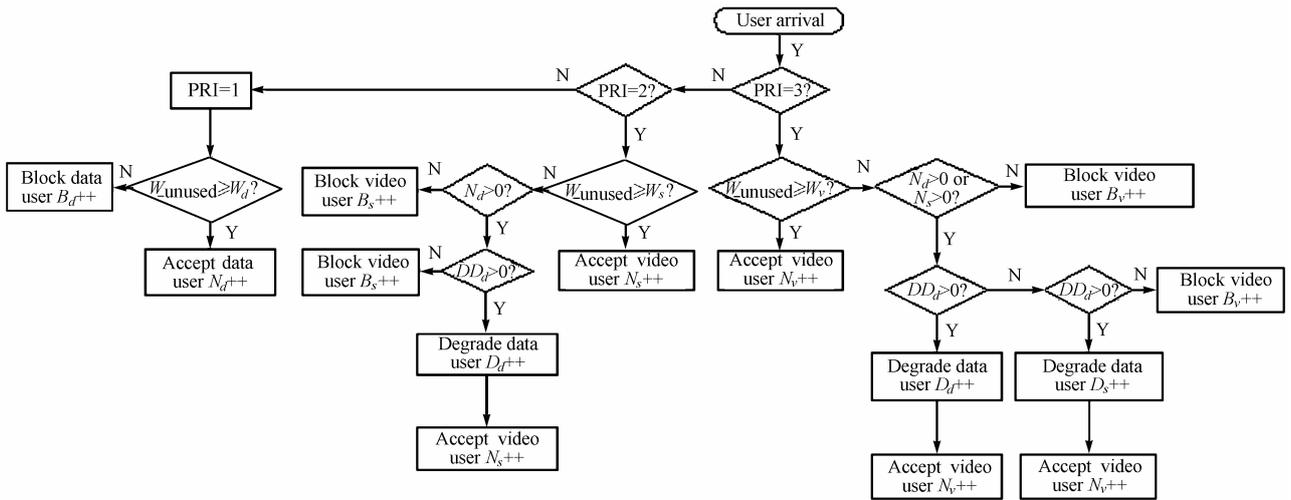


图 2 用户到达事件的处理流程  
Fig.2 User arrival process

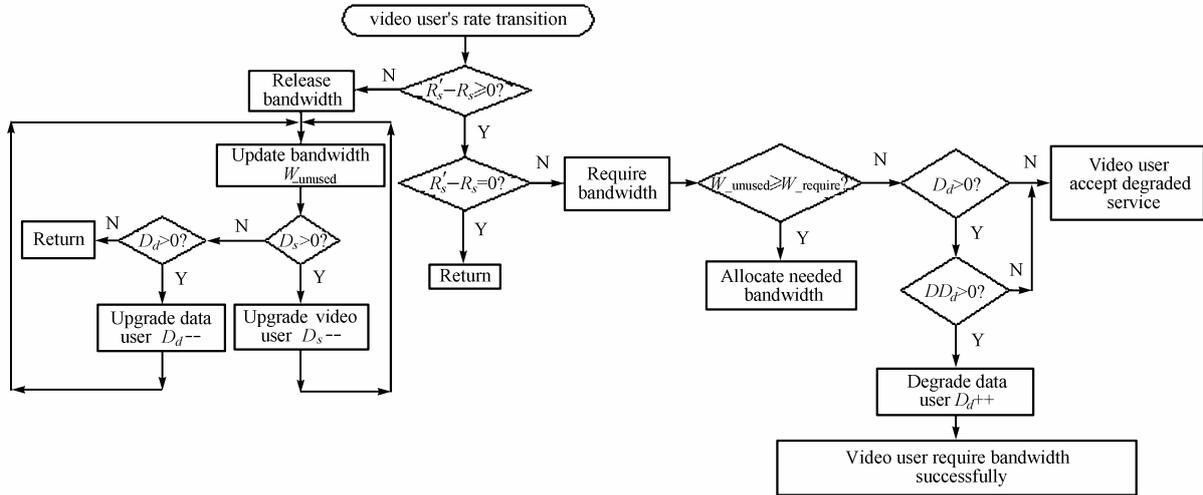


图 3 流媒体用户速率跳转事件的处理流程  
Fig.3 Video user's rate transition process

降级服务的流媒体用户，令其滚升一级或若干级，更新剩余带宽；若仍有剩余带宽且  $D_d > 0$ ，再随机分配  $W_a$  给最高级的接受降级服务的数据用户(包括在缓冲区内排队等待的数据用户)，如此循环，直到系统内没有接受降级服务的流媒体用户或数据用户为止，具体流程与图 3 中“Release bandwidth”后的流程类似。

CQoS 策略为语音业务赋予最高的优先级，因此能够为其 QoS 提供绝对保障。CQoS 策略还很好地解决了 VBR 业务的带宽分配难题，流媒体在  $W_{\text{unused}} \geq W_1$  时 QoS 也得到绝对保障，只在  $W_{\text{unused}} < W_1$  时可能会受到较低程度的损失。CQoS 策略为数据业务依然提供的是尽力而为服务。

综上所述，CQoS 策略与传统可升降级 QoS 动态带宽分配策略相比的显著特点和优势有：不需预留资源，通过设置优先级的高低来完成对资源的不同享用级别，避免了预留资源造成的资源浪费；新颖的升降级策略——逐级滚升滚降可提高资源的利用率，较传统的升降级(一次性剥夺全部或部分资源)能够提供更加平稳的 QoS，且本文提出的策略中带宽分

级以提供基本速率的带宽为步长，更贴近实际网络，可行性强。

### 4 策略分析

首先考虑一般情况，设系统内的不同 QoS 级别为  $K$ 。定义系统用户数状态如下： $\bar{n} = ((n_{1,1}, n_{1,2}, n_{1,3}), (n_{2,1}, n_{2,2}, n_{2,3}), \dots, (n_{K,1}, n_{K,2}, n_{K,3}))$ ，其中  $n_{i,j}$  为第  $i$  级别上的优先级为  $j$  的用户数，则系统容量为

$$C = N_v + N_s + N_d = \sum_{i=1}^K (n_{i,1} + n_{i,2} + n_{i,3}) \quad (2)$$

由于语音业务的 CBR 特性，CQoS 策略中的语音业务始终处于一个固定的级别上，不参加升降级；视频流媒体业务属性决定其速率可以在 8 个状态间跳变，因此可以在 8 个级别上接受服务；数据业务的初始速率  $R_d$  为基带速率  $R_b$  的 5 倍，故可以在 5 个级别上接受服务。故系统容量可以写为

$$C = N_v + N_s + N_d = n_{1,3} + \sum_{i=1}^8 n_{i,2} + \sum_{i=1}^5 n_{i,1} \quad (3)$$

CQoS 保证高优先级业务的低阻塞率,  $P_{B\_v}$ ,  $P_{B\_s}$  和  $P_{B\_d}$  分别表示语音、流媒体和数据业务的阻塞率, 定义如下:

$$P_{B\_v} = P(W_{\text{unused}} < W_v | DD_s = 0 \text{ 且 } DD_d = 0) \quad (4)$$

$$P_{B\_s} = P(W_{\text{unused}} < W_{s\_i} | DD_d = 0) \quad (5)$$

$$P_{B\_d} = P(W_{\text{unused}} < W_d) \quad (6)$$

其中  $W_{s\_i}$  为流媒体用户发起呼叫时的初始速率。

优先级最低的数据业务在传输过程可能被降速率服务, 假设在以  $T$  为检测周期的时间序列内接受降速率服务的速率分别为  $R_{d1}, R_{d2}, \dots, R_{dP}$ , 各速率的服务时间为  $t_{d1}, t_{d2}, \dots, t_{dP}$ , 则该数据用户的延时为

$$T_{d\_delay} = \sum_{i=1}^P t_{di} \left( 1 - \frac{R_{di}}{R_d} \right) \quad (7)$$

本文结合 CBR 和 VBR 的特点, 提出了流媒体的理想传输比和 VBR 业务的综合服务等级(IGoS)两个新的性能评价参数。多媒体业务由于对实时性的要求较高, 受带宽影响明显。当分配的带宽不能实时满足流媒体所要求的带宽时, 流用户就会感觉到所接收到的图像模糊或音质不流畅。设单个流媒体业务源共经历了  $x$  个跳变时间序列,  $W_{x\_require}$  为各检测周期检测到的所需带宽,  $W_{x\_allocated}$  为此时实际满足的带宽, 第  $i$  个流用户的服务时间为  $T_i$ , 接入的流媒体用户为  $N_s$ ,  $d$  为量化单位, 第  $i$  个流用户的实际传输比为

$$\eta_i = 1 - \frac{\sum_x \frac{(W_{x\_require} - W_{x\_allocated})}{W_{x\_require}} \cdot d}{T_i} \quad (8)$$

系统内流媒体用户的平均实际传输比为

$$\eta = \sum_{i=1}^{N_s} \eta_i / N_s \quad (9)$$

流媒体的实际传输比可直接反映流用户所收到的视频/音频效果, 实际传输比越高, 视频/音频的失真越小, 因此也作为衡量 CQoS 策略的性能参数之一。

根据实际应用侧重点的不同, VBR 业务对网络所提供的 QoS 要求也不同, 因此本文又提出一个针对 VBR 业务的综合服务等级参数:

$$IGoS = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} (U_{s\_i} + D_{s\_i})}{N_s} \cdot \delta_s + \frac{\sum_{i=1}^{N_d} (U_{d\_i} + D_{d\_i})}{N_d} \cdot \delta_d \quad (10)$$

其中  $U_{s\_i}$ ,  $D_{s\_i}$ ,  $U_{d\_i}$  和  $D_{d\_i}$  分别代表第  $i$  个视频流用户和数据用户升降级的次数,  $\delta_s$  和  $\delta_d$  分别代表体现视频流业务和数据业务重要性的权重系数, 且  $\delta_s + \delta_d = 1$ 。

IGoS 可反映出用户端所感受到的流畅平稳效果, IGoS 越高, VBR 用户在服务时间内接受服务等级间的切换就越频繁, 丢包率或延迟等性能受影响越严重, 整体 VBR 业务的 QoS 水平越低, 因此可作为衡量 CQoS 策略的性能参数。

## 5 仿真结果与分析

仿真基于以上所述 3 种业务的无线多媒体网络, 总带宽

$W$  为 5MHz,  $R_b$  为 9.6kbit/s, 为分析简便, 假定接入时的门限均为  $7\text{dB}^{[11]}$ , 由  $\frac{E_b}{N_0} = \frac{W/R_b}{N-1}$  (没有考虑扩频带宽中背景热

噪声)易得  $N = 104$ , 即该系统内有 104 个信道单位。这里只考虑了单小区的情况, 其他仿真参数见表 1。

表 1 仿真参数表

Tab.1 Simulation parameters

$\mu_v$	60 s	$R_s$	9.6 kbit/s ~ 8×9.6 kbit/s
$\mu_s$	60 s	$R_d$	48 kbit/s
$\mu_d$	2 s~30 s	$d$	100 ms
$R_v$	9.6 kbit/s	$T$	10 ms

为比较 CQoS 策略的性能, 这里考虑了一种采用传统可升级 QoS 动态带宽分配策略(Uniform QoS-Level Dynamic Bandwidth Allocation Strategy Supporting Wireless Multimedia Traffic, UQoS), 该策略对接入的用户提供统一的可升级 QoS 保障。由图 4, 图 5 所示, CQoS 相对 UQoS 在大大提高系统容量的同时, 还降低了每种业务的阻塞率。其中, 语音业务的优先级最高, 它的阻塞率也是降低幅度最大的, 流媒体业务次之, 数据业务改善最小。

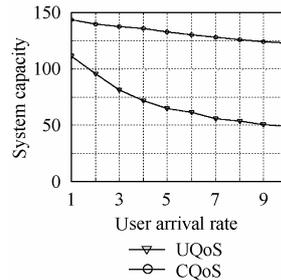


图 4 系统容量

( $N_v=100, N_s=30, N_d=20$ )

Fig.4 System capacity

( $N_v=100, N_s=30, N_d=20$ )

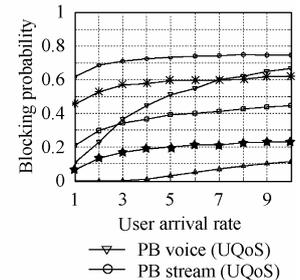


图 5 各业务阻塞率

( $N_v=100, N_s=30, N_d=20$ )

Fig.5 Blocking probability

( $N_v=100, N_s=30, N_d=20$ )

优先级最低的数据业务是受降级影响最大的一种业务。如图 6 所示, 当系统中数据业务占总业务比例不同的时候, 数据的延迟也是不同的, 所占比例越高, 接受降级服务的概率就越小, 延迟也越小。CQoS 在保证语音业务 QoS 时, 除了可以剥夺数据业务的带宽还可以剥夺视频流业务的带宽, 使得视频流用户的传输质量受到一定程度的影响, 如图 7 所示。当系统中视频流用户与语音用户的比例不同时, 视频流用户的实际传输比也随着发生变化, 相对较多的时候实际传输比和接受的 QoS 也比较高, 反之亦然。

从图 8 可以看出, 用户到达率小于 3 时,  $\delta_s \geq 0.5$  相对应的 IGoS 逐渐减小,  $\delta_s < 0.5$  相对应的 IGoS 逐渐增大, 这与数据用户优先级最低较流用户升降级频繁 CQoS 策略思想相吻合。用户到达率大于 3 时, 网络基本趋于饱和, 所以

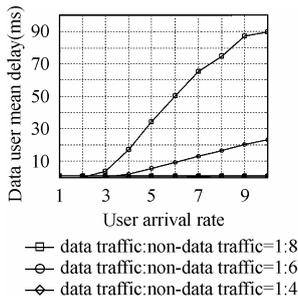


图 6 数据用户的延迟  
Fig.6 Data user's delay

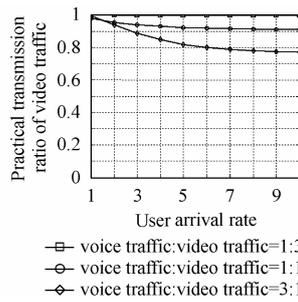


图 7 视频流用户的实际传输比  
Fig.7 Practical transmission ratio of video traffic

IGoS 也趋于稳定。不同权重下的 IGoS 值从 6 到 21 差距明显, 服务提供商可通过对该参数的观测来动态调整优先级的顺序, 如 IGoS 过大意味着流媒体用户的 QoS 剧烈变化或数据业务的延迟过大, 根据  $\delta_s$  和  $\delta_d$  的权重动态调整部分流媒体用户或部分数据用户的优先级顺序来缓解上述问题, 满足实际应用的需要。

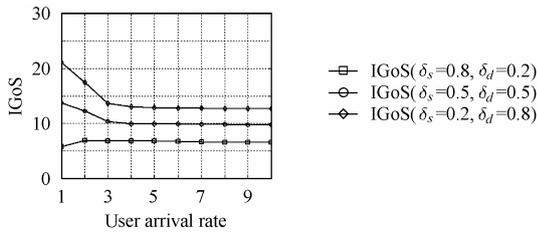


图 8 VBR 业务的 IGoS  
Fig.8 IGoS of VBR traffic

## 6 结束语

本文提出了一种基于无线多媒体业务的可升降级 QoS 动态带宽分配与优化策略。仿真结果表明, 在不增加硬件设施的情况下, CQoS 策略大大提高了网络容量, 并可为高优先级业务提供较好的 QoS 保障。本文还提出了两个新的 QoS 评价参数: 视频流用户的实际传输比和 VBR 业务 IGoS。前者反映出 CQoS 策略下视频流用户受到的损失是很有限的; 后者填补了 VBR 业务 QoS 评价的空白, 为服务提供商因地制宜地调整策略提供简单且可靠的依据。

## 参 考 文 献

[1] Chou Chunting, Shin K G. Analysis of adaptive bandwidth allocation in wireless networks with multilevel degradable quality of service. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2004, 3(1): 5-17.

[2] Huang Lei, Kumar S, Kuo C C Jay. Adaptive resource allocation for multimedia QoS management in wireless networks. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2004, 53(2): 547-558.

[3] Perez A F Cruz, Ortigoza-Guerrero L. Equal resource sharing allocation with QoS differentiation for conversational services in wireless communication networks. *IEE Proc.-Commun.*, 2003, 150(5): 391-398.

[4] Perez A F Cruz, Ortigoza-Guerrero L. Flexible resource allocation strategies for class-based QoS provisioning in mobile networks. *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, 2004, 53(3): 805-819.

[5] Liang Xu, Shen X, Mark J W. Fair resource allocation with statistical QoS support for multimedia traffic in a wideband CDMA cellular network. *WCNC 2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Atlanta, Georgia USA, 2004, 3: 1335-1340.

[6] 3GPP: Technical specification group services and system aspects. Quality of Service (QoS) concept and architecture, V5.8.0, 2003.3.

[7] Sen S, Jawanda J, Basu K, et al.. Quality of service degradation strategies in multimedia wireless network. *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.*, Ottawa, Ontario, Canada, 1998, 3: 1884-1888.

[8] Singh S. Quality of service guarantees in mobile computing. *Computer Comm.*, 1996, 19(4): 359-371.

[9] Sherif M R, Habib I W, Nagshineh M N, et al.. Adaptive allocation of resources and call admission control for wireless ATM using generic algorithm. *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, 2000, 18(2): 268-282.

[10] Kwon T, Choi Y, Bisdikian C, et al.. Call admission control for adaptive multimedia in wireless/mobile network. *Proceeding of ACM Workshop on Wireless Mobile Multimedia*, Dallas Texas USA, 1998: 111-116.

[11] So J W. Adaptive traffic prediction based access control in wireless CDMA systems supporting integrated Voice/Data/Video services. *IEEE Communications Letters*, 2004, 8(12): 703-705.

甄皓琮: 女, 1980 年生, 硕士生, 研究方向为下一代无线多媒体通信网络的资源管理。

方旭明: 男, 1962 年生, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为下一代无线通信网络、移动 Ad hoc 网络、无线 Mesh 网络、无线局域网等。

朱龙杰: 男, 1982 年生, 硕士生, 研究方向为下一代无线多媒体通信网络的资源管理。