

一种新型的异构无线网络呼叫接纳控制算法研究^{*}

余雪勇, 朱洪波

(南京邮电大学 江苏省无线通信重点实验室, 南京 210003)

摘要: 在 CDMA2000 蜂窝网络和 WLAN 组成的异构无线网络中, 呼叫接纳控制算法对于提高系统资源的利用率有着非常重要的作用。根据 WLAN 的网络负载情况和移动用户的速度来判决是否接入 WLAN; 提出一种基于概率机制的 CAC 算法, WLAN 能够限制来自于蜂窝网的 VHO 呼叫, 减少不必要的 VHO 处理负荷; 对新呼叫阻塞率和 DVHO 呼叫阻塞率进行理论分析和推导。仿真结果表明, 该 CAC 算法能够减少不必要的重复上下垂直切换, 同时将 DVHO 呼叫阻塞率控制在可接受的范围内。算法保证了较高的系统吞吐量, 提高了系统整体性能。

关键词: 异构无线网络; 呼叫接纳控制; 向下垂直切换; 向上垂直切换

中图分类号: TN925.93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)06-2321-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.06.085

Novel call admission control algorithm for heterogenous wireless networks

YU Xue-yong, ZHU Hong-bo

(Jiangsu Key Laboratory of Wireless Communications, Nanjing University of Post & Telecommunication, Nanjing 210003, China)

Abstract: CAC between heterogeneous wireless networks, such as an integrated CDMA2000 cellular network and a WLAN, play an important role to utilize the system resources in a more efficient way. This paper proposed that the preference to the WLAN was determined based on the traffic load in the WLAN and the velocity of the cellular mobile users. Therefore, it proposed a probabilistic CAC algorithm that allowed the WLAN to limit VHOs from the cellular network to reduce unnecessary VHO processing. It derived the expressions of new call blocking rate and DVHO blocking rate. Simulation results demonstrate that our CAC scheme reduces the unnecessary VHO processing while keeping the DVHO blocking rate within acceptable limits, maintaining reasonable throughput and improves the overall performance of the system.

Key words: heterogeneous wireless networks; call admission control (CAC); downward vertical handover (DVHO); upward vertical handover (UVHO)

在下一代无线网络中, 采用不同技术的接入网络连接在全 IP 核心网已经成为无线通信技术的发展趋势。由于单一的通信网络不能同时满足低延时、高带宽、广数据服务范围的服务给大量的移动用户, 因此需要采用多层覆盖的全 IP 异构网络^[1]。例如, 无线局域网 (WLAN) 具有宽带、高速和易敷设等特点, 适合应用在人员流动性大的公共场所, 如机场、车站、饭店等。但是由于 WLAN 覆盖范围有限, 移动用户一方面在 WLAN 无法服务的地方需要接入覆盖范围广的蜂窝网络, 另一方面, 移动用户出于改善 QoS 和降低通信成本的考虑, 或者网络运营商需要平衡多个网络的资源利用率, 用户需要从蜂窝网络接入 WLAN 网络。本文称从蜂窝网络切换至 WLAN 网络为向下垂直切换 (DVHO), 从 WLAN 网络切换至蜂窝网络为向上垂直切换 (UVHO)^[2]。

绝大部分位于蜂窝网单覆盖区域的用户发起呼叫接入蜂窝网, 当其中某些用户移入双重覆盖区域 (同时被蜂窝网和 WLAN 网络覆盖) 内, 这些用户需要进行 DVHO 操作, 以接入 WLAN。另外, 一部分用户在双重覆盖区域里发起呼叫, 一般倾向于直接接入 WLAN。如果移动速度较快的用户在接入 WLAN 后立即又执行 UVHO 操作离开热点区域, 这将造成不必要的 VHO 处理负荷, 浪费系统资源, 而且会导致其他的

WLAN 热点内新呼叫连接被阻塞。因为如前所述, 绝大部分 WLAN 网络的覆盖区域都在室内, 室内的用户相对静止, 更倾向于接入 WLAN 网络。本文首先研究在无方向性移动模型中, 对执行 DVHO 和 UVHO 呼叫的条件概率进行分析并推导; 提出一种呼叫接纳控制 (CAC) 算法, 通过设计合适的概率机制, 能够拒绝那些大概率执行 UVHO 操作 DVHO 呼叫的切换请求, 避免乒乓效应; 同时该算法需要保证较高的系统吞吐量, 即在 WLAN 中的在线用户数高于一个门限值, WLAN AP 才开始执行算法。本文对新呼叫阻塞率和 DVHO 呼叫阻塞率进行理论分析和推导, 并给出了仿真结果。在本文提出的 CAC 算法机制中, 移动用户在被 CAC 算法拒绝切换请求后, 将留在蜂窝网, 继续保持呼叫连接。

1 相关工作

接纳控制作为异构网络系统资源管理的重要部分, 直接影响着整个网络资源使用的有效性和用户的 QoS 要求。为充分利用蜂窝网络和 WLAN 等异构网络的互补特性, 研究人员开始在考虑整个异构网络条件的基础上设计综合、有效的接纳控制机制。文献[3]提出了一种基于信干噪比 (SINR) 和层次分

收稿日期: 2011-09-20; **修回日期:** 2011-11-08 **基金项目:** 国家科技重大专项基金资助项目 (2011ZX03005-004-03); 江苏“973”项目 (BK2011027); 江苏省 2011 年普通高校研究生科研创新计划项目 (CX11_0401); 南京邮电大学青蓝计划项目 (NY210033)

作者简介: 余雪勇 (1979-), 男, 江西南昌人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为泛在无线通信中的资源管理技术 (yuxy@njupt.edu.cn); 朱洪波 (1956-), 男, 江苏扬州人, 教授, 博导, 博士, 主要研究方向为泛在无线通信与物联网技术、宽带无线通信、无线通信与电磁兼容。

析法(AHP)的SAW垂直切换算法(SASAW),考虑了不同接入网络的SINR的影响,并利用层次分析法中的特征向量法来决定各个属性(带宽、用户通信代价)之间的权重关系,提高了吞吐量并降低了阻塞率,但通信代价较高,容易引起不必要的垂直切换。文献[4]针对未来异构无线环境下基于移动终端的切换问题,设计了对网络QoS判断的代价函数和一种网络参数归一化的方法,给出了预测函数的初始化、更新以及垂直切换的基本流程,从而避免了乒乓效应,减少垂直切换次数。文中对网络QoS的定义比较模糊,并且没有阐述预测所带来的误差对算法准确性和效果的影响。文献[5]针对3GPP LTE/WLAN环境下,提出了一种基于环状分布的蜂窝模型,因为处在蜂窝内部不同环形区域的用户对网络资源的需求量是不同的,远离基站的用户需要被分配更多的资源(如功率、带宽和时隙等),这是与传统的码分多址网络所不同的地方。这种模型提高了分析垂直切换和移动机制下系统性能的准确性。文献[6]提出了一种通用无线资源管理机制,将位置预测信息和业务类型、移动模型结合起来,减少通信延时和丢包率,提高了业务服务质量,但算法复杂度明显偏高。

2 DVHO 和 UVHO 呼叫的概率分析

在本章中,首先计算CAC算法需要用到的三个垂直切换呼叫概率。为了便于分析,CDMA2000蜂窝网和WLAN网组成的异构无线网络的拓扑结构如图1所示。本文定义 P_1 为用户在热点外发起呼叫,并在热点内结束呼叫的概率; P_2 为用户执行DVHO操作进入热点,然后又执行UVHO离开热点,结束其呼叫的概率; P_3 为用户在热点内发起呼叫,然后执行UVHO操作移出热点,结束其呼叫的概率。因此可得用户执行DVHO的概率 $P_d = P_1 + P_2$;以及用户在呼叫期间执行DVHO的用户,再执行UVHO离开热点的概率 $P_u = P_2/P_d$ 。

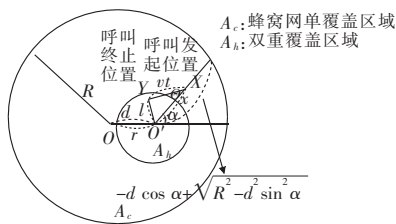


图1 系统模型

2.1 仅执行DVHO操作的呼叫概率

最先要推导出的是概率 P_1 的表达式,即移动用户处在一个包含WLAN热点的3G蜂窝网络覆盖区域发起呼叫,之后进入该WLAN热点区域,并在离开热点之前结束该呼叫的概率。

为了方便研究DVHO概率,假设单个蜂窝网络中只包含一个热点。在图1中, r 和 R 分别为热点和蜂窝网络覆盖区域的半径;蜂窝网络的基站和WLAN网络接入点(AP)的位置分别位于 O 和 O' ; A_c 和 A_h 分别为蜂窝网络和热点覆盖区域中的点的集合; d 为蜂窝网络基站和热点AP的距离; X 和 Y 分别为呼叫发起点和呼叫终止点。为了便于分析,作如下假设:

a) 呼叫发起点 X 均匀分布在以 O 为圆心的大圆里(不包含以 O' 为圆心的小圆里),其位置相对于圆心 O' 的极坐标为 (x, α) ,其中 $x = \overline{O'X}$ 。呼叫终止点 Y 与WLAN接入点的距离为 $l = \overline{O'Y}$ 。

b) 呼叫保持时间 T 服从均值为 μ 的指数分布,其概率密

度函数为 $f_T(t) = \mu e^{-\mu t}, t \geq 0$ 。

c) 移动用户以速度 v 沿着角度 $\theta = \angle YXO'$ 方向移动(θ 可假设在 $0 \sim 2\pi$ 中均匀分布),并且移动过程中移动用户的速度和方向不发生改变。上述移动模型为文献[8]中提出的无方向性移动。

在无方向性移动模型中,移动用户的呼叫发起点 X 的距离 x 和相位 α ,联合概率密度函数 $f_{x,\alpha}(x, \alpha) = \frac{1}{\pi(R^2 - r^2)}$,其中 $(x, \alpha) \in (A_c - A_h)$ 。移动用户的移动方向 θ 和呼叫保持时间 T ,联合概率密度函数 $f_{\theta,T}(\theta, t) = \frac{\mu e^{-\mu t}}{2\pi}$,其中 $0 \leq \theta < 2\pi, t \geq 0$ 。假设呼叫起始点 X 位于 $(A_c - A_h)$,即 $\overline{OX} \leq R$ 且 $\overline{O'X} \geq r$,由此可得 $r \leq x \leq -d \cos \alpha + \sqrt{R^2 - d^2 \sin^2 \alpha}$ 。

若移动用户的呼叫终止点 Y 位于热点的覆盖区域,可得条件概率为 $Pr\{\overline{O'Y} \leq r | (x, \alpha)\}$,其与相位 α 是独立的(由于 α 均匀分布在 $[0, 2\pi)$)^[5]。进一步地,

$$P_1 = Pr\{\overline{O'Y} \leq r\} = \int_0^{2\pi} \int_r^{-d \cos \alpha + \sqrt{R^2 - d^2 \sin^2 \alpha}} Pr\{\overline{O'Y} \leq r | (x, \alpha)\} f_{x,\alpha}(x, \alpha) x dx d\alpha = \frac{1}{\pi(R^2 - r^2)} \int_0^{2\pi} \int_r^{-d \cos \alpha + \sqrt{R^2 - d^2 \sin^2 \alpha}} Pr\{\overline{O'Y} \leq r | (x, \alpha)\} x dx d\alpha \quad (1)$$

根据图1所示,由 $\overline{O'Y} \leq r$ 可得 $l^2 = (vt)^2 - 2x(vt) \cos \theta + x^2 \leq r^2$,即该不等式的实解,其中 $r^2 - x^2 \sin^2 \theta \geq 0$ 。换句话说,如果 $-\theta_0 \leq \theta \leq \theta_0$,则意味着移动用户在时间间隔 $t_1 \leq t \leq t_2$ 一直留在WLAN热点区域中,其中 $t_1 = (x \cos \theta - \sqrt{r^2 - x^2 \sin^2 \theta})/v, t_2 = (x \cos \theta + \sqrt{r^2 - x^2 \sin^2 \theta})/v, \theta_0 = \sin^{-1}(r/x)$ 。因此,条件概率 $Pr\{\overline{O'Y} \leq r | (x, \alpha)\}$ 用如下表达式替换:

$$Pr\{\overline{O'Y} \leq r | (x, \alpha)\} = \int_{-\theta_0}^{\theta_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{\mu e^{-\mu t}}{2\pi} dt d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^{\theta_0} e^{-\mu x \cos \theta / v} (e^{\mu \sqrt{r^2 - x^2 \sin^2 \theta} / v} - e^{-\mu \sqrt{r^2 - x^2 \sin^2 \theta} / v}) d\theta \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)中,可得

$$P_1 = \frac{1}{2\pi^2(R^2 - r^2)} \int_0^{2\pi} \int_r^{\delta(\alpha)} \int_{-\theta_0}^{\theta_0} x (e^{-\mu t_2} - e^{-\mu t_1}) d\theta dx d\alpha \quad (3)$$

其中: $\delta(\alpha) = -d \cos \alpha + \sqrt{R^2 - d^2 \sin^2 \alpha}$ 。

2.2 执行DVHO和UVHO操作的呼叫概率

设一个呼叫终端成功进行DVHO操作后,在其通话终止前又执行UVHO操作的概率为 P_2 ,则从图1中,一次UVHO的发生意味着 $\overline{O'Y} > r$,或者 $l^2 = (vt)^2 - 2x(vt) \cos \theta + x^2 > r^2$ 。

令 $t_3 = D \cos \theta' + \sqrt{R^2 - D^2 \sin^2 \theta'}/v$,其中 $D = \sqrt{x^2 + d^2 + 2xd \cos \alpha}, \beta = \angle OXO', \theta' = \theta - \beta$ 。因此,利用类似于 P_1 的求法, P_2 的表达式可以求得如下:

$$P_2 = \frac{1}{2\pi^2(R^2 - r^2)} \int_0^{2\pi} \int_r^{\delta(\alpha)} \int_{-\theta_0}^{\theta_0} x (e^{-\mu t_2} - e^{-\mu t_3}) d\theta dx d\alpha \quad (4)$$

2.3 UVHO的呼叫概率

一个移动用户在WLAN热点内发起呼叫,并在通话终止前执行UVHO操作移出热点,该呼叫的概率设为 P_3 。根据前文呼叫概率的分析, P_3 的表达式可以方便地得出:

$$P_3 = \frac{1}{2\pi^2 r^2} \int_0^{2\pi} \int_r^{\delta(\alpha)} \int_{-\theta_0}^{\theta_0} x (e^{-\mu t_2} - e^{-\mu t_3}) d\theta dx d\alpha \quad (5)$$

3 异构无线网络呼叫接纳控制算法研究

本章将利用上一章推导的 P_d, P_u, P_1, P_2 和 P_3 来设计CAC

算法。首先,假设 CDMA2000 蜂窝网覆盖区域中呼叫的生成密度是均匀的,换句话说,蜂窝网中的新用户平均呼叫到达率为 λ (calls/s/m²)。由此, WLAN 热点区域内的新用户呼叫到达率可以计算得到 $\lambda_h = A_h \lambda$ (calls/s), 其中蜂窝网和 WLAN 热点的双重覆盖区域为 $A_h = \pi r^2$ (m²)。类似地,蜂窝网中单覆盖区域内的新呼叫到达率也可计算如下: $\lambda_c = (A_c - A_h) \lambda$ (calls/s), 其中单覆盖区域为 $A_c = \pi R^2$ (m²)。根据泊松过程的性质,由 WLAN 热点区域外切换至热点区域内的 DVHO 呼叫服从速度为 $P_d \lambda_c$ 的泊松到达过程;由 WLAN 热点内切换到热点外的 UVHO 呼叫服从速度为 P_s 的泊松到达过程。平均呼叫保持时间服从均值为 $1/\mu$ 的指数分布^[2,9]。

本文设计的 CAC 算法是基于概率的。为了便于比较算法的有效性, DVHO 呼叫的连接请求被 WLAN AP 拒绝的概率 Pr 先被设为一个具有随机性的值。接下来,热点内的有效呼叫可以由 $(1 - P_s) \lambda_h + (1 - Pr) P_d \lambda_c$ 求得,以及热点的平均负载可求得为 $\rho = [(1 - P_s) \lambda_h + (1 - Pr) P_d \lambda_c] / \mu$ 。

设 N 为热点所能容纳的最大呼叫数。文献[9]中, S 参数的表达式为呼叫数 n 的函数 ($S = E[\text{数据包的帧长度}] / [T_s - T_c + (\sigma(1 - p_t)/p_t + T_c)/P_s]$, 其中 T_s 为平均有效传输时间, T_c 为平均冲突时间, p_t 为最低传输概率, P_s 为有效传输的概率, σ 为空闲时隙长)。因此, N 可视为能将 S 最大化的 n 值。

热点的状态可定义为热点区域内的当前呼叫连接数(消耗接入点系统资源),再将系统建模为 M/M/N/N 队列,即一个生灭过程,两个相邻状态只相差一个单位(呼叫连接数),系统的平衡概率为

$$P_n = P_0 \cdot \prod_{i=0}^{n-1} \lambda_i / \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (6)$$

其中: P_0 为概率常数,可以利用概率归一性条件求得; P_n 在本文中可理解为系统的状态概率(当前用户的连接数为 n)。在这个系统中, $\lambda_n = \lambda$, $\mu_n = n\mu$, 概率归一性条件为 $\sum_{n=0}^N P_0 = 1$ 。把这些条件应用于式(6)中,可以求得 $P_n = \frac{\rho^n / n!}{\sum_{i=0}^N (\rho^i / i!)}$ 。当 $n = N$ 时出现阻塞,系统中用户数饱和,可得 WLAN 热点中的新呼叫阻塞率 $P_N = \frac{\rho^N / N!}{\sum_{i=0}^N (\rho^i / i!)}$ 。

接下来考虑热点中 DVHO 阻塞率,包括以下两种情况:a)当热点中可提供的系统带宽已经耗尽(如热点的状态为 N), DVHO 呼叫应该被阻塞掉;b)基于概率 Pr 的 CAC 算法阻塞掉 DVHO 呼叫(即使系统带宽还有剩余)。由此可得 WLAN 热点中的 DVHO 呼叫阻塞率

$$P_b = \sum_{n=0}^{N-1} Pr P_n + P_N = P_N + Pr(1 - P_N) \quad (7)$$

式(7)中第二项的含义可理解为 $n \neq N$, CAC 算法以 Pr 的概率阻塞 DVHO 呼叫。如果系统不进行 CAC 的话(即 $Pr = 0$),则可得 $Pr = P_N$ 。

举个例子,在图1所示的网络拓扑结构图中,本文假设蜂窝网的覆盖范围是一个半径为 2 km 的圆形区域, WLAN 热点的区域半径为 200 m;蜂窝网的基站距离 WLAN 接入点的长度为 200 m,新呼叫到达率 λ 分别取不同的值 $\{6, 8, 10\} \times 10^{-7}$ (calls/s/m²)。例如,当 $\lambda = 6 \times 10^{-7}$ (calls/s/m²),则热点中的语音新呼叫到达速率 $\lambda_1 = 0.075$ (calls/s),如果平均呼叫保持时间 $1/\mu = 360$ (s),可得热点中活跃的语音业务数目为 27 个。

类似地,平均 DVHO 呼叫到达率等于蜂窝网中新呼叫到达率与这些呼叫移入热点区域内概率的乘积: $\lambda_{DVHO} = P_d \lambda_c$ 。利用上述参数,可推导出 P_N 和 P_b 关于 Pr 的函数。图2中表示出了 λ 取不同的值时, P_N 和 P_b 关于 Pr 的变化规律,其中假设移动终端以步行的速度进行移动,如 $v = 5$ (km/h)。

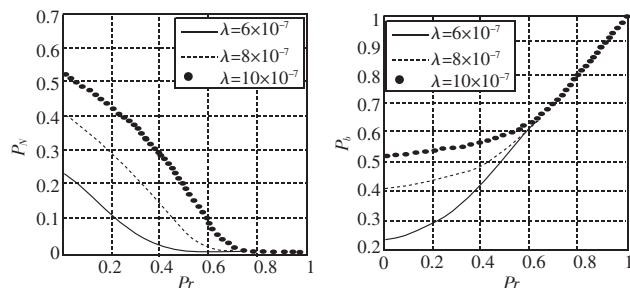


图2 Pr 对 DVHO 呼叫阻塞率(P_b)和新呼叫阻塞率(P_N)的影响

在图2中, Pr 的取值为 0 ~ 0.99 区间,呼叫到达率取三种不同的值, P_N 随着 Pr 的增大而降低, P_b 随着 Pr 的增大而增大。并且, P_N 和 P_b 随着到达率 λ 的增加而增大。然而,根据式(7)可得,当 Pr 增大时, P_b 随之增大,一种过拒绝问题将会产生,即当系统未处于满负荷状态($P_N \approx 0$), CAC 算法仍会阻塞呼叫,并且,这种过拒绝问题随着 Pr 的增大而变得更严重^[2]。为了获得更高的系统吞吐量,设计一种有效的 CAC 算法是非常有必要的。

CAC 算法的设计首先应考虑避免或缓解过拒绝问题。在这里,取 N' 为满足 $S \geq S'$ 的最小值 n ,只有当 WLAN 热点内的当前呼叫连接数大于 N' 时,算法才触发,阻塞掉 DVHO 呼叫。其中, S' 可由网络运行商根据不同的网络状况进行设置。因此,算法定义 $Pr_1 = (n - N') / (N - N')$, 其中 $n \geq N'$ 。

其次, CAC 算法的功能还应当能够减少不必要的 VHO 操作。为了实现该功能,随机拒绝所有的 DVHO 用户是不合适的。一般来说,如果 DVHO 呼叫终端的移动速度比较快的话,那么该终端在短时间内又移出热点区域的可能性非常大,即执行 UVHO 操作的概率 P_u 非常大。因此, CAC 算法应该在终端移动速度高于某一门限值(v')才起作用。如图3所示,假设 UVHO 的概率 $P_u = 0.531$ 为系统所能容忍的极限值,当 $1/\mu = 360$ s, $v > 5$ km/h 或 $1/\mu = 600$ s, $v > 3$ km/h 时, P_u 值大于极限值 0.531。因此,在这两种平均呼叫保持时间条件下,算法选择 $v' = 3$ km/h 或 5 km/h。不同的 v' 值应根据不同的网络架构而定。算法定义 $Pr_2 = P_u(v)$ 。WLAN 无线接入点(AP)可以通过以下两种方式获知呼叫终端的移动速度:a)终端配备 GPS 设备,以此来探测速度 v ,它将带有速度 v 信息的连接请求发送给 AP^[12];b)如果 AP 接收不到终端的速度信息,那么 WLAN 可以通过分析接收到的终端信号的最大多普勒频移来估计移动速度。

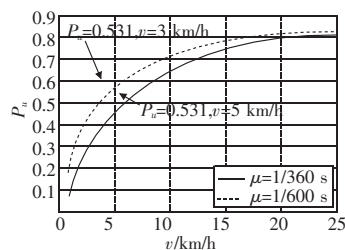


图3 移动速度(v)和呼叫保持时间(μ)对 P_u 的影响

图4为本文设计的 CAC 算法的流程。WLAN 网络中的无

线接入点可以根据当前网络内的资源占用信息和终端移动信息计算出 P_u 和 N 。当一个 DVHO 呼叫终端向 AP 发出连接请求时,系统判断“移动速度 $v > v'$ ”和“当前 WLAN 网络中的在线呼叫连接数 $n > N'$ ”这两个条件是否同时成立。如果成立的话,AP 将生成一个随机数 R (R 在 $[0,1]$ 区间服从均匀分布)与 Pr 相比较。当 $R < Pr$,该连接请求被阻塞掉,该呼叫继续留在蜂窝网中;否则,DVHO 呼叫的连接请求将被接纳。因此,为了避免拒绝问题的发生和减少不必要的 VHO 操作,算法定义的 Pr 表达式中应包含因子 Pr_1 和 Pr_2 ,即

$$Pr = \beta Pr_1 \cdot Pr_2 \quad (8)$$

式中: β 是一个可调参数,例如,当 β 的取值足够小时,DVHO 呼叫将拥有和新呼叫一样的优先级。

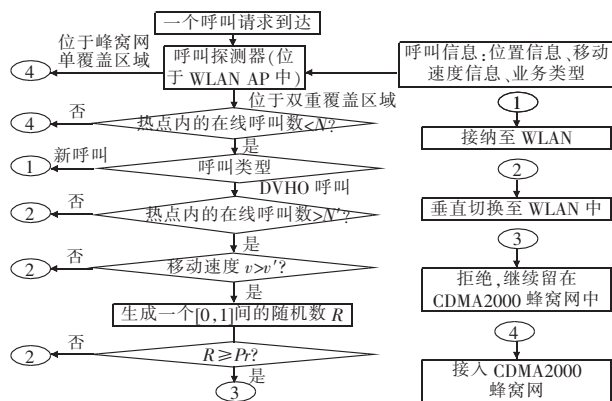


图4 WLAN中的呼叫接纳控制流程

4 仿真结果

仿真采用的参数和网络拓扑结构如上文所述。假设一个 CDMA2000 蜂窝网包含有五个 WLAN 接入点,每个接入点提供 6 Mbps 的传输速率,一个呼叫占用 64 kbps。根据文献[2], S 最大化时, $N=62$,再设 $S'=0.8$,可得 $N'=49$ 。令式(8)中的参数 $\beta=1$ 。

图5和6给出了三种不同呼叫到达率条件下,WLAN 热点中的新呼叫阻塞率、DVHO 呼叫阻塞率、平均带宽利用率和系统性能。平均带宽利用率可以通过计算平均连接数和 N 的比值求得。

a)图5(a)和(c)中,当 $1/\mu=360$ s 或 600 s 时,CAC 算法作用下与 no-CAC 下的 WLAN 网络中的 DVHO 阻塞率分别提高 49.2% 或 32.1%。这是因为具有较大 P_u 的 DVHO 呼叫在本文设计的 CAC 算法作用下被阻塞掉,由此导致 DVHO 呼叫数目的减少,并进一步减少 WLAN 和 CDMA2000 蜂窝网组成的异构无线网络的总体 VHO 资源损耗。另外, $1/\mu=360$ s 下更多的 DVHO 呼叫数将被接纳(相对于 $1/\mu=600$ s),这是因为 $1/\mu=360$ s 下 v' 被设置为 5 km/h,高于 $1/\mu=600$ s 下的 $v'=3$ km/h,算法能够接纳移动速度在 3~5 km/h 范围内的 DVHO 呼叫。

b)图6(a)和(c)中,CAC 算法下的 WLAN 带宽利用率与 no-CAC 非常接近。这是因为 CAC 算法更倾向于接纳新呼叫和 P_u 较低的 DVHO 呼叫。这个结论同样也能从图5(b)和(d)中得到验证,即 CAC 算法作用下的新呼叫阻塞率明显比 no-CAC 低。而这也正是想要得到的结果,因为绝大部分 WLAN 网络的覆盖区域都在室内,室内用户相对静止,更倾向于接入 WLAN 网络。

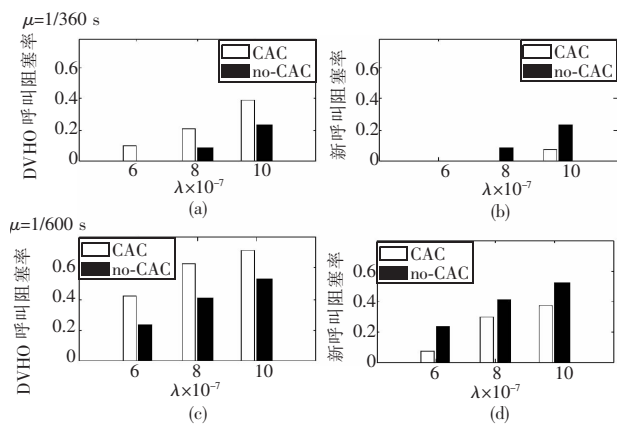


图5 WLAN中的DVHO呼叫阻塞率和新呼叫阻塞率

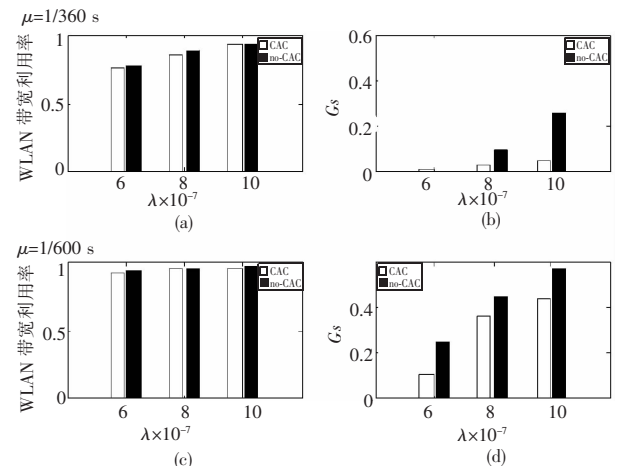


图6 WLAN带宽利用率和系统性能

c)从图5中可以看出,本文提出的 CAC 算法与采用随机值作为拒绝 DVHO 呼叫概率的 no-CAC 相比,降低了新呼叫阻塞率,但提高了 DVHO 呼叫阻塞率。为了全面地考虑系统性能,把系统中新呼叫阻塞率和 DVHO 呼叫阻塞率综合起来加以考虑,定义参数 G_s 来表征系统的整体性能,即 $G_s = \eta P_b + P_N$,其中 η 是一个加权因子^[13]。通常要求 P_b 比 P_N 低一个数量级,因此给予 P_b 低一个数量级的权值。一般地, $\eta=0.1$ 。可以看出, G_s 越小,系统整体性能越佳。图6(b)和(d)为 CAC 算法与 no-CAC 的系统性能对比。在 $1/\mu=360$ s,系统负荷较轻的情况下,CAC 算法获得的 G_s 明显小于 no-CAC,显著提高了系统性能;在 $1/\mu=600$ s,系统负荷相对较重的情况下,CAC 算法仍然提高了一定的系统性能。

5 结束语

本文提出了一种适用于 CDMA2000 蜂窝网和 WLAN 互连的异构网络中的呼叫接纳控制算法,它能在网络资源比较紧张、在线用户数较多的情况下,通过拒绝高 DVHO 概率的 DVHO 呼叫的切换请求,有效减少不必要的 VHO 操作,同时保持双重覆盖区域中很高的系统平均带宽资源利用率。笔者推导出算法所要用到的三个垂直切换呼叫概率表达式。该算法避免了在系统吞吐量较低或移动用户处于低速移动时,过多地拒绝 DVHO 呼叫。仿真结果表明,与 no-CAC 相比,算法有效地降低了新呼叫阻塞率和不必要的 VHO 操作,保证了平均系统带宽利用率维持在一个较高的水平,提高了系统性能。下一步,本文打算研究有障碍物环境下的异构无线网络垂直切换算法的性能,以及乒乓效应对算法的影响。(下转第2328页)

参考文献:

- [1] NEWNAN P. In search of the all-IP mobile network[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2004, 42(12): 53-58.
- [2] LEE S, KIM K, HONG K, *et al.* A probabilistic call admission control algorithm for WLAN in heterogeneous wireless environment[J]. *IEEE Trans on Wireless Communication*, 2009, 8(4): 1672-1676.
- [3] 刘胜美, 孟庆民, 潘甦, 等. 异构无线网络中基于 SINR 和层次分析法的 SAW 垂直切换算法研究[J]. *电子与信息学报*, 2011, 33(1): 235-239.
- [4] 康亚博, 许昆, 沈玉龙, 等. 无线异构网络中的切换预测算法[J]. *通信学报*, 2009, 30(10A): 63-67.
- [5] KIM D K, GRIFFITH D, GOLMIE N. A new call admission control scheme for heterogeneous wireless networks [J]. *IEEE Trans on Wireless Communication*, 2010, 9(10): 3000-3005.
- [6] HASIB A, FAPOJUWO A O. Analysis of common radio resource management scheme for end-to-end QoS support in multiservice heterogeneous wireless networks [J]. *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 2008, 57(4): 2426-2439.
- [7] LAI Y C, TSAI S F. Unfairness of measurement-based admission controls in a heterogeneous environment[C]//Proc of International Conference on Parallel and Distributed Systems. 2001: 667-674.
- [8] GAO Q, HSU C. Mobility based estimation of inter-BSC soft handoff characteristics in CDMA networks[C]//Proc of IEEE WCNC. 2003.
- [9] 邓强, 陈山枝, 胡博, 等. 异构无线网络中基于马尔可夫决策过程的区分业务接纳控制的研究[J]. *通信学报*, 2010, 31(12): 27-36.
- [10] BIANCHI G. Performance analysis of the IEEE 802. 11 distributed coordination function[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(3): 535-547.
- [11] 王文鼎, 李标庆, 唐宝民. 电信网技术基础[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001: 290-291.
- [12] ZHAI H, WANG J, FANG Y. Providing statistical QoS guarantee for voice over IP in the IEEE 802. 11 wireless LANs[J]. *IEEE Wireless Communications Magazine*, 2006, 13(1): 36-43.
- [13] 王亚楠, 夏海轮, 冯春燕, 等. 异构网络中多媒体业务的联合呼叫接纳控制[J]. *西安电子科技大学学报: 自然科学版*, 2010, 37(5): 953-959.