

基于博弈论的移动 WiMAX 接纳控制

张明 王锁萍 何涛
(南京邮电大学通信学院 南京 210003)

摘要: 移动 WiMAX 是一种重要的宽带无线接入技术,它具有数据传输率高、覆盖范围广、支持多种数据业务等优点。为了保证不同业务的 QoS,该文提出一种基于博弈论的接纳控制算法。该算法首先给不同的业务赋予不同的优先级,然后建立一个非合作二人博弈模型,通过求解纳什均衡决定是否接纳连接请求,以及带宽的预留方案。仿真结果表明,该算法能够提高带宽的利用率,降低新发起连接的阻塞概率和切换连接的丢弃概率,并且能给不同业务提供区分服务。

关键词: 无线城域网; 接纳控制; 博弈论; QoS

中图分类号: TN915

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)11-2601-04

Mobile WiMAX Access Control Based on Game Theory

Zhang Ming Wang Suo-Ping He Tao

(Institute of Telecommunication, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: Mobile WiMAX is an important technology for broadband wireless access. It has high-speed data transmission rate, great covering range, supporting several different service classes and some other merits. For the sake of guaranteeing every service's QoS, a new access control algorithm based on game theory is proposed. The algorithm gives services different priorities firstly, and then formulates a non-cooperative two-person game. Finally it decides to accept or reject connect application and selects bandwidth reservation scheme by figuring out Nash Equilibrium. The simulation results show the algorithm can increase bandwidth utilization, reduce the blocking probabilities of new originated connections and the dropping probabilities of handover connections, and can provide differentiated services to distinct services.

Key words: Wireless metropolitan area networks; Access control; Game theory; QoS

1 引言

IEEE802.16e 是移动 WiMAX 标准,它是一种支持移动性的宽带无线城域网接入技术^[1]。该技术不仅能够提供高数据传输率和快速切换,还可以支持不同的多媒体业务,并为此提供了一系列的 QoS 保证机制。它的 MAC 层是面向连接的,数据在传输之前,首先要建立连接,每个连接与一个定义了数据 QoS 要求的服务流相关联。只有连接的 QoS 要求能够满足,连接才能建立。为了规范基站(BS)和移动用户站(MSS)之间的交互操作,系统还定义了 MSS 如何请求带宽以及 BS 实现上行调度应该完成的功能。系统将不同业务流划分为 5 种类型,分别为主动授权业务(UGS)、实时轮询业务(rtPS)、扩展的实时轮询业务(ertPS)、非实时轮询业务(nrtPS)以及尽力而为业务(BE),并对每种业务的 QoS 参数进行了相应的规定。但是,具体的实现并没有限制,留给开发商去解决。

本文重点研究不同业务的接纳控制方法。当 MSS 向 BS 提出连接请求时,BS 根据带宽利用情况以及连接的 QoS 要

求来决定接纳还是拒绝,如果接纳,则为连接预留一定的带宽。适宜的接纳控制方案能够有效地保证连接的 QoS。需要说明的是,接纳控制为每个连接预留的带宽并不一定等于数据传输时实际分配的带宽,因为接纳控制只是根据资源的长期使用情况做出的一个决定,而传输时实际分配的带宽是根据资源当前的使用情况来决定的,这个过程叫授权控制,它也是实现 QoS 的一个重要机制,在此不作重点研究。

接纳控制是无线移动通信的一个重要议题^[2],基本的方案是为切换连接分配一定的专用带宽^[3,4],但是多数文献只考虑实时业务和非实时业务,或者不支持移动性^[5,6],而移动 WiMAX 需要支持 5 种业务以及移动性,所以,本文对此做了进一步研究,基于博弈论提出一种可行的接纳控制方案,它能够满足不同业务的 QoS 需求,并且能够提高带宽资源的利用率。

2 方案模型

2.1 业务优先级的设定

标准定义的 5 种业务中^[1,7],UGS 用于传输周期发送的固定长度的实时数据,如 T1/E1 以及没有静默压缩的 VoIP; rtPS 用于支持可变速率的实时传输,如 MPEG 视频业务;

ertPS 是 rtPS 的扩展, 周期性地主动分配可变带宽, 支持带静默压缩的 VoIP。这 3 种业务支持实时数据流的传输, 对带宽和延迟都有要求。另外两种业务支持非实时数据流, nrtPS 用于支持可变速率的非实时业务, 有最小带宽要求, 如 FTP; BE 支持尽力而为业务, 没有最小带宽要求, 如 E-mail。

为了更好地支持不同的业务, 需要对业务划定优先级。由于 UGS, rtPS 和 ertPS 是实时业务, 对阻塞或丢弃很敏感, 所以传输时优先级要大于非实时业务 nrtPS 和 BE。业务通过连接进行传输, 当 MSS 漫游到不同的小分区时, 需要切换连接, 对于用户来说, 不希望正在进行的连接因为切换而发生中断, 尤其是实时业务, 因此, 切换连接承载业务的优先级要比同类的新发起连接业务优先级高。这样, 对于不同业务类型, 优先级设定为: 切换 UGS > 切换 ertPS > 切换 rtPS > 新 UGS > 新 ertPS > 新 rtPS > 切换 nrtPS > 新 nrtPS > 切换 BE > 新 BE。BS 接纳控制时, 优先响应优先级高的连接请求。

2.2 带宽预留

带宽预留分为静态预留和动态预留。静态预留为每个连接预留的带宽不发生改变, 如按最大带宽要求预留或按最小带宽预留, 直到连接结束, 系统回收预留带宽; 而动态预留为连接分配的带宽随着连接数量的变化而发生改变, 如降级法^[8]。本文提出的基于博弈论的接纳控制方案是一种动态预留方案, 当系统中的连接数量较少时, 每个连接都按最大带宽要求得到预留带宽, 随着连接数量的增加, 最大带宽要求得不到满足, 但为了增加带宽利用率, 需要从现有连接的预留带宽中提取出一部分带宽分配给新的连接。如果原有连接的 QoS 要求仍然能够满足, 并且新连接的 QoS 要求也能得到满足, 则接纳新连接, 否则拒绝。

当需要从现有连接中提取一部分带宽时, 由于 UGS 业务是恒定速率, 不能提取它的预留带宽; rtPS, ertPS 和 nrtPS 带宽要求介于最大带宽和最小带宽之间, 提取一部分带宽后, 仍能满足 QoS 要求, 只是 OoS 满意度有所下降; BE 是尽力而为业务, 没有预留带宽, 因此只能从 rtPS, ertPS 和 nrtPS 中提取带宽。提取多少带宽以及从哪些连接中提取带宽则通过博弈模型解决。

2.3 博弈模型的建立

博弈论是用来研究具有冲突的博弈方如何选择自己策略的一门学科^[9], 它在无线网络资源分配中得到一定应用^[10]。本文引入博弈论的方法研究 WiMAX 的接纳控制, 在保证各业务流 QoS 的基础上, 增加带宽资源的利用率。

一个静态的非合作博弈模型表示为 $G = (P, S, U)$, 其中, P 是参与人集合, 它们是博弈的决策主体; S 为策略空间, 指每个局中人在博弈中可以选择采用的行动方案, 每个参与人均有可供其选择的多种策略; U 指每个参与人从各种策略组合中获得的收益, 它常常是策略组合的函数, 称为效用函

数。WiMAX 网络中, 当 MSS 向 BS 提出连接申请时, 希望得到所要求的资源, 而 BS 则根据资源的使用情况来决定接纳该连接还是拒绝, 希望满足不同业务的 QoS 要求的同时, 最大化自己的带宽利用率, 二者冲突点是有限的带宽资源。这种带宽资源的请求与分配符合一个二人博弈模型, 参与人是 BS 和新的连接 NC, BS 的策略空间是为连接分配不同数量的带宽, NC 的策略是接收还是拒绝分配给的带宽, 二者的目标都是最大化自己的效用。

为了描述不同业务流 QoS 的满意程度, 为每个连接定义一个效用函数, 根据它们的效用来决定在博弈中的收益。由于接纳控制是根据资源长期使用情况来做决定, 因此, 只考虑连接的带宽需求。当一个连接所得带宽大于等于所需的最大带宽时, 它的 QoS 满意度为 1, 当它得不到任何带宽时, 满意度应为 0。因此, 一个连接的效用函数值介于 [0,1] 之间。首先定义 UGS 的效用函数为

$$u(x) = \begin{cases} 1, & x \geq b \\ 0, & x < b \end{cases} \quad (1)$$

其中 b 为 UGS 所要求的带宽。由于 UGS 是恒定速率, 带宽固定, 因此预留带宽必需大于等于所要求带宽, 否则业务流的 QoS 无法保证。对于 rtPS, ertPS 和 nrtPS 业务流, 有最大带宽和最小带宽要求, 选择修正的 sigmoid 函数作为效用函数, 分配不同的带宽, 就会得到一个在 0 和 1 之间的效用值, 如式(2)所示。

$$u(x) = \begin{cases} 1, & x \geq b_{\max} \\ 1/(1 + e^{-a(x-c)}), & 0 < x < b_{\max} \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中参数 a 为倾斜系数, c 为曲线中心, b_{\max} 为所要求的最大带宽。这三种业务流, a 和 c 设置不同的值, 使得分配相同的带宽时效用不同, ertPS > rtPS > nrtPS, 这样, 提取带宽时优先从 nrtPS 连接中提取, 其次是 rtPS, 最后是 ertPS。

首先考虑切换连接的接纳控制。为了保证连接的平滑切换, 降低丢弃率, 常采用的方法是为切换连接分配一定的专用带宽, 称为保护带宽。假设系统带宽为 B , 保护带宽为 G , 当前剩余带宽为 B' , 连接要求的最大带宽为 b_{\max} , 最小带宽为 b_{\min} 。如果 $B' \geq b_{\max}$, 则接纳 NC, 并为其预留 b_{\max} 带宽; 否则, 需要从 rtPS, ertPS 和 nrtPS 连接的预留带宽中提取带宽。设从中分别提取的带宽数为 r, s, t , 则有 $r + s + t \leq b_{\max} - B'$, $r, s, t \in [0, b_{\max} - B']$, 则 BS 可采取的策略集合可表示为

$$S_{bs} = \{s_{0,0,0}, s_{0,0,1}, \dots, s_{0,0,b_{\max}-B'}, \dots, s_{r,s,t}, \dots, s_{b_{\max}-B',0,0}\}$$

如果连接为新发起连接, 带宽 G 不可用, 因此, 如果 $B' - G \geq b_{\max}$, 则接纳连接, 否则, 提取其它连接的预留带宽, 和切换连接一样, 只不过是 $r + s + t \leq b_{\max} - B' + G$, $r, s, t \in [0, b_{\max} - B' + G]$ 。

确定了预留带宽的总量后, 还要确定要从哪个连接中提

取带宽。在策略 $s_{r,s,t}$ 中, BS 要从 rtPS 连接中提取 r 单位的带宽, 设系统中 rtPS 连接的集合为 C_{rtPS} , 连接的个数为 N_{rtPS} , B_k 表示从 C_{rtPS} 中提取 k 单位带宽后, 各连接的预留带宽。则第 $k+1$ 单位带宽应从连接 i_{k+1} 中提取

$$i_{k+1} = \max_j (u(B_k)), j = 1, 2, \dots, N_{rtPS}, k+1 \leq r, \\ u(b_{i_{k+1}} - 1) \geq 0.5 \quad (3)$$

这主要保证现有连接的带宽要求。如果找不到满足要求的连接, 则策略 $s_{r,s,t}$ 淘汰。这样, 依次从 rtPS 连接中共提取 r 单位的带宽。同样方法从 ertPS 和 nrtPS 提取 s 、 t 单位带宽。

对于 BS 预分配给 NC 的带宽, NC 有两种策略, 接收或拒绝, 表示为 (nc_1, nc_2) 。这样, BS 与 NC 之间的得益矩阵如表 1 所示。

表 1 得益矩阵

| | | | | | |
|----|--------|--|-----|--|-----|
| | | BS | | | |
| | | $s_{0,0,0}$ | ... | $p_{nc}(s_{r,s,t}, nc_1), p_{bs}(s_{r,s,t}, nc_1)$ | ... |
| NC | nc_1 | $p_{nc}(s_{0,0,0}, nc_1), p_{bs}(s_{0,0,0}, nc_1)$ | ... | $p_{nc}(s_{r,s,t}, nc_1), p_{bs}(s_{r,s,t}, nc_1)$ | ... |
| | nc_2 | $p_{nc}(s_{0,0,0}, nc_2), p_{bs}(s_{0,0,0}, nc_2)$ | ... | $p_{nc}(s_{r,s,t}, nc_2), p_{bs}(s_{r,s,t}, nc_2)$ | ... |

其中

$$\left. \begin{aligned} p_{nc}(s_{r,s,t}, nc_1) &= u(r + s + t + B'), \\ p_{nc}(s_{r,s,t}, nc_2) &= 1 - u(r + s + t + B'), \\ p_{bs}(s_{r,s,t}, nc_1) &= \sum u(B_{r+s+t}) + p_{nc}(s_{r,s,t}, nc_1), \\ p_{bs}(s_{r,s,t}, nc_2) &= \sum u(B) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

如果是初始连接, 则

$$\left. \begin{aligned} p_{nc}(s_{r,s,t}, nc_1) &= u(r + s + t + B' - G), \\ p_{nc}(s_{r,s,t}, nc_2) &= 1 - u(r + s + t + B' - G) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中 $\sum u(B)$ 表示新连接被接纳之前原连接的收益和, $\sum u(B_{r+s+t})$ 表示提取带宽 r, s, t 后, 原连接收益的和。

根据得益矩阵, 就可求出纳什均衡, 从而决定 BS 的策略。在这个博弈中, 如果存在一个策略组合 $(s_{r,s,t}^*, nc_i^*)$, 使得

$$\left. \begin{aligned} p_{nc}(s_{r,s,t}^*, nc_i^*) &\geq p_{nc}(s_{r,s,t}, nc_i) \quad \forall nc_i \\ p_{bs}(s_{r,s,t}^*, nc_i^*) &\geq p_{bs}(s_{r,s,t}, nc_i) \quad \forall s_{r,s,t} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

则这个策略组合是一个纯策略纳什均衡。在纳什均衡中, 每个参与人选择的策略是对其它参与人所选策略的最佳反应。为了求得此博弈的纳什均衡, 采用了求解最佳反映函数的方法^[10]。当 NC 采取了策略 nc_i^* 时, BS 的最佳反应函数为

$$br_{bs}(nc_i^*) = \arg \max_{s_{r,s,t}} (p_{bs}(s_{r,s,t}, nc_i^*)) \quad (7)$$

同样, 对于 BS 采取的策略 $s_{r,s,t}^*$, NC 的最佳反应函数为

$$br_{nc}(s_{r,s,t}^*) = \arg \max_{nc_i} (p_{nc}(s_{r,s,t}^*, nc_i)) \quad (8)$$

如果策略组合 $(s_{r,s,t}^*, nc_i^*)$ 满足

$$\left. \begin{aligned} s_{r,s,t}^* &= br_{bs}(nc_i^*) \\ nc_i^* &= br_{nc}(s_{r,s,t}^*) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

则它就是纳什均衡。

设求得该博弈的均衡为 $(s_{r,s,t}^*, nc_i^*)$, 如果 $nc_i^* = nc_1$, 则接纳 NC, 如果 $nc_i^* = nc_2$, 则拒绝 NC 的申请。

3 仿真结果

3.1 仿真参数的配置

仿真使用网络仿真软件 NS2, 在一个小区中进行。由于 BE 业务总是被接纳, 并且不参与带宽预留, 因此不进行仿真。小区中设置 5 个 MSS, 每个 MSS 均能产生 UGS、rtPS、ertPS 和 nrtPS 业务, 包括新发起连接和切换连接。物理层采用最适合移动的无线 MAN-OFDMA^[11,12], 使用载频为 3.4GHz, 小区半径选取 5km, 系统带宽 10MHz, FFT 长度取为 1024, 组成双工方式为 TDD, 调制采用 QPSK, 16QAM 和 64QAM 自适应调制, 信道分配采用 PUSC。

每种业务流的产生都服从均值为 λ 的泊松分布, λ 介于 $[0,1]$, 新发起连接和切换连接的持续时间服从参数为 $1/\mu_1$, $1/\mu_2$ 指数分布, $\mu_1 = 10m$, $\mu_2 = 5m$ 。业务的速率为 $b_{UGS} = 64kbps$, rtPS, ertPS 和 nrtPS 业务流的最小带宽为 $b_{min} = 64kbps$, 最大带宽为 $b_{max} = 128kbps$ 。保护带宽 G 设为 2Mbps。

rtPS, ertPS 和 nrtPS 的效用函数, $a_{rtPS} = 0.02$, $a_{ertPS} = 0.04$, $a_{nrtPS} = 0.01$, $c = 64$ 。

授权控制采用混合方案, UGS 业务采用静态分配, rtPS, ertPS 和 nrtPS 业务采用请求授权的方案分配带宽^[13]。

通过仿真, 建议的博弈论(GT)算法与两种传统算法进行了比较。第 1 种算法是最基本的接纳控制算法(BAC), 系统按最大带宽要求进行接纳控制并预留资源; 第 2 种算法是在第 1 种算法的基础上增加了保护带宽(GB), 用来提高切换连接的优先级。

图 1 是 3 种算法的带宽利用率。随着连接速率的增大, 3 种算法的带宽利用率逐渐增大。当 $\lambda \geq 0.4$ 时, BAC 和 GB 算法的利用率增加渐缓, 最后基本稳定在 0.8, 而 GT 算法一直增加, 最后利用率接近 1。这主要是 BAC 算法按照最大带宽要求进行预留, 但实际传输中, 没有这么大数据量, 多余的带宽又不能分配给新连接, 因此浪费一定的带宽; GB 算法为切换连接分配了专用带宽, 即使切换连接用不了这么

多带宽,也不能分配给新发起连接,因此利用率比BAC小,但是随着切换连接数量的增多,它的专用带宽被完全占用,最后与BAC相同。GT算法根据连接数量为连接预留带宽,开始为连接分配的带宽很大,然后逐渐减少,接纳更多的连接,最后每个连接的带宽接近最小要求带宽,所以带宽利用率最大。

图2和图3是3种算法的新发起连接的阻塞概率和切换连接的丢弃概率的比较,GB算法的阻塞概率最大,但是丢弃概率最小,这主要是保护带宽只能给切换连接使用,保证了切换连接的高优先级。GT算法的阻塞概率和丢弃概率都很小,保护带宽降低了丢弃概率的同时,逐渐减少预留带宽进一步减小了丢弃概率和阻塞概率。

图4是本文算法GT中不同业务的连接阻塞概率和丢弃概率的比较,N表示新连接,H表示切换连接。从图中看出,业务的优先级越高,丢弃概率和阻塞概率越小。因此,GT算法在提高带宽利用率的同时,对不同的业务进行区分服务,能够更好的支持不同的业务。

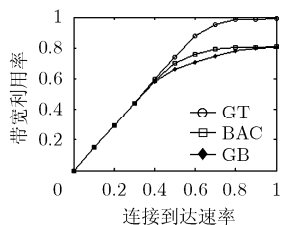


图1 3种算法的带宽利用率

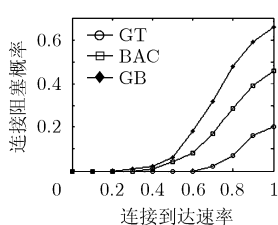


图2 3种算法的新发起连接阻塞概率

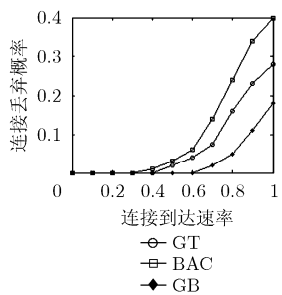


图3 3种算法的切换连接丢弃概率

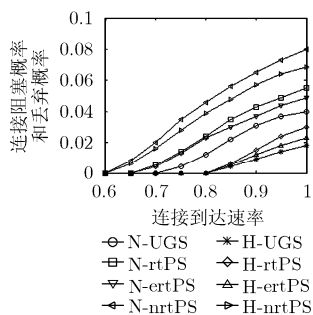


图4 GT算法中不同业务的阻塞概率和丢弃概率

4 结论

本文在移动WiMAX网络中,建立了一个非合作二人静态博弈模型,对接纳控制和带宽预留进行了研究。该模型充分考虑了业务的QoS要求,并且给不同业务分配不同的优先级。最后同两种基本算法进行了比较。仿真结果显示,该算法不仅能够提高带宽的利用率,降低连接的阻塞概率和丢弃概率,还能够对不同业务按优先级进行区分服务,为WiMAX支持不同的业务传输提供了保证。

参考文献

[1] IEEE 802.16e. IEEE Standard for Local and metropolitan

area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1[S]. 2005.

- [2] Mohamed H A. Call admission control in wireless networks: A comprehensive survey [J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2005, 7(1): 50-69.
- [3] Leong C W, Zhuang Weihua, and Cheng Yu, et al. Call admission control for integrated on/off voice and best-effort data services in mobile cellular communications [J]. *IEEE Trans. on Communications*, 2004, 52(5): 778-790.
- [4] Niyato D and Hossain E. Call admission control for QoS provisioning in 4G wireless networks: Issues and approaches [J]. *IEEE Network*, 2005, 19(5): 5-11.
- [5] Ghaderi M and Boutaba R. Call admission control for voice/data integration in broadband wireless networks [J]. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2006, 5(3): 193-207.
- [6] Niyato D and Hossain E. Joint bandwidth allocation and connection admission control for polling services in IEEE 802.16 broadband wireless networks [C]. 2006 IEEE International Conference on Communications. Istanbul, Turkey. June 11-16, 2006, 12: 5540-5545.
- [7] IEEE 802.16-2004. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems [S]. 2004.
- [8] Chou C T and Shin K G. Analysis of adaptive bandwidth allocation in wireless networks with multilevel degradable quality of service [J]. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2004, 3(1): 5-17.
- [9] Fudenberg D and Tirole J. Game Theory [M]. Cambridge: The MIT Press, 1991: 1-29.
- [10] Felegyhazi M and Hubaux J P. Game theory in wireless networks: A tutorial. <http://infoscience.epfl.ch/search.py?recid=79715>. 2007, 5.
- [11] Ali S H, Lee K D, and Leung V C M. Dynamic resource allocation in OFDMA wireless metropolitan area networks [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2007, 14(1): 6-13.
- [12] Huang C Y, Juan H H, and Lin M S, et al. Radio resource management of heterogeneous services in mobile WiMAX systems [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2007, 14(1): 20-26.
- [13] Nuaymi L. WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access [M]. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 2007: 163-170.

张明: 男, 1977年生, 博士生, 研究方向为无线通信网络的QoS.

王锁萍: 男, 1946年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为网络通信的理论和技术.

何涛: 男, 1972年生, 博士生, 研究方向为信息网络的QoS.