

基于 QoS 升降级的无线异构网动态带宽分配策略研究^①

陈月云^② * ** 王 莉** 谈振辉*

(北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室 北京 100044)

(北京科技大学信息学院通信工程系 北京 100083)

摘 要 利用异构无线网络环境下实时多媒体业务传输带宽可变的特点,提出一种基于服务质量(QoS)升降级的动态带宽分配策略。该策略针对系统带宽资源不足的情况,给出基于信道容量对多媒体用户进行平缓 QoS 升降级的方法,使系统在用户可接受的降级程度内接入更多的呼叫,进一步,为得到满意的服务等级(GoS),设置一个限制新呼叫接入的带宽阈值,并基于 Markov 模型给出该阈值的计算方法。与固定划分降质水平的带宽分配策略比较的结果表明,上述带宽分配策略能有效降低新呼叫阻塞率(CBP)与切换呼叫中断率(HDP),同时能明显提高带宽资源利用率。

关键词 无线异构网, 移动模型, 带宽分配, QoS 升降级, 切换

0 引 言

未来移动通信的目标是实现多种无线接入技术与制式并存的异构网络的融合,保证终端在网络中无缝漫游^[1]。当正在进行通信的终端在网络间移动并发生切换时,若网络不能提供维持其通信所需带宽,则通信就会发生中断。有效的带宽分配策略能保证终端无缝移动并尽可能提高带宽资源利用率。

随着网络可支持业务种类的增多,一些实时多媒体应用(如视频电话等)能够根据其所需服务质量(QoS)与网络负载状况使用不同的编码机制,使其传输带宽可以在一定范围内变化^[2]。因此,在带宽资源被完全占用的情况下,可以通过在可接受范围内降低现有多媒体用户的带宽来接纳新呼叫与切换呼叫。这样可以减小切换呼叫中断率(handoff dropping probability, HDP)与新呼叫阻塞率(call blocking probability, CBP)的值。采用上述思想的带宽分配策略已有一些研究成果^[2-5]。文献[2]比较了两种 QoS 升降级带宽分配方法,即一次性剥夺全部相同 QoS 等级用户的带宽的方法和只降低单个用户的带宽的方法。前者会导致已接入用户 QoS 等级的频繁降低,而后者会使单个用户在短时间内 QoS 降低幅度较大,使用户能明显感觉到通信质量的下降。文献[3]

提出方法根据用户的接入带宽请求,按照业务优先级从低到高的顺序对已接入的用户进行 QoS 的逐级滚降,一定程度上克服了文献[2]中两种方法的缺陷。文献[4]将业务优先权作为系数,按照最小化所有用户的 QoS 降级深度加权平方和来选择进行 QoS 降级的用户,从业务优先级与降级深度两方面联合考虑,具有一定的 QoS 降级公平性,但是,用户所处环境与移动速度、方向等的不同导致信道衰落情况不同,使得用户间信道质量存在差异。因此,在进行 QoS 降级时,文献[3]和[4]提出的方法可能会剥夺信道衰落较严重的用户带宽,导致用户间通信质量的差距增大,影响降级的公平性。为了减少在网络负载较大时可变带宽业务降质速度过快的现象,文献[5]规定了轻微、中等、较高三种不同的降质水平。当降质水平达到中等时就拒绝新呼叫的接入,保证了切换呼叫的优先权。但是这三种水平的划分是固定的,当系统内新呼叫与切换呼叫的比例发生变化时,不能达到 CBP 与 HDP 均较小的要求。因此,需要考虑用户移动性的影响。实际上,因受无线信道传播特性的影响,接收信号不可避免地存在衰落现象,但上述这些带宽分配方法均没有考虑信道衰落的影响。由仙农定理知,在信号衰落程度较大的情况下降低其传输带宽会导致信道传输速率的进一步降低,严重影响用户的通信质量^[6]。虽然经过闭环

^① 北京市自然科学基金(4102041)资助项目。

^② 女,1966年生,博士生,副教授;研究方向:无线通信;联系人, E-mail: chenyy2@sina.com; chenyy@ustb.edu.cn
(收稿日期:2009-11-16)

功率控制可以补偿信号的传输损耗和阴影衰落,但是要克服多径衰落需要较大的采样频率,会大大增加系统开销^[7],同时由于存在时延,通过瞬时功率控制也难以克服多径衰落的影响,特别是在快衰落情况下。

本文以蜂窝小区和无线局域网(WLAN)构成的异构网为例,将 QoS 升降级带宽分配方法引入异构无线网络带宽资源分配中,提出了基于信道容量来选择进行 QoS 升降级用户的方法,在用户间进行 QoS 升降级选择时不仅考虑用户的带宽大小,而且考虑信道衰落的影响。在此基础上,为保证在网络负载较重时系统的 CBP 和 HDP 的性能,基于异构网络移动模型,建议设置一个基于动态新呼叫的带宽阈值,并提出一种异构无线网络环境下的动态带宽分配算法。另外,在垂直切换呼叫带宽分配中充分考虑了网络间存在带宽资源差异的问题,避免用户从带宽资源丰富的网络切换到带宽资源较少的网络中时感受到明显的服务质量下降。

1 系统模型

本文以 3G 蜂窝网与 WLAN 构成的异构网情形为例,如图 1 所示。不失一般性,图中的大六边形小区是蜂窝网络覆盖区,小六边形小区是 WLAN 与蜂窝小区共同覆盖的热点小区,用 C_1 表示,大六边形小区除去热点小区 C_1 之外的部分用 C_2 表示。为分析简便,假设整个系统是封闭的。

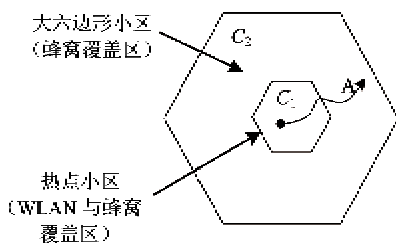


图 1 情景示意图

在图 1 所示的网络环境下考虑两种业务:带宽固定的话音业务与带宽可变的实时多媒体业务。假设话音与多媒体业务呼叫持续时间服从均值分别为 $1/\mu_1$ 和 $1/\mu_2$ 的负指数分布,且两种业务的呼叫等概率到达。设带宽分配的基本单元 ω 是能够满足话音业务传输的一个基本带宽。将实时多媒体业务分为 7 个不同的 QoS 等级,7 级为最高;每个等级所占用的带宽为 $\omega_i = (i + 1)\omega_0, (i = 1, \dots, 7)$, 则多媒

体业务的传输带宽范围为 $[2\omega_0, 8\omega_0]$, $2\omega_0$ 和 $8\omega_0$ 分别是最小和最大带宽需求。

假设新呼叫到达为泊松过程, WLAN 与蜂窝网中的新呼叫抵达率分别为 λ_1 和 λ_2 。由于 WLAN 能够提供较多的带宽资源且服务价格较低,所以令处于 C_1 中的用户发起的呼叫优先接入到 WLAN 中,仅当 WLAN 中没有可用带宽时才向蜂窝网发起接入请求;当其中的用户在呼叫进行中移出 C_1 时,必然向蜂窝网的 C_2 小区发生垂直切换(如曲线 A 所示)。由于处于 C_2 中用户只有一个网络可用,所以其发起的呼叫只能请求接入到蜂窝网中。当接入蜂窝网中的用户移入 C_1 时,异构小区垂直切换带来的延时、丢包等问题会使实时业务通信质量下降,特别是用户移动速度较快时可能还会引起频繁的垂直切换,所以,令这类呼叫仍然保持在蜂窝网中。

为了在图 1 的网络环境下建立用户移动模型,将用户分为车载用户与非车载用户。设 C_1 中车载用户所占比例为 θ , 则非车载用户所占比例为 $(1 - \theta)$ 。令他们在 C_1 中的驻留时间分别为 t_{v-WLAN} 和 t_{n-WLAN} , 且分别服从均值为 $1/\phi$ 和 $1/\eta$ 的负指数分布,其概率密度函数分别为

$$f_{t_{v-WLAN}}(t) = \phi e^{-\phi t} \quad (1)$$

$$f_{t_{n-WLAN}}(t) = \eta e^{-\eta t} \quad (2)$$

则任一用户在 C_1 中的驻留时间 t_{WLAN} 的概率密度函数为

$$\begin{aligned} f_{t_{WLAN}}(t) &= \theta \times f_{t_{v-WLAN}}(t) + (1 - \theta) \times f_{t_{n-WLAN}}(t) \\ &= \theta \times \phi e^{-\phi t} + (1 - \theta) \times \eta e^{-\eta t} \end{aligned} \quad (3)$$

当接入 WLAN 中用户的呼叫持续时间大于从该用户在小区中的剩余驻留时间时(如图 2 所示),呼叫就会发生垂直切换。

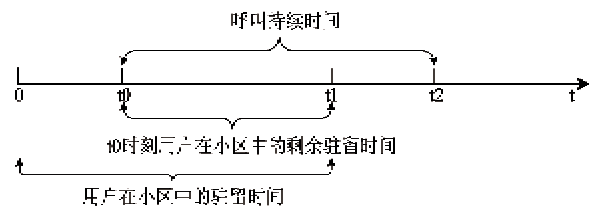


图 2 WLAN 中呼叫发生垂直切换的场景

因此, WLAN 中的话音与多媒体呼叫发生垂直切换的概率分别为

$$\begin{aligned} P_{v1} &= P(t_{v-call} > t_{r-WLAN}) \\ &= \int_0^{\infty} (1 - F_1(t)) f_{t_{WLAN}}(t) dt \end{aligned} \quad (4)$$

$$P_{v2} = P(t_{m-call} > t_{r-WLAN})$$

$$= \int_0^{\infty} (1 - F_2(t)) f_{i-WLAN}(t) dt \quad (5)$$

其中, t_{v-call} 和 t_{m-call} 、 $F_1(t)$ 和 $F_2(t)$ 分别表示话音与多媒体呼叫的持续时间及其概率分布函数, t_{r-WLAN} 表示用户在 C_1 中的剩余驻留时间。由于负指数分布具有无记忆性, 所以用户在 C_1 中剩余驻留时间与驻留时间具有相同的概率密度函数。将式(3)分别代入式(4)与(5)中, 可得

$$P_{v1} = \int_0^{\infty} e^{-\mu_1 t} [\theta \phi e^{-\phi t} + (1 - \theta) \eta e^{-\eta t}] dt$$

$$= \frac{\theta \phi}{\mu_1 + \phi} + \frac{(1 - \theta) \eta}{\mu_1 + \eta} \quad (6)$$

$$P_{v2} = \int_0^{\infty} e^{-\mu_2 t} [\theta \phi e^{-\phi t} + (1 - \theta) \eta e^{-\eta t}] dt$$

$$= \frac{\theta \phi}{\mu_2 + \phi} + \frac{(1 - \theta) \eta}{\mu_2 + \eta} \quad (7)$$

根据文献[8], 接入 WLAN 中的新呼叫向蜂窝网发生垂直切换的切换呼叫抵达率为

$$P = \lambda_{n-WLAN} (1 - P_{nb-WLAN}) P_{ncw} \quad (8)$$

式中 λ_{n-WLAN} 和 $P_{nb-WLAN}$ 分别是 WLAN 中的新呼叫抵达率和新呼叫阻塞率, P_{ncw} 是接入 WLAN 中的新呼叫发生垂直切换的概率。可得在上述呼叫接入策略下, 图 1 中蜂窝网的垂直切换呼叫抵达率为

$$\lambda_v = \lambda_{v1} + \lambda_{v2}$$

$$= 0.5 \lambda_1 (1 - P_{nb1-WLAN}) P_{v1}$$

$$+ 0.5 \lambda_1 (1 - P_{nb2-WLAN}) P_{v2} \quad (9)$$

上式中 λ_{v1} 和 λ_{v2} 、 $P_{nb1-WLAN}$ 和 $P_{nb2-WLAN}$ 分别表示蜂窝网中话音与多媒体呼叫的垂直切换呼叫抵达率和 WLAN 中话音与多媒体呼叫的阻塞率。在话音与多媒体呼叫以等概率到达时, 它们的呼叫抵达率均为 $0.5 \lambda_1$ 。

2 基于信道容量的 QoS 升降级算法

2.1 算法描述

如上分析, 文献[3]在信道借用中可能会出现剥夺信道衰落较严重的用户带宽的情况。为解决该问题, 本文提出了基于信道容量的 QoS 升降级(channel capacity based QoS upgrade/degradation, CCUpDn-QoS)算法。

- 当网络有足够的空闲带宽时, 呼叫以其所需的最大带宽接入系统。

- 当网络中空闲带宽资源不够满足呼叫的最小带宽需求时, 基站首先判定所有用户的信道容量。

假设基站能完美获得移动台的信道状态信息(channel state information, CSI), 并据此可以得到任一多媒体用户 i 的信道容量:

$$C_i = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N_0 B} \right) = B \log_2 \left(1 + \frac{h_i E_b}{N_0} \right) \quad (10)$$

式中 h_i 表示第 i 个用户的信道增益, S 和 N_0 分别表示接收功率和噪声功率谱密度, E_b 是每个符号的能量, B 是信道带宽。从多媒体用户中选择信道容量最大的用户进行 QoS 降级, 将其 QoS 等级降低一级, 并更新其信道容量。依次重复上述步骤, 直到满足呼叫接入的最小带宽需求为止。

- 若当前网络中的所有多媒体用户均以最小带宽进行通信, 则呼叫接入请求被阻塞。也就是说上述 QoS 等级的降低以保证现有用户的最小带宽需求为前提。

- 当有呼叫离开时, 需进行 QoS 升级, 即将空闲出的带宽分配给信道容量较小的用户, 以提高带宽资源的利用率。QoS 升级的过程与降级时是类似的, 按照信道容量最小的用户 QoS 升一级 → 更新信道容量值 → 重新选择信道容量最小的用户进行升级的过程进行。

上述关于新呼叫与切换呼叫的带宽分配策略在本文第 3 部分将详细阐述。由于非车载用户的移动速度较慢, 其信道衰落呈慢衰落特性, 因此本文使用其瞬时信道响应来计算其信道容量, 而车载用户的移动速度较快, 其信道为快衰落信道, 若依据瞬时信道响应来计算信道容量, 可能会使用户的 QoS 等级在短时间内上下跳变, 导致系统性能不稳定, 因此可以使用适当尺度的平均信道响应来计算其信道容量。

2.2 CCUpDn-QoS 算法性能分析

下面通过对本文提出的 CCUpDn-QoS 算法和文献[3]中的 QoS 升降级算法(记为 UpDn-QoS 算法)进行仿真比较来分析 CCUpDn-QoS 算法的性能。

假设在图 1 中用户的初始位置均匀分布, 信道为瑞利衰落。设 WLAN 与蜂窝网中的总带宽分别为 $300\omega_0$ 和 $60\omega_0$ 。令 $\omega_0 = 15\text{kHz}$, 其余参数设置如表 1 所示。

表 1 参数设置

λ_1	3call/s	$1/\mu_1$	3min
$1/\phi$	1min	$1/\mu_2$	5min
$1/\eta$	60min	E_b/N_0	4.5dB

以小区 C_1 中 WLAN 多媒体用户信道容量的变化为例对该两种算法性能进行比较。为了在公平条件下进行比较,仿真中令 WLAN 中接入的多媒体与语音呼叫数目、顺序均相同。其中前 34 个用户已占据了所有可用信道,再有用户请求接入时则需要通过 QoS 降级才能接入。经过相同的一段时间后,有呼叫 A、B、C 顺序接入,观察前 34 个用户的信道容量变化情况(在所观察时间内,观察对象中没有呼叫离开),分别如图 3 和图 4 所示,图中以呼叫 A 接入后所观察对象的信道容量作为初始比较依据。

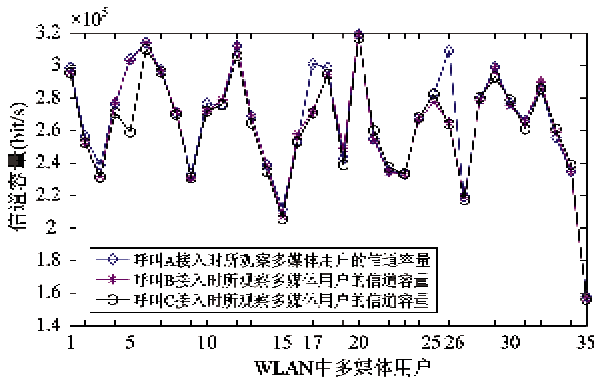


图 3 UpDn-QoS 算法下的用户信道容量

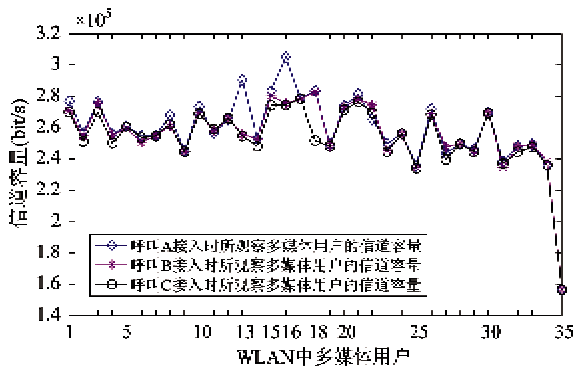


图 4 CCUpDn-QoS 算法下的用户信道容量

图 3 中,当呼叫 B 接入时,第 17 和第 26 个多媒体用户的信道容量明显降低,说明该多媒体呼叫 B 是以第 17 和第 26 个多媒体用户降低 QoS 等级为代价使其接入的。可以看到,这两个多媒体用户的信道容量在降级前均不是最大的,被随机选择带宽等级降低后,增大了他们与其他用户(如第 20 个多媒体用户)间通信容量的差异,明显影响了 QoS 降级的公平性。而图 4 中,由于 CCUpDn-QoS 算法在每次 QoS 降级时均选择信道容量最大的用户,所观察用户的信道容量曲线较平坦,为用户提供了相对更公平的通信容量,具有更好的公平性。

3 动态带宽分配策略

3.1 策略描述

设 WLAN 与蜂窝网中的总带宽分别为 B_1 个 ω_0 和 B_2 个 ω_0 , n_v, n_m 与 n_h, n_d 分别表示当前接入 WLAN 与蜂窝网中的语音、多媒体呼叫数。针对 WLAN 与蜂窝网构成异构网情形下各类呼叫带宽分配问题,本文给出如图 5 和图 6 所示的具体流程。图中 W_{b1} 与 W_{b2} 表示在保证多媒体用户最小带宽需求的条件下,当前 WLAN 与蜂窝网中可出让的带宽,公式如下:

$$W_{b1} = [B_1 - (n_v + 2n_m)]\omega_0$$

$$W_{b2} = [B_2 - (n_h + 2n_d)]\omega_0$$

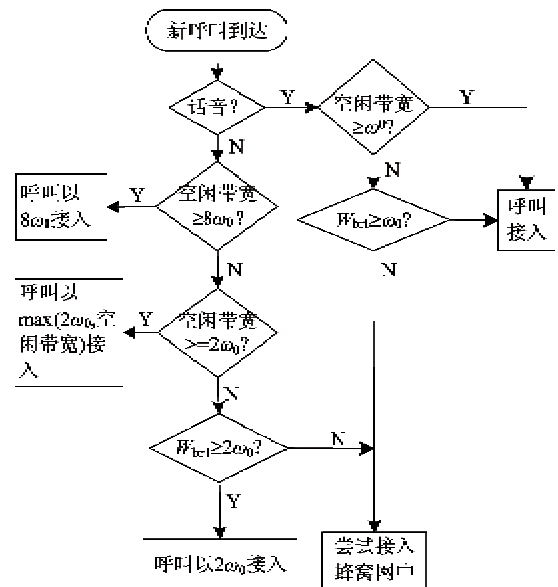


图 5 WLAN 中的呼叫带宽分配流程

对于从 WLAN 到蜂窝网的垂直切换呼叫,若蜂窝网中带宽资源不足,则将现有多媒体用户进行基于 CCUpDn-QoS 策略的降级。由于 WLAN 中的带宽资源比较丰富,若切换时多媒体呼叫以 $2\omega_0$ 带宽接入,则用户会因通信质量下降过于严重而不能接受。如果令多媒体呼叫以原带宽或只降低较小的带宽切换进蜂窝网中,虽然可以保证此呼叫的通信质量,但是要以其他用户降低较大的带宽为代价。因此,切换呼叫以用户可容忍的突降带宽的最大限度接入是比较合理的。这里我们设用户可容忍的最大限度为带宽突降 4 级。因此,当蜂窝网络中没有空闲带宽时,在不小于最小带宽的条件下,多媒体切换呼叫以原先的带宽降低 4 个 QoS 等级接入。

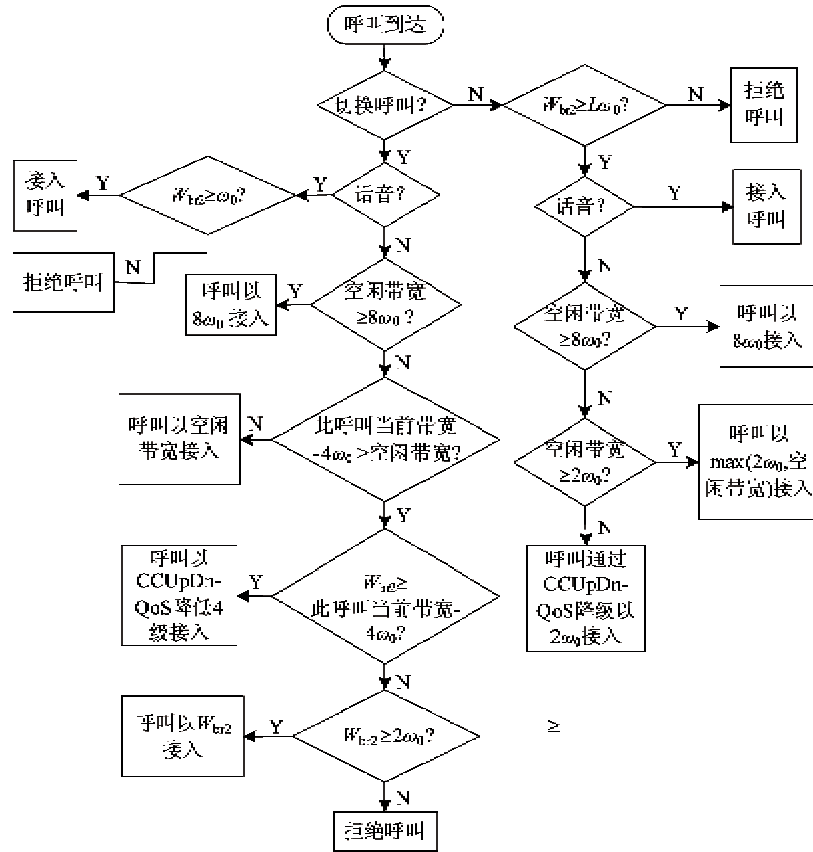


图 6 蜂窝网中的呼叫带宽分配流程

为了保证切换呼叫的优先权,设置一带宽阈值 L ,当满足

$$W_{br2} = [B_2 - (n_h + 2n_d)]\omega_0 \geq L\omega_0 \quad (11)$$

时,允许新呼叫与 WLAN 中的溢出呼叫(即被 WLAN 阻塞并请求接入到蜂窝网中的呼叫)接入,否则,不允许该类呼叫接入。

当网络对当前该类呼叫所需带宽资源不足,但是满足式(11)时,通过 CCUpDn-QoS 算法降低已接纳用户的 QoS,新呼叫与溢出呼叫以其所需最小带宽接入,相应的带宽降级过程如本文第 2 部分所述。对于切换呼叫,仅当网络中全部可出让带宽不能满足其最小带宽需求时,呼叫才会被阻塞。

3.2 模型

下面通过建立二维 Markov 模型对上面提出的带宽分配方法进行性能分析,如图 7 和图 8 所示。

图中的状态向量 (n_1, n_2) 表示接入 WLAN (图 7)或蜂窝网(图 8)中的语音呼叫数和多媒体呼叫数分别为 n_1 和 n_2 。令 (n_v, n_m) 和 (n_h, n_d) 分别表示图 7 和图 8 中的任一状态,那么图 7 与图 8 中的状态集合 S_1 和 S_1 分别为

$$S_1 = \{(n_v, n_m) | B_1 - (n_v + 2n_m) \geq 0\} \quad (12)$$

$$S_2 = \{(n_h, n_d) | B_2 - (n_h + 2n_d) \geq 0\} \quad (13)$$

WLAN 中呼叫离开的原因有两个:一是呼叫在 WLAN 中结束,二是呼叫发生垂直切换。因此,在 WLAN 处于状态 (n_v, n_m) 下的话音呼叫离去率为 $n_v\mu_1 + \lambda_{v1}$,多媒体呼叫离去率为 $n_m\mu_2 + \lambda_{v2}$ 。由稳态时状态 (n_v, n_m) 的离去率等于其到达率,可以得到 WLAN 中的状态平衡方程:

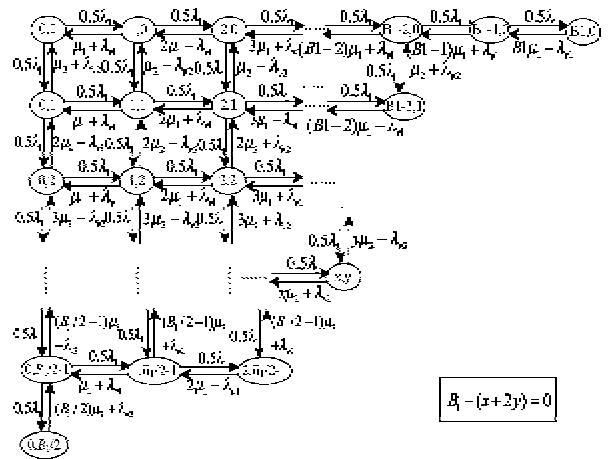


图 7 WLAN 中的二维 Markov 状态转换图

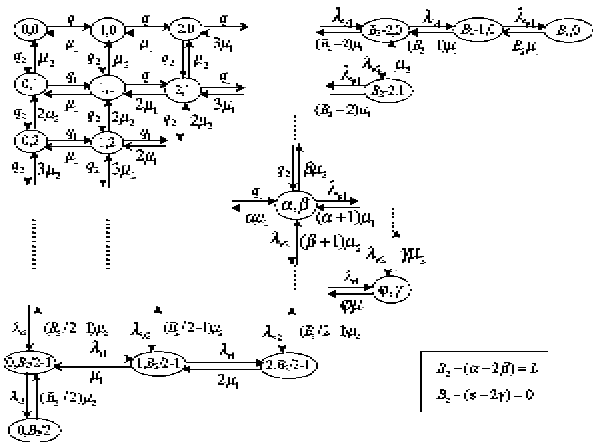


图 8 蜂窝网中的二维 Markov 状态转换图

$$\begin{aligned}
 & [(n_m \mu_2 + \lambda_{v2}) a(n_v, n_m - 1) + 0.5 \lambda_{v1} a(n_v + 1, n_m) \\
 & + 0.5 \lambda_{v1} a(n_v, n_m + 1) + (n_v \mu_1 + \lambda_{v1}) a(n_v - 1, n_m)] P(n_v, n_m) \\
 & = 0.5 \lambda_{v1} a(n_v, n_m - 1) P(n_v, n_m - 1) + 0.5 \lambda_{v1} a(n_v - 1, n_m) P(n_v - 1, n_m) \\
 & + [(n_v + 1) \mu_1 + \lambda_{v1}] a(n_v + 1, n_m) P(n_v + 1, n_m) \\
 & + [(n_m + 1) \mu_2 + \lambda_{v2}] a(n_v, n_m + 1) P(n_v, n_m + 1)
 \end{aligned} \quad (14)$$

其中 $(n_v, n_m) \in S_1$, $a(i, j) = \begin{cases} 1, (i, j) \in S_1 \\ 0, (i, j) \notin S_1 \end{cases}$, $P(n_v, n_m)$ 表示 WLAN 处于稳态 (n_v, n_m) 的概率^[9]。在概率归一性条件 $\sum_{(n_v, n_m) \in S_1} P(n_v, n_m) = 1$ 下, 解平衡方程可得稳态概率 $P(n_v, n_m)$ 。根据 $P(n_v, n_m)$ 和本文提出的带宽分配策略可得 WLAN 中话音与多媒体呼叫的阻塞率分别为

$$P_{nb1-WLAN} = \sum_{(n_v, n_m) \in S_1 \cap (B_1 - (n_v + 2n_m) = 0)} P(n_v, n_m) \quad (15)$$

$$P_{nb2-WLAN} = \sum_{(n_v, n_m) \in S_1 \cap (B_1 - (n_v + 2n_m) < 2)} P(n_v, n_m) \quad (16)$$

用 λ_{Π} 和 λ_{Σ} 分别表示 WLAN 中溢出话音与多媒体呼叫至蜂窝小区的抵达率, 根据前述分析可知, $\lambda_{\Pi} = 0.5 \lambda_{v1} P_{nb1-WLAN}$, $\lambda_{\Sigma} = 0.5 \lambda_{v1} P_{nb2-WLAN}$ 。由于蜂窝网中包含新呼叫、溢出呼叫和垂直切换呼叫这三种类型的呼叫, 因此蜂窝网中话音与多媒体呼叫的抵达率分别为

$$q_1 = 0.5 \lambda_2 + \lambda_{v1} + \lambda_{\Pi}$$

$$q_2 = 0.5 \lambda_2 + \lambda_{v2} + \lambda_{\Sigma}$$

因蜂窝网中呼叫信道占用时间只与其持续时间有关, 所以图 8 中话音与多媒体呼叫的离去率分别为 μ_1 和 μ_2 。根据平衡状态下呼叫的到达率与离去率相等的原则, 类似地可以得到蜂窝网中的状态平

衡方程为

$$\begin{aligned}
 & (n_d \mu_2 b(n_h, n_d - 1) + [(q_1 - \lambda_{v1}) g(n_h, n_d) + \lambda_{v1}] b(n_h + 1, n_d) \\
 & + [(q_2 - \lambda_{v2}) g(n_h, n_d) + \lambda_{v2}] b(n_h, n_d + 1) \\
 & + n_h \mu_1 b(n_h - 1, n_d)] P(n_h, n_d) \\
 & = [(q_2 - \lambda_{v2}) g(n_h, n_d - 1) + \lambda_{v2}] b(n_h, n_d - 1) P(n_h, n_d - 1) \\
 & + (n_h + 1) \mu_1 b(n_h + 1, n_d) P(n_h + 1, n_d) \\
 & + (n_d + 1) \mu_2 b(n_h, n_d + 1) P(n_h, n_d + 1) \\
 & + [(q_1 - \lambda_{v1}) g(n_h - 1, n_d) + \lambda_{v1}] b(n_h - 1, n_d) P(n_h - 1, n_d)
 \end{aligned} \quad (17)$$

其中 $(n_h, n_d) \in S_2$, 且 $b(i, j) = \begin{cases} 1, (i, j) \in S_2 \\ 0, (i, j) \notin S_2 \end{cases}$,

$$g(i, j) = \begin{cases} 1, B_2 - (i + 2j) > L \\ 0, B_2 - (i + 2j) \leq L \end{cases}, (i, j) \in S_2,$$

$P(n_h, n_d)$ 表示蜂窝小区处于稳态 (n_h, n_d) 的概率。蜂窝网中的新呼叫阻塞率 (CBP) 与垂直切换呼叫阻塞率 (HDP) 分别为

$$P_{nb-cellular} = \sum_{(n_h, n_d) \in S_2 \cap (B_2 - (n_h + 2n_d) \leq L)} P(n_h, n_d) \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
 P_{vd-cellular} &= \frac{\lambda_{v1}}{\lambda_{v1} + \lambda_{v2}} \sum_{(n_h, n_d) \in S_2 \cap (B_2 - (n_h + 2n_d) = 0)} P(n_h, n_d) \\
 &+ \frac{\lambda_{v2}}{\lambda_{v1} + \lambda_{v2}} \sum_{(n_h, n_d) \in S_2 \cap (B_2 - (n_h + 2n_d) < 2)} P(n_h, n_d)
 \end{aligned} \quad (19)$$

3.3 阈值 L 的确定

在蜂窝小区中, L 值需设置一适当值。若 L 设置太小, 会使 HDP 过大; 若 L 设置太大, 会导致 CBP 增加, 而且当切换呼叫数较少时会明显降低带宽利用率。因此, L 值的设置与垂直切换呼叫抵达率有关。下面来探讨二者之间的关系。

为正确设置 L 值, 使蜂窝网内 CBP 与 HDP 达到最优折中, 用服务等级 (grade of service, GoS) 变量来表征系统的性能^[10]。由于系统一般要求 HDP 比 CBP 低一个数量级, GoS 可以表示为

$$GoS = 10 \times P_{vd-cellular} + P_{nb-cellular} \quad (20)$$

设车载用户的比例为 0.3, C_1 内的用户占有所有用户数的 60%, 其余参数的设置与第 2 部分相同。利用上一小节结果, 不同阈值 L 对蜂窝网中 HDP、CBP 和 GoS 的影响如图 9 所示。从图中可以看出, 当 L 在 3~7 中取值时, 随着 L 的增大, HDP 进一步降低, 虽然这时 CBP 逐渐增大, 但是 GoS 在逐渐减小。我们注意到当 L 取 7 时的 GoS 值要大于 L 取 6 时的值。这说明虽然 L 取 7 时能得到理想的 HDP,

但是 CBP 却较大,导致 GoS 增加。因此,在上述条件下 L 取 6 能够使系统性能最优。

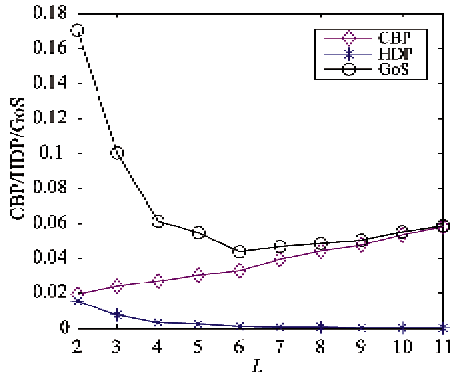


图9 不同阈值 L 下的 CBP、HDP 和 GoS

按照上述方法,当车载用户比例在 0.1~0.9 之间变化时(以 0.1 为步长),得到垂直切换呼叫抵达率与最优 L 值的关系曲线,如图 10 所示。从图中可以看出,垂直切换呼叫抵达率与 L 的最优取值之间近似呈线性关系。我们用最小二乘法得到其拟合直线 $y = 4.113x + 2.3983$, 则 L 取值为

$$L = [4.113\lambda_p + 2.3983] \quad (21)$$

其中 $[\cdot]$ 表示对括号内的数四舍五入取整。

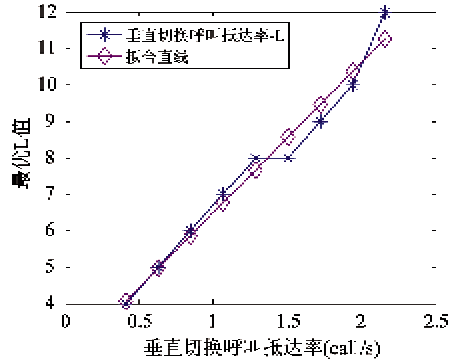


图10 垂直切换呼叫抵达率与最优 L 值的关系

4 性能评价与比较

为评价本文提出的基于 CCUpDn-QoS 的动态带宽分配方法,我们将其与文献[5]中固定划分降质水平的带宽分配方法进行比较(分别记为策略 A 和策略 B)。

设 WLAN 中的呼叫抵达率为 5call/s,其余参数与上一节相同,蜂窝网中 CBP、HDP 和 GoS 随 C_1 中车载用户比例变化的情况如图 11 至图 13 所示。策略 B 在进行 QoS 降级时采用全部用户同时降级的方式,将现有用户降低的带宽级别用 k 表示,设定当 $0 < k \leq 1$ 时系统处于轻微降质水平; $1 < k \leq 5$ 时

处于中等降质水平,这时拒绝新呼叫接入; $k = 6$ 时处于较高降质水平,这时新呼叫与切换呼叫请求均被拒绝。

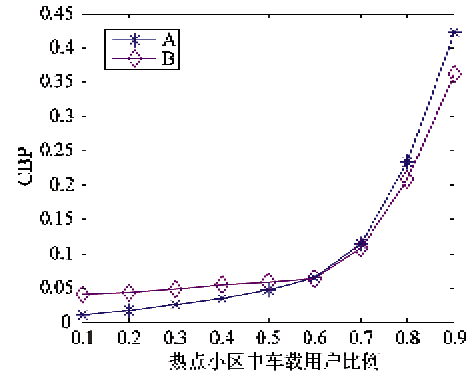


图11 两种策略 CBP 的比较

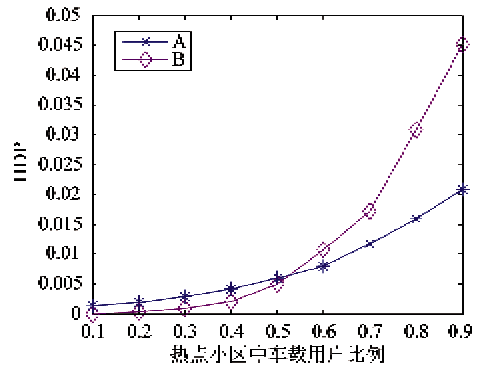


图12 两种策略 HDP 的比较

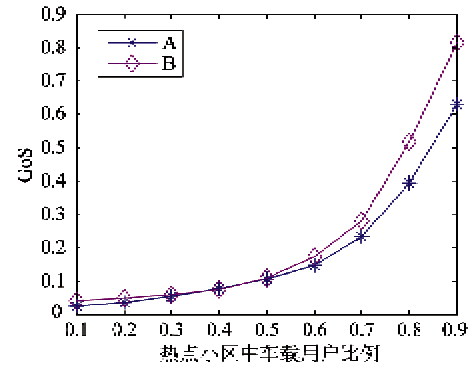


图13 两种策略 GoS 的比较

从图 13 中可以看出,策略 A 的 GoS 值低于策略 B。这是因为当 C_1 中车载用户的比例较小时,发生垂直切换的呼叫数较小,此时策略 A 自适应地为新呼叫增加分配的带宽,使 CBP 值较小;而方法 B 由于不能调整带宽的分配,导致 CBP 较大(如图 11 所示)。同理,当 C_1 中车载用户比例增大时,策略 A 在避免 CBP 过大的同时自适应地增加了为切换呼叫而分配的带宽,使 CBP 与 HDP 的值均较小;而策略 B 未能给切换呼叫留出充足的带宽,导致 HDP 迅速增加(如图 12 所示)。

图 14 给出采用 A、B 两种策略时蜂窝网中带宽利用率的比较。在策略 B 中所有用户同时降级,结果让出了过多的带宽,使系统剩余带宽增加,总带宽利用率下降。策略 A 根据用户的信道容量,逐个用户逐级降低 QoS 等级,使带宽资源得到充分利用。

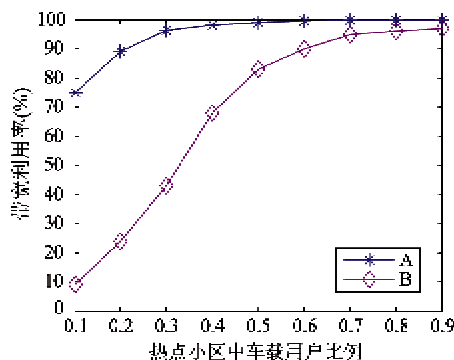


图 14 两种策略带宽利用率的比较

5 结论

本文提出一种在蜂窝小区与 WLAN 热点小区构成的异构无线网络环境下基于信道容量的 QoS 升降级的动态带宽分配策略。分析与仿真结果表明,根据用户的移动性信息、呼叫抵达率和网络负载状况对新呼叫和切换呼叫的分配带宽进行动态调整,在保证切换呼叫优先权的前提下,可以在 CBP 与 HDP 之间得到较好的折中,同时明显提高了带宽资源的利用率。在策略中根据信道容量选择进行 QoS 降级的多媒体用户,同时考虑了用户带宽大小和信道衰落的影响,使用户间具有更好的通信公平性。此外,考虑到不同网络间带宽资源的差异,在呼叫发

生垂直切换时按照其最大可容忍的带宽突降值进行带宽的分配,避免了用户明显感觉到通信质量的下降,提供了更加平稳的 QoS。

参考文献

- [1] Liu M, Li Z C, Guo X B, et al. Performance analysis and optimization of handoff algorithms in heterogeneous wireless network. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2008, 7 (7): 846-847
- [2] Chou C T, Kang G S. Analysis of adaptive bandwidth allocation in wireless networks with multilevel degradable quality of service. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2004, 3 (1): 5-17
- [3] 郭皓琮,方旭明,朱龙杰.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. *电子与信息学报*, 2006, 28(10): 1912-1916
- [4] Xiao W X, Zhang X. Fairness of QoS degradation in multimedia wireless networks. In: *Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, Shanghai, China, 2007. 2029-2032
- [5] 吴越,李建华,毕光国.无线多媒体网络中应用降质策略的呼叫准入控制研究. *应用科学学报*, 2006, 24(6): 656-660
- [6] Mischa S. *Mobile Wireless Communications*. London: Cambridge University Press, 2005. 16-58
- [7] Chocklingam A, Laurence B M. Closed-loop power control performance in a Cellular CDMA system. In: *Proceedings of the 29th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, California, USA, 1995. 362-366
- [8] Hasib A, Papoujwo A O. Mobility model for heterogeneous wireless networks and its application in common radio resource management. *IET Communications*, 2008, 2(9): 1186-1195
- [9] 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. *通信学报*, 2004, 25(6): 147-156
- [10] 龚文斌,甘仲民.无线移动通信系统中的呼叫接入控制. *通信学报*, 2003, 24(8): 135-144

Study of a dynamic bandwidth assignment strategy based on QoS upgrade/degradation for heterogeneous wireless networks

Chen Yueyun^{* **}, Wang Li^{**}, Tan Zhenhui^{*}

(^{*} State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

(^{**} Communication Engineering Department, Information School, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083)

Abstract

Considering the feature that the bandwidth for real-time multimedia traffics in heterogeneous wireless networks is alterable, the paper proposes a dynamic bandwidth assignment strategy based on upgrading or downgrading the level of quality of service (QoS). When a network system has no sufficient bandwidth resources, the strategy gives a method for smoothly upgrading or downgrading the QoS level of multimedia users based on the channel capacity to set free some bandwidth from the users for more new calls and handoff calls while the users' traffics are still at an acceptable level. Farther, a bandwidth threshold to limit new calls for a satisfied grade of service (GoS) is defined, and the algorithm for the threshold is introduced based on the Markov model. By comparison with the fixed QoS degradation strategy, this strategy can lower the call blocking probability (CBP) and the handoff dropping probability (HDP) effectively, and can improve the bandwidth utility markedly.

Key words: heterogeneous wireless networks, mobility model, bandwidth assignment, QoS upgrade/degradation, handoff