

# 基于 WiMAX 的实时业务带宽优化调度策略<sup>\*</sup>

祝 鹏 朱光喜 林宏志 史海滨

(华中科技大学武汉光电国家实验室 武汉 430074)

**摘 要** WiMAX 是一项无线城域网(WMAN)技术,支持实时与非实时等多种业务,SS 可以向 BS 动态申请所需求的带宽,由 IEEE 802.16 协议定义。但协议中没有具体定义实时服务 QoS 所需要的带宽调度策略。因此,如何高效地分配使用带宽,成为一个亟需解决的问题。本文提出一种自适应的实时轮询业务带宽分配策略,SS 依据当前带宽需求和以往的实际分配带宽,提前预测实时业务数据包所需求的确切带宽。文中给出了数学分析模型和仿真。仿真结果表明,与传统的带宽分配机制和其他自适应算法相比,该自适应的带宽分配算法能更好地改善系统性能,提高吞吐量,减少时延和减少缓冲区需求。

**关键词** WiMAX, 实时, 带宽调度, QoS, 自适应

## WiMAX Based Optimal Real-time Service Bandwidth Scheduling Strategy

ZHU Peng ZHU Guang-Xi LIN Hong-Zhi SHI Hai-Bin

(Wuhan Optical-Electronics National Laboratory, Huazhong Univ. of Sci. & Tech., Wuhan 430074)

**Abstract** WiMAX system, which was defined by the IEEE 802.16 standard, also called broadband wireless metropolitan area network, supports real time and non-real time services. It has not defined the packet-scheduling algorithms, which was need for the requirement of quality of service (QoS) supporting for real-time services. Generally, the service station (SS) requests for bandwidth from the base station (BS), The BS then allocates the bandwidth to SS according to priority-based request. In this paper we propose a novel bandwidth scheduling algorithm for real time polling services (rtPS), the SS estimates the arrival of rtPS packets prior to the arrival and requests the BS for bandwidth in advance, based on the SS's request and the indeed bandwidth request by past. The analytical model and simulation show that, this adaptive algorithm provides better results with respect to the number of packets waiting at SS and average delay as compared to the widely accepted weighted scheduling algorithm and other adaptive bandwidth request mechanism.

**Keywords** WiMAX, Real-time, Bandwidth scheduling, QoS, Self-adapting

## 1 引言

WiMAX 系统,即基于 IEEE 802.16 协议的无线宽带城域网技术,是针对微波和毫米波频段提出的一种新的空中接口标准。因其开放的标准和对不同业务的服务质量(QoS)支持,已经得到越来越广泛的应用。一个小区包含一个基站(BS)和多个用户站(SS),BS 与 SS 之间的通信是双向的,通过下行信道和上行信道来进行,下行信道为广播方式,上行信道以时分多址(TDMA)方式对所有 SS 共享,WiMAX 子帧包含一系列的时隙,BS 调度器决定了子帧的时长和时隙的个数<sup>[1]</sup>。

WiMAX 支持实时和非实时的所有业务类型。实时业务包括两种:为 T1/E1 类型的电信语音提供服务的主动授权业务(UGS)、为视频流和电讯会议和视频会议提供服务的实时轮询服务(rtPS);同样地,非实时业务也包括两种:为文件传输提供服务的非实时轮询业务(nrtPS)和为时延不敏感的电子邮件提供服务的尽力而为服务(BE)。QoS 还支持一些特殊和复杂的未来业务。但是,WiMAX 只提供了简单信号机制和 UGS 的 QoS 标准,没有定义 BS 端和 SS 端的呼叫接纳

控制和包调度机制。这几种业务中,以实时业务最重要,因为其承载实时的数据,对数据包的延迟非常敏感。为了得到更好的性能,实时业务需要性能更好的接纳控制和包调度机制<sup>[1,2]</sup>。

目前,已经有一些针对 WiMAX 系统的 QoS 的研究,重要的进展都是基于包调度策略的。GuoSong 等人提出针对上行和下行包的带宽分配调度和接纳控制策略<sup>[3]</sup>。Dong-Hoon 建议对 MAC 层进行修改,以提高服务的吞吐量,但是没有考虑延迟问题<sup>[4]</sup>。Kitti 等人提出多媒体应用中的包接收和 QoS 问题<sup>[5]</sup>。Howon 做了实时通信的吞吐量的评估,但是没有讨论时延问题<sup>[6]</sup>。Mukul 提出了一种带宽调度的自适应的请求机制,但是只考虑了过去的带宽分配情况,而没有考虑 SS 当前的带宽请求需求,所以难以达到最优效果<sup>[9]</sup>。在前人的基础上,本文提出一种新颖高效的自适应带宽分配策略,能够有效降低时延,减少队列缓冲区的大小,提高吞吐量。在我们提出的分析模型的基础上,进行了仿真实验,结果表明该方法在时延与队列缓冲大小、系统吞吐量上,优于目前的 WiMAX 系统。

本文结构安排如下,第 2 节介绍现有的实时 rtPS 业务带

<sup>\*</sup> 本课题是国家自然科学基金重大项目(No. 60496310)“未来移动通信系统基础理论与技术研究”课题的研究内容之一。祝 鹏 博士研究生,研究方向为宽带无线多媒体通信等;朱光喜 教授,博士生导师,研究方向为宽带无线多媒体通信、第四代移动通信等;林宏志 博士研究生,助教,研究方向为宽带无线多媒体通信等;史海滨 博士研究生,研究方向为宽带无线多媒体通信等。

宽请求机制和本文提出的自适应带宽请求机制,第3节给出数学分析模型和结论,第4节给出仿真结果,并进行讨论,最后进行总结并给出未来展望。

## 2 目前的实时调度策略

IEEE 802.16 系统中,SS 端的实时业务带宽调度模块向 BS 请求所需的时隙,以便进行数据传递。基站 BS 对 SS 的请求作出回应,提供可用的时隙给 SS。回应的时隙可能等于或者小于 SS 所请求的大小<sup>[1]</sup>,所请求的时隙的多少取决于系统缓冲队列中当前的所有待发数据量。一般来说,如果请求在时刻  $t_0$  发出,响应在时刻  $t_1$  得到回复,那么  $t_1 > t_0$ ,这就意味着这样的请求回应过程总是会存在一个时延。因为请求在  $t_0$  发出,BS 直到  $t_1$  时刻才为 SS 的实时业务分配带宽。然而,在  $t_0$  和  $t_1$  之间,新的数据又会到来,SS 又必须请求新的带宽来发送数据。如此,时延就不可避免。而实时业务对时延又非常敏感,因此本文根据实时业务数据流的特点,提出了一种自适应的带宽请求机制。

SS 端向 BS 请求时隙,是一个自适应的过程。SS 不仅依据当前缓冲队列中的数据多少,还要考虑在  $t_0$  和  $t_1$  之间到达的数据。因为数据是随机到达,所以需要有一个随机预测模型来预测到达的数据。这里,我们使用“Differential time grant”方法<sup>[9]</sup>,来估计数据的平均到达速率和时间间隔,以便估计该段时间之内到达的数据。

## 3 自适应调度算法分析

这里给出自适应带宽分配机制的分析模型。首先,我们使用文[9]的方法来估计 SS 端的累积数据流和数据到达速率。

$A(t)$  表示到达实时业务调度的累积数据量。实时业务队列的发送是一个随机的“ON-OFF”过程,“OFF”时间段为  $(t_0, t_1), (t_2, t_3), (t_4, t_5), \dots, (t_{2n-2}, t_{2n-1})$ , 记为  $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ 。同样,“ON”时间段为  $(t_1, t_2), (t_3, t_4), (t_5, t_6), \dots, (t_{2n-1}, t_{2n})$ , 记为  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 。数据到达速率假设为 1Mbps,最大数据包大小假设为 200 字节。系统为因果系统,起始时间为  $t_0$ ,有  $A(t_0-) = D(t_0-) = C(t_0-) = 0$ 。使用网络微分模型<sup>[8,10]</sup>和 Mukul 的公式<sup>[9]</sup>,可以得到“ON”时间段的估计:

$$X(t) = \sup(F(t) - F(s) - C(t-s)) \quad s \in (t_{2n-1}, t_{2n}) \quad (1)$$

$$D(t) = \inf(F(s) - C(t-s)) \quad s \in (t_{2n-1}, t_{2n}) \quad (2)$$

式中,  $X(t)$  表示 SS 的实时业务调度中的队列长度,  $D(t)$  表示从实时队列发出的累积数据。  $C$  表示最大传输速率。  $F(t)$  定义如下:

$$F(t) = A(t) - D(\max(P_{n-1})) \quad (3)$$

定义了最后一次“ON”时间段内流出 SS 的实时队列的数据。

“OFF”时间段内,估计如下:

$$X(t) = F(t) \quad (4)$$

$$D(t) = D(\max(P_{n-1})) \quad (5)$$

这里,我们先来定义一个估计预测函数,采用 LAGRANGE 插值函数来对时间长度和数据到达率进行预测。 $n$  阶拉格朗日插值函数如下:

$$E(t) = \sum_{i=0}^n E_i l_i(t) \quad (7)$$

其中

$$l_i(t) = \frac{(t-t_0)(t-t_1)\dots(t-t_{i-1})(t-t_{i+1})\dots(t-t_n)}{(t_i-t_0)(t_i-t_1)\dots(t_i-t_{i-1})(t_i-t_{i+1})\dots(t_i-t_n)} \quad (8)$$

因为插值函数存在龙格(Runge)现象, $n$  值不能取太大。因此,为兼顾预测准确性和复杂度,我们取  $n=2$ 。这时,插值预测函数如下:

$$E(t) = \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_0-t_1)(t_0-t_2)} E_0 + \frac{(t-t_0)(t-t_2)}{(t_1-t_0)(t_1-t_2)} E_1 + \frac{(t-t_0)(t-t_1)}{(t_2-t_0)(t_2-t_1)} E_2 \quad (9)$$

下面以此预测函数来进行以下数据的预测。

### A) 延迟时间长度预测

设带宽请求发出的时刻为  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_x$ 。带宽请求得到回应的时刻为  $\beta = t_{i-1} - \alpha_i$ ,  $\beta$  估计值取决于之前的请求得到回应的实际时间  $\beta_{i-1}, \beta_{i-2}, \beta_{i-3}, \dots, \beta_{i-x}$ , 估计值表示为  $\beta^i$ , 将  $E_0 = \beta_{i-1}, E_1 = \beta_{i-2}, E_2 = \beta_{i-3}$  代入(9)式,可得  $\beta$  的估计值  $\beta^i$ 。

### B) 数据到达速率预测

同样,数据到达速率  $v_i$  可以由下式给出:

$$v_i = \frac{A(t_{i+1}) - A(\alpha_i)}{\beta} \quad (10)$$

将  $E_0 = v_{i-1}, E_1 = v_{i-2}, E_2 = v_{i-3}$  代入公式(9),可以得到速度  $v_i$  的估计值  $v_i^i$ 。

### C) 自适应时隙计算

计算时隙公式如下:

$$x_a = \alpha_i \cdot \frac{X(\alpha_i) + v_i^i \cdot \beta^i}{C} + (1 - \alpha_i) x_n \quad 0 \leq \alpha_i \leq 1 \quad (11)$$

$x_n$  为 SS 根据缓冲队列大小向 BS 发送带宽请求的时隙数;  $\alpha_i$  为平滑参数,表示过去时间里实际分配带宽在预测中所占的比例。显然,  $\alpha_i$  应该在  $(0, 1)$  内取值,初始的  $\alpha_i$  设为 0.5。

这里,我们定义一个评估函数来评估预测函数:

$$e_i = \begin{cases} \left| \frac{x_i - x_n}{x_i - x_{a_i}} \right|, & x_{a_i} \neq x_i \\ 1, & x_{a_i} = x_i \end{cases} \quad (12)$$

式中,  $x_i$  表示该次实际分配的时隙数。如果  $e_i > 1$ ,则表示  $x_i$  更接近估计值  $x_{a_i}$ ; 如果  $e_i < 1$ ,则表示  $x_i$  更接近当前请求值  $x_n$ 。因此,我们定义一个修正变量  $s$ ,来修正  $\alpha_i$  的大小。这里,定义  $s=0.05$ ,  $\alpha_i$  的修正公式如下:

$$\alpha_i = \begin{cases} \min[\alpha_{i-1} + s, 1] & e_i > 1 \\ \alpha_{i-1} & e_i = 1 \\ \max[\alpha_{i-1} - s, 0] & e_i < 1 \end{cases} \quad (13)$$

然后,在下次带宽请求时重复上述预测过程。经过一段时间的自适应调整,即可达到最优的自适应带宽调度性能。

## 4 仿真结果与讨论

经过仿真,我们通过累积到达数据  $A(t)$ 、累积发送数据  $D(t)$  和时隙请求数做出请求带宽估计。仿真中,取实时业务队列的数据平均到达速率为 1Mbps,发送速率取  $C=2$ Mbps,平均包大小假设为 200 字节,对 2000 个数据包进行仿真。

图 1 中,纵轴是从 SS 发送出去的数据,横轴是时间,分别是传统策略(Weighted Data Flow)和 Mukul 的自适应策略与本文提出的自适应策略曲线。可以看出,在相同的数据包到达情况下,本文提出的自适应方案发送所有数据时所需的时间更短。也就是说,该方案在时延方面为实时业务提供了更

好的 QoS 保障。这是因为,传统的方案只考虑了缓冲队列中的数据长度;Mukul 的自适应方案只考虑了过去的带宽分配情况,而没有考虑到缓冲队列中的数据长度;本文的自适应方案不但考虑过去的带宽分配情况,同时也考虑了当前系统实时业务的缓冲队列中的数据长度,以此来估计发出带宽请求得到请求回应之间所需的实际带宽,因此可以使更多的数据在相同的时间内发送出去,增加系统吞吐量。

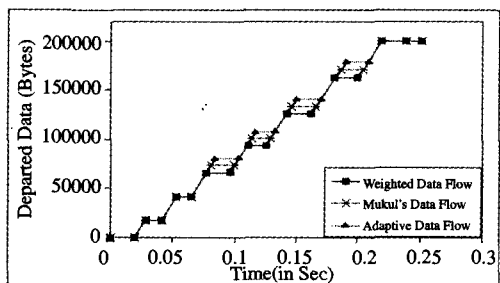


图 1 数据量吞吐量

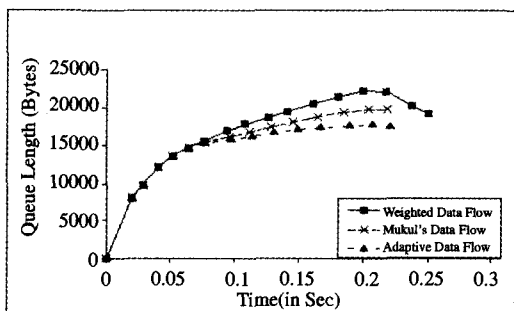


图 2 平均队列长度

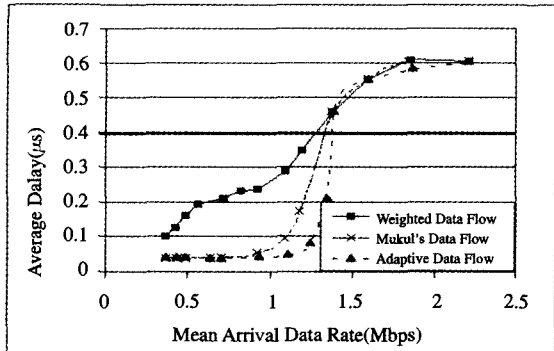


图 3 数据包延迟

图 2 是系统中的实时业务队列的平均长度。可以看出,本

文提出的自适应方案比传统方案和 Mukul 的自适应方案需要的队列长度要小。这是因为如上所述,本文自适应方案中数据可以更快地发送出去。也可以看出,同样的数据进入系统时,数据在传统方案和 Mukul 方案的系统中停留的时间更长,而且因为队列长度小,自适应方案需要的缓冲大小也更小。

图 3 显示的是三种方案下的平均时延。平均数据到达速率在 0.5Mbps 到 2Mbps 之间,因为数据到达速率比数据发送速率小,本文的自适应方案与其他两种方案相比拥有更小的时延。当速率为 1 Mbps 时,时延比传统方案减少了 70%。当数据到达速率接近最大时达到饱和时,三种方案的时延相差无几。

**结束语** 本文提出了一种 WiMAX 无线城域网系统中的实时业务自适应带宽调度方案,此方案根据当前系统中队列缓冲的数据量与以往 BS 分配的带宽信息,预测在发送请求和应答请求之间所到达的实际数据量,从而有效减少实时业务时延,并提高了系统吞吐量,减少了系统队列长度需求。今后的研究将集中在支持多会话的实时业务与多业务带宽优化等方面。

### 参考文献

- 1 Draft of WiMAX Standard. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. IEEE 802.16 forum
- 2 Eklund C, Markas R B, Stanwood K L. IEEE Standard 802.16: A technical overview of the wireless MAN Air Interface for Broadband Wireless Access. IEEE Communications Magazine, June 2002. 98~107
- 3 Chu GuoSong, Wang Deng, Mei Shunliang. A QoS architecture for the MAC protocol of IEEE 802.16 BWA system. Communications, Circuits and Systems and West Sino Expositions, IEEE 2002. 435~439
- 4 Cho Dong-Hoon, Song Jung-Hoon, Kim Min-Su, et al. Performance analysis of the IEEE 802.16 wireless Metropolitan Area Network. In: Proceedings of the first International Conference on Distributed Frameworks for Multimedia Applications, IEEE Computer Society, 2005
- 5 Wongthavarawat K, Ganz A. IEEE 802.16 based last mile wireless military networks with quality of service support. 2003. 779~784
- 6 Lee Howon, Kwon Taesoo, Cho Dong-Ho. An efficient uplink scheduling algorithm for VoIP Services in IEEE 802.16 BWA Systems. IEEE, 2004. 3070~3074
- 7 Kumar A, Manjunath D, Kury J. Communication Networking: An analytical approach. 1st Edition. Elsevier, 2004
- 8 Le Boudec J Y, Thiran P. A theory of deterministic queuing systems for the Internet. Open book, May 2004
- 9 Mukul R, Singh P, Jayaram D. An adaptive bandwidth request mechanism for QoS enhancement in WiMAX real time communication. In: IEEE Wireless and Optical Communications Networks International Conference, April 2006
- 10 罗军,袁满,胡建平,等.下一代网络自适 QoS 研究. 计算机科学, 2003(4)

(上接第 87 页)

Windows 环境下 SSH 协议的初始设置流程如图 2 所示。

完成后在 Windows 环境下实现了基于 SSH 协议的安全通信,可以把命令、配置等以简捷的界面给用户的安全通信。在实践中也证明,Windows 环境下实现了 SSH 协议,既保证了网络的安全性,又实现了操作的简便性,达到了安全的目的。

**结束语** 根据当前网络技术推广和发展过程中遇到的安全问题,本文有针对性地选择应用层网络安全协议 SSH 作为研究对象,通过分析 SSH 协议的三个层次及其扩展协议,指出了协议本身和各种实现版本中存在的主要问题,并提出了嵌入了质询-响应认证方式,来弥补协议中的漏洞。在 Windows 环境下实现 SSH 协议,以增强 Windows 系统的安全性。

### 参考文献

- 1 圣安妮. 卡利斯科著. SSH: UNIX Secure Shell 工具. 张蓬, 匡巍, 张建杰, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2004
- 2 戴关侠, 连一峰, 正航. 系统安全与入侵检测. 北京: 清华大学出版社, 2004
- 3 李俊照, 王浩, 徐栋哲. 基于 SSH 协议的集群构建与性能测试 [J]. 计算机工程与应用, 2005
- 4 丁晓峰, 李周贤, 刘炳华, 顾巍, 吴楠宁. 在 SSH 协议下的入侵检测 [J]. 现代图书情报技术, 2005
- 5 赵秀文, 罗平, 陈强, 张宁. 基于 SSH 和 LDAP 的分布式安全文件系统 [J]. 计算机应用研究, 2005