

异构无线网络中基于效用的呼叫接纳控制及流量均衡策略^{*}

陈明欣 朱光喜 刘 干

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉国家光电实验室(筹) 武汉 430074)

摘要 目前国内外对于异构无线网络中联合呼叫接纳控制和流量均衡策略的研究大多停留在网络层以上,即认为不同的网络具有不同的覆盖面积和网络容量,而没有考虑不同网络在物理层和链路层的具体特性。本文在对 UMTS 和 WLAN 底层特性分析的前提下,结合应用层为用户设定的效用函数,利用跨层信息提出了一种新的联合呼叫接纳控制及流量均衡策略。仿真结果表明该策略可以使异构无线网络中所有呼叫的效用总和最大。

关键词 异构无线,效用函数,呼叫接纳控制,流量均衡

Utility-based Call Admission Control and Load Balancing Strategy in Heterogeneous Wireless Networks

CHEN Ming-xin ZHU Guang-xi LIU Gan

(Department of Electronics & Information Engineering, Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract There are many researches on call admission control and load balancing strategy in heterogeneous wireless networks, most of which are under the consideration that the only difference between UMTS and WLAN is the coverage and bandwidth, yet the network characteristics at physical layer and link layer are not taken into account. A novel utility-based call admission control and load balancing strategy is proposed. The proposed strategy utilizes the cross-layer information of both the characteristics at lower layer, and utility functions defined at the application layer. The simulation results show that the proposed strategy maximizes total utility of all the ongoing connections in heterogeneous wireless networks.

Keywords Heterogeneous wireless networks, Utility function, Call admission control, Load balancing

1 引言

随着无线通信系统的普及,蜂窝网络和无线局域网几乎随处可见。无线通信的应用也从早期的提供语音服务的蜂窝通信(1G, 2G)到集成的数据应用。基于 IEEE802.11 的无线局域网(WLANs)已经成为最广泛的提供高数据率和相对低花费的无线通信方式。无线局域网的接入点(AP)可以提供热点地区的无线连接。可以预测下一代无线通信网将会有多种无线接入网并存。由于不同的无线接入网具有不同的网络特性,因此在单一网络中的呼叫接纳控制(Call Admission Control, CAC)和流量均衡(Load Balancing, LB)策略将无法直接在这种异构的无线网络中适用。

目前在异构无线网络中关于呼叫接纳控制和流量均衡策略的研究都停留在将不同的无线网络仅仅看作是容量和覆盖面积不同的网络^[1-5],而没有考虑到在物理层和数据链路层网络的不同特性,以及在应用层不同业务的具体特性。在流量均衡的研究方面,已有的工作只是通过设定一些流量的门限值来判断不同网络的负载情况,以便进行流量均衡^[6],而这往往是不准确的,因为无线网络的容量还与网络中用户的情况有关(如每个用户的信道状况以及功率控制等)。为了更精确

地对异构无线网络进行控制,必须对各种网络的性能进行定量的分析。Yu^[7]曾经提出了一种异构无线网络中的联合呼叫接纳控制策略,对 WLAN 和 CDMA 的网络性能进行了分析,但是该呼叫接纳控制策略只是针对用户具有固定数据率的情况,而在实际中,用户往往都是具有可变的数据率且不同业务对数据率的满意度也是不一样的。

为使整个异构无线网络中用户总的满意度达到最大,同时网络也获得最大的收益,本文提出了一种基于效用的呼叫接纳控制及流量均衡策略,系统模型如图 1 所示,该策略利用了物理层和链路层反馈的参数对网络性能的分析与预测,结合应用层为各类业务定义的反映服务质量(QoS)的效用函数,利用跨层信息进行决策,从而使异构无线网络获得最大的网络总效用。

2 基于效用函数的呼叫接纳控制及流量均衡策略

本文先对两种无线接入网(UMTS 和 WLAN)的物理层和链路层的性能进行定量地分析,然后在应用层为实时和非实时业务定义效用函数,最后结合下层对网络性能的预测结果和上层定义的效用函数,提出新的呼叫接纳控制和流量均衡策略。

^{*}国家自然科学基金重大项目(No. 60496315, No. 60672059, No. 60502023),“十一五”国家高技术研究发展计划(863 计划)课题(No. 2006AA01Z233)。陈明欣 博士生,主要研究方向为无线局域网和无线 Ad hoc 的 MAC 协议、异构无线网络的呼叫接纳控制和负载均衡。

2.1 对各种无线网络特性的分析及预测

A. UMTS

由于第三代移动通信网络都是基于 CDMA 的网络,而在 CDMA 网络中,网络容量是软容量,无线信道的分配实际上就是功率的分配,因此这里我们要对 CDMA 网络的功率分配进行分析。假定网络中 I 类呼叫,一个小区中总的呼叫个数为 N ,其中第 i ($i=1,2,\dots,I$) 类呼叫的个数为 N_i ,则在此网络中功率控制的目标函数是

$$\begin{aligned} & \max \left\{ \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^{N_i} U_i(R_k) \right\} \quad (1) \\ & \text{Subject to: } \delta(R_k) \leq \frac{G_k P_k}{\eta_k \sum_{j=1, j \neq k}^N G_k P_j + I_i}, \text{ for } \\ & \forall k \sum_{k=1}^N P_k \leq P_{\max} \text{ and } P_i > 0, \text{ for } \forall i \end{aligned} \quad (2)$$

其中 $U_i(R)$ 是第 i 类呼叫的效用函数, $\delta(R)$ 是确保能以速率 R 传输时所需的最低信干比, G_k 是从基站到用户 k 的传输路径增益, P_k 是用户 k 的下行功率, I_k 是用户 k 接受到的噪声和邻小区干扰, η_k 是用户 k 的正交因子。

为了达到式(1)中的目标,我们采用 Chatterjee^[5] 提出的 SRR(selective rate reduction)算法来进行功率分配,以便在网络用户发生变化时,UMTS 可以准确地预测最佳功率分配后每个呼叫的数据率以及网络的总效用。

B. WLAN

由于 WLAN 的 MAC 层采用的是竞争的接入方式,因此与 CDMA 网络相似,它的网络总容量也不是一个固定值,除了与每个呼叫的物理层速率相关外,还与当前网络中呼叫的数目以及退避参数配置相关。目前 WLAN 大多采用 EDCA 的 MAC 协议,作者曾在文献[9]中提出一种 3 维的 Markov 模型,对采用 EDCA 协议的无线局域网在非饱和情况下的性能进行分析,该模型结合了排队理论的相关信息,可以准确预测在非饱和情况下各种业务的数据率和数据包的平均 MAC 时延,公式如下:

$$\begin{aligned} S(i) &= \frac{P_{suc}(i) \cdot L_i}{(1 - P_{idle})\sigma + \sum_{i=1}^I P_{suc}(i) T_{suc}(i) + P_{coll} T_{coll}} \quad (3) \\ U_{RT}(R) &= \begin{cases} SU_{RT} + MU_{RT} & R \geq SR_{RT} \\ SU_{RT} + MU_{RT} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{R - MR_{RT}}{SR_{RT} - MR_{RT}}\right) & MR_{RT} \leq R \leq SR_{RT} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \end{aligned}$$

实时业务的效用函数如式(5)所示,其中 MR_{RT} 和 SR_{RT} 分别是实时业务的最低数据率和预订数据率, $Delay_n$ 是数据包的接入时延限, SU_{RT} 是实时呼叫被接纳的基本效用,即当呼叫仅仅达到最低数据率时的效用。

B. 非实时业务

由于非实时业务没有时延要求,它的满意度只与传输的数据量有关,因此它的效用函数是一个简单的关于数据率的线性函数。但是,当数据率达到一定值后,再增加数据率意义不大,相反还会占用太多的网络资源而影响网络中的其它业务,因此非实时业务也必须预订一个数据率。

$$U_{NRT}(R) = \begin{cases} SU_{NRT} + MU_{NRT} & R \geq SR_{NRT} \\ SU_{NRT} + \frac{MU_{NRT}}{SR_{NRT}} \cdot R & 0 \leq R < SR_{NRT} \end{cases} \quad (6)$$

非实时业务的效用函数如式(5)所示,其中 SR_{NRT} 是预订数据率, SU_{NRT} 是非实时呼叫被接纳的基本效用。

2.3 呼叫接纳控制及流量均衡策略

对整个网络而言,总效用的最大化也就是网络总收益的

$$T_{MAC-delay}(i) = E(BO)_i E(T_{dot})_i + E(NC)_i T_{coll} + T_{suc}(i) \quad (4)$$

其中 $S(i)$ 是第 i 类业务的数据率, $T_{MAC-delay}(i)$ 是第 i 类业务的平均 MAC 时延。

2.2 业务的效用函数

首先我们将网络中的所有业务分为实时业务和非实时业务,在 UMTS 中终端的数据传输是由基站来集中控制的,可以保证实时业务的时延,因此在 UMTS 中效用函数只与业务的数据率有关;而 WLAN 中采取的是竞争信道的分布式接入模式,数据包的时延具有随机性,为了保证实时业务的 QoS, WLAN 中实时业务的效用函数除了与数据率有关外,还要考虑包的时延特性;而非实时业务只与数据率有关,可以不考虑时延特性。

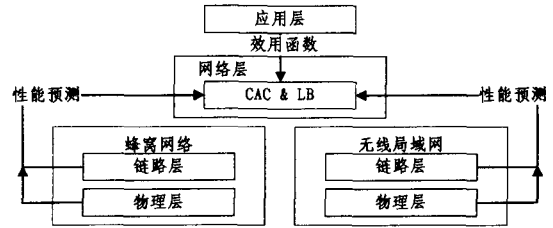


图 1 系统模型

A. 实时业务

实时业务包括语音和视频业务,假定在异构网络中语音采用的是 AMR-WB 标准,则语音的编码速率有一个动态的范围,视频也是具有可变数据率的业务,可以通过应用层改变视频编码方式来改变码率。当业务的数据率达到一个最低值时,用户就能获得一定的满意度,随着业务的数据率的增加,用户所获得的满意度也随之提高,然而随着业务的数据率的不断增加,用户的满意度的增加幅度会不断降低,直到业务的数据率达到预订的数据率时,用户的满意度也达到最大。所以实时业务的效用函数在最低数据率和预订数据率之间是一个凹函数。

$$\begin{aligned} R &= SR_{RT} \& Delay_{avg} \& Delay_n \\ & \text{Otherwise} \end{aligned} \quad (5)$$

最大化,所以本文提出的呼叫接纳控制及流量均衡策略的目标就是使网络的总收益最大,即网络中所有用户的满意度的总和最大。

本文提出的呼叫接纳控制及流量均衡策略有以下两个前提:

1. UMTS 和 WLAN 两种网络采取合作的方式,即都以异构网络的总效用最大为目标。
2. 在重叠覆盖区域内的移动终端可以在两种网络之间垂直切换,以达到均衡两种网络流量的目的。

该策略的基本思想如下:当一个终端要接入异构网络时,它必须首先向 AP 或 BS 发送一个请求包,包含呼叫的参数要求。以语音呼叫为例,它的呼叫请求包中包含:该呼叫数据包可以容忍的时延门限 $Delay_n$,该语音呼叫的最低数据率 MR_{vo} 和预订数据率 SR_{vo} ,被接纳的基本效用 SU_{vo} ,以及 MU_{vo} 。当 AP 或 BS 收到请求包后,会假定接纳该呼叫,并在网络中进行虚拟的流量调整,如果调整以后网络总的效用增加了,则接纳该呼叫,并进行真实的流量调整,否则拒绝该呼叫。

叫数,因此网络不会达到负载的极限状况,而对于由重叠区域移动到非重叠区域而被迫从 WLAN 垂直切换到 UMTS 的呼叫,即使网络的效用下降也要进行接纳,因此在本文所提出的策略下,垂直切换的掉线率几乎可以忽略不计。

3 仿真及结果

为了验证本文提出的策略的有效性,我们对一个 UMTS 小区进行仿真,并与其它 3 种策略相比较:1. 基于效用的无流量均衡的呼叫接纳控制策略;2. 非基于效用的有流量均衡的呼叫接纳控制策略;3. 非基于效用的无流量均衡的呼叫接纳控制策略。其中非基于效用的呼叫接纳控制是指只要新呼叫加入后网络中的所有用户都能满足最低的 QoS 要求就接纳新呼叫,而不考虑新呼叫是否能增加网络的效用。

仿真中的网络结构如图 5 所示,一个 UMTS 小区内包含两个独立的 WLAN 子网。仿真中的呼叫分为语音、视频和数据三种业务类型,其中语音呼叫的优先级最高,数据呼叫的优先级最低。假定 UMTS 小区到达的新呼叫中,处在重叠覆盖区域的概率为 0.4,处在非重叠区域的概率为 0.6。仿真在两个场景下进行,呼叫到达呈泊松分布,呼叫持续时间呈指数分布。场景 1 是 WLAN 的负载不变,UMTS 网络的负载由轻到重变化,场景 2 是 UMTS 网络的负载不变,WLAN 的负载由轻到重变化。仿真参数如表 1 所示。

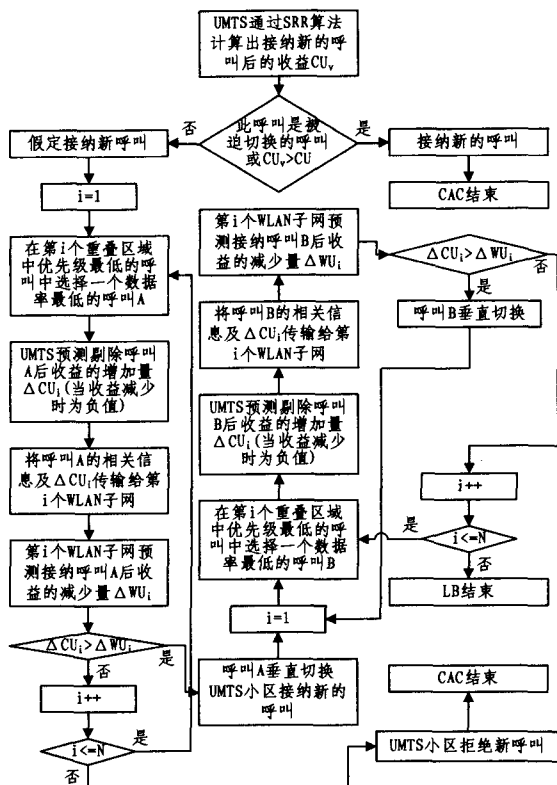


图 2 UMTS有新呼叫请求时的策略

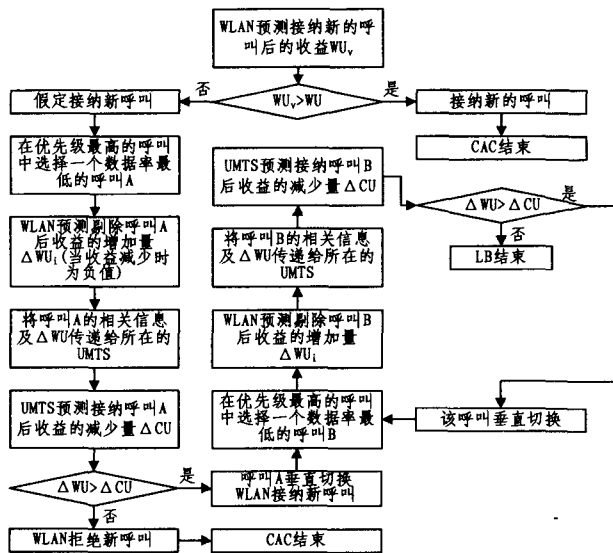


图 3 WLAN有新呼叫请求时的策略

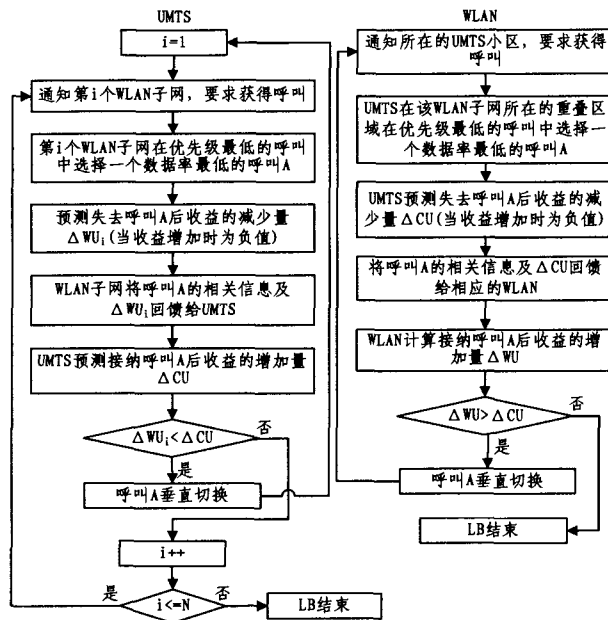


图 4 两种网络有呼叫离开时的策略

由于流量均衡只是针对网络中的用户发生变化而进行的,因此只有在接纳新的呼叫产生或呼叫结束时才进行流量调整。由于两种网络的特性不同,因此两种网络进行呼叫接纳控制和流量均衡的策略也有所不同。假定在进行流量调整前两种网络的最大收益分别是 CU 和 WU_i ($i=1,2,\dots,N,N$ 为 UMTS 小区内 WLAN 子网的个数)。图 2 和图 3 给出的是当有新呼叫产生时两种网络的处理策略,图 4 给出的是当有呼叫结束时两种网络的处理策略。对于垂直切换,可以认为是一种网络有新呼叫产生,而另一种网络有呼叫结束。

由于我们采用的呼叫接纳控制策略是基于效用的,当网络的效用达到最大时,网络还没有达到它所能承载的最大呼

表 1 仿真的参数设置

	语音	视频	数据	
呼叫持续时间(s)	180	240	300	
MU	100	60	$3.74 \times 10^{-3} / \text{Kbps}$	
SU	120	40	4	
SR	64 Kbps	256 Kbps	240 Kbps	
MIR	32 Kbps	64 Kbps	/	
Delay _{th}	40 ms	200 ms	/	
场景 1	λ_{UMTS} (session/min)	2 ~ 20	2 ~ 20	2 ~ 20
	λ_{WLAN} (session/min)	2	2	2
场景 2	λ_{UMTS} (session/min)	2	2	2
	λ_{WLAN} (session/min)	2 ~ 20	2 ~ 20	2 ~ 20

互联技术。通过在普通路由器的 IP 路由进程中增加少量的附加处理,新方案克服了 STUN 存在的不足,能使传递给路由器的所有通信都不需要服务器转播,因此能显著地减少网络通信开销,也避免了出现 STUN 服务器的瓶颈问题。另外,该方案中采用了 RID 和 SID 之间的映射来确定对等会话端的位置, SID 和 DID 确定会话及其转发方向,是身份标识和路由标识分离的一种体现,能很好地解决向下一代网络过渡过程中 NAT 设备的有效性问题的。

参考文献

[1] Egevang K, Francis P. The IP network address translator (NAT) [S]. RFC1631, May 1994
 [2] Biggs B. A SIP application level gateway for network address translation[S]. IETF issues, March 2000
 [3] Srisuresh P, Kuthan J, Rosenberg J. Middlebox communication

a-architecture and framework [S]. RFC3303, August 2002

[4] Rosenberg J, Weinberger J, Huitema C, et al. STUN - simple traversal of user datagram protocol (UDP) through network address translators (NATs) [S]. RFC3489, March 2003
 [5] Rosenberg J, Mahy R, Huitema C. Traversal using relay NAT (TURN) [EB/OL]. <http://draft-rosenberg-midcom-turn-08>, September 2005
 [6] 白伟华,李吉桂. NAT 技术及其穿越方案研究[J]. 计算机科学, 2005, 32(8): 44-45
 [7] Rosenberg J, Schulzrinne H, Camarillo G. SIP; Session Initiation Protocol [S]. RFC3261, June 2002
 [8] 陈晓铭,吴中福,等. 基于 ICE 方式 H. 323 信令穿越 Symmetric NAT 技术研究 [J]. 计算机科学, 2006, 33(8): 82-85

(上接第 47 页)

仿真结果表明,无论是场景 1(图 6)还是场景 2(图 7),采用本文提出的基于效用的呼叫接纳控制与流量均衡策略时,网络的总效用都是最大的。不是基于效用的或者没有流量均衡的呼叫接纳控制策略都会使网络的总效用降低,而采用既不基于效用又不含流量均衡的简单的呼叫接纳控制策略时,网络的总效用是最低的。

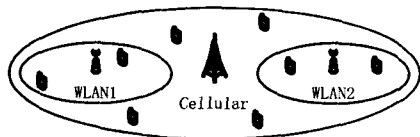


图 5 仿真中的小区结构

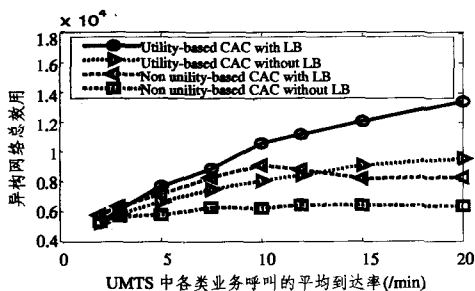


图 6 场景 1 下的异构网络总效用对比

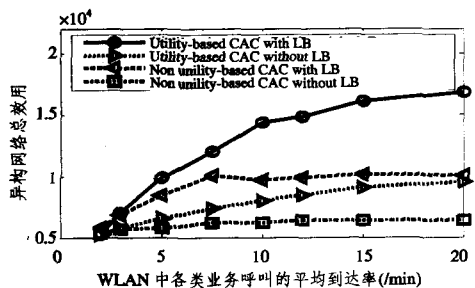


图 7 场景 2 下的异构网络总效用对比

结束语 本文提出了一种基于效用的呼叫接纳控制及流量均衡策略,该策略利用物理层和链路层反馈的参数对两种网络性能的分析与预测,并结合应用层对各类业务定义的效

用函数,利用跨层信息进行决策,从而达到最佳的呼叫接纳控制和流量均衡的效果。效用函数的引入保证了各类业务都能获得一定的满意度,而在下层对网络性能的分析与预测保证了所采取策略的准确性,在此基础上的流量均衡策略也避免了两种网络的负载差别过大而带来总收益的损失,仿真结果表明本文提出的策略可以使异构无线网络中所有呼叫的效用总和最大。

参考文献

[1] Song Wei, Zhuang Weihua, Cheng Yu. Load balancing for cellular/WLAN integrated networks [J]. IEEE Network, 2007, 21 (1): 27-33
 [2] SKEHILL R, BARRY M, KENT W, et al. The common RRM approach to admission control for converged heterogeneous wireless networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14 (2): 48-56
 [3] MURRY K, PESCH D. Call Admission and Handover in Heterogeneous Wireless Networks [J]. IEEE Internet Computing, 2007, 11 (2): 44-52
 [4] Chen Bin Bin, Chan M C. Resource Management in Heterogeneous Wireless Networks with Overlapping Coverage [C]. Comsware'06, Jan. 2006: 1-10
 [5] FALOWO O E, CHAN H A. Joint Call Admission Control for Next Generation Wireless Network [C]// Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 2006: 1151-1154
 [6] Ning Guqin, ZHU Guangxi, Peng Liexin, et al. Load Balancing Based on Traffic Selection in Heterogeneous Overlapping Cellular Networks [C]// The First IEEE and IFIP International Conference in Central Asia on Internet, Sept. 2005: 26-29
 [7] Yu Fei, KRISHNAMURTHY V. Optimal Joint Session Admission Control in Integrated WLAN and CDMA Cellular Networks with Vertical Handoff [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2007, 6 (1): 126-139
 [8] CHATTERJEE M, Lin Haitao, DAS S K. Rate Allocation and Admission Control for Differentiated Services in CDMA Data Networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2007, 6 (2): 179-191
 [9] 陈明欣,朱光喜,刘干. WLAN 中基于效用的呼叫接纳控制策略. 电子学报(录用待发), 2008