

IEEE 802.16 中改进的 VoIP 服务调度算法设计

徐文静, 张春业, 曹永绍

XU Wen-jing, ZHANG Chun-ye, CAO Yong-shao

山东大学 信息科学与工程学院, 济南 250100

School of Information Science and Engineering, Shandong University, Ji'nan 250100, China

E-mail: xuwenjing@mail.sdu.edu.cn

XU Wen-jing, ZHANG Chun-ye, CAO Yong-shao. Enhanced scheduling algorithm design for VoIP services in IEEE 802.16 systems. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(6): 139-141.

Abstract: In this paper, an enhanced uplink scheduling algorithm for VoIP services in IEEE 802.16 systems is proposed. It is an algorithm based on voice activity detect and the BS assigns uplink resources to the SSs considering voice state transitions of the SSs. This algorithm can solve the problems caused by the conventional algorithms, such as waste of uplink resource, MAC overhead and additional access delay. In this paper, the author analyzes and simulates the system throughput and the access delay of conventional algorithm and the proposed algorithm respectively, and show that the proposed algorithm is superior in view of throughput and system capacity.

Key words: 802.16; VoIP; throughput; access delay; system capacity

摘要: 提出了一种应用于 IEEE 802.16 系统的改进的 VoIP 服务上行链路调度算法, 此算法是一种基于语音活动检测的调度算法, BS 根据 SS 的语音状态转换来分配上行链路资源。它可以弥补传统的调度算法中的一些不足, 例如对上行链路资源的浪费、增大 MAC 负载和引入附加的接入时延等。就系统的吞吐量和接入时延两方面分别对传统的算法和提出的算法作了具体地分析和仿真, 结果表明, 提出的算法在吞吐量和系统容量方面具有更优的性能。

关键词: 802.16; VoIP; 吞吐量; 接入时延; 系统容量

文章编号: 1002-8331(2008)06-0139-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

IEEE 802.16 标准^[1]又称为宽带无线城域网空中接口标准, 是适用于 2 GHz~66 GHz 频段的空中接口规范, 它可以实现为不同类别的服务提供 QoS 支持, 其中 VoIP (Voice over IP) 就是比较典型的一种实时服务。然而, 传统的 VoIP 服务调度算法存在着一些不足, 例如对上行链路资源的浪费、增大 MAC 负载 (MAC overhead) 以及引入附加的接入时延 (access delay) 等, 为此本文提出了一种应用于 IEEE 802.16 系统的改进的 VoIP 服务调度算法, 在克服传统算法的缺点的同时, 优化了系统的性能。

第 1 章构建了系统的模型, 第 2 章对传统算法和提出的算法的原理做了具体的介绍, 第 3 章分别计算了三种算法的吞吐量和接入时延, 第 4 章给出了仿真结果, 最后对本文的研究重点和取得的成果作了简单的概括。

1 系统模型

任何一个语音流可以用一个指数分布的 on-off 模型^[2]来表示, 其中处于 on 状态的平均时间 $T_{on}=1/\lambda$, 处于 off 状态的平均时间 $T_{off}=1/\mu$, 如图 1 所示, 其中 λ 和 μ 均为指数分布的参数。基于这种语音流模型, 可以考虑把一个独立语音用户数为 N

的系统用一维的马尔可夫链来近似模拟, 如图 2^[3]所示, 其中状态数字代表处于 on 状态的语音用户个数, 因此处于 on 状态的用户数为 n 的概率

$$P_N(n) = \binom{N}{n} \left(\frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \right)^n \left(\frac{T_{off}}{T_{on}+T_{off}} \right)^{N-n} \quad (1)$$

系统中处于 on 状态的语音用户的平均个数

$$\bar{N} = \sum_{n=1}^N n \times \binom{N}{n} \left(\frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \right)^n \left(\frac{T_{off}}{T_{on}+T_{off}} \right)^{N-n} \quad (2)$$

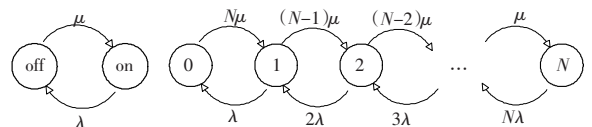


图 1 语音流模型

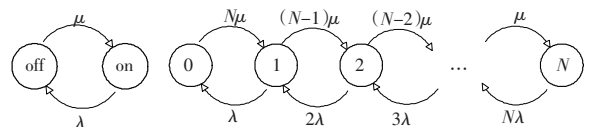


图 2 系统模型

2 IEEE 802.16 系统中 VoIP 服务传统算法^[4]和改进后的算法

IEEE 802.16 系统支持 4 种上行链路调度服务, 分别为主动授予服务 UGS (Unsolicited Grant Service)、实时查询服务 rtPS (real-time Polling Service)、非实时查询服务 nrtPS (non-real-

作者简介: 徐文静 (1983-), 女, 硕士研究生, 研究领域为 IEEE 802.16 系统的 QoS 机制; 张春业 (1951-), 男, 硕士, 副教授, 研究领域为微波通信、WLAN 中的关键技术等; 曹永绍 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究领域为 IEEE 802.16 系统的移动性问题。

收稿日期: 2007-06-16 **修回日期:** 2007-08-27

time Polling Service)和尽力而为服务 BE(Best Effort service)。其中 nrtPS 和 BE 主要面向非实时的服务流,如高带宽的 FTP 业务和 Internet 网页浏览服务等,由于本论文研究的焦点为实时的 VoIP 服务,因此在此不考虑上述两种服务的调度算法。

2.1 UGS 算法

UGS 算法主要针对周期性定长分组的实时服务流来设计,BS 实时、周期性的向携带该业务的 SS 提供固定带宽授予,如图 3 所示。授予的固定带宽足够用来传输语音数据分组,而且授予周期和授予带宽值在语音会话的初始化过程就已经商定,因此这种算法可以最小化 MAC 负载和上行链路接入时延。然而,由于语音流模型存在 off 状态,如图 1,也就是说语音用户并不总是有语音数据分组需要发送,而在 UGS 算法中,BS 总是分配给 SS 固定的带宽,这就导致了上行链路资源的一种浪费,从而造成了系统对 VoIP 服务用户容量的减小。

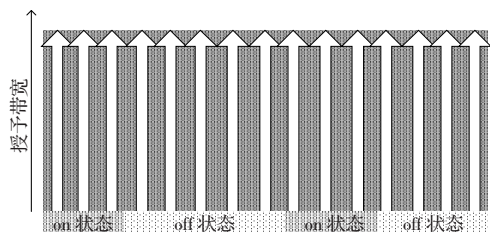


图3 VoIP 服务的 UGS 算法

2.2 rtPS 算法

rtPS 算法是为了支持周期性变长分组的实时服务流而设计的,BS 分配给 SS 足够用来发送带宽请求的上行链路资源,如图 4 所示。BS 周期性的对 SS 进行单播轮询,即 BS 为 SS 分配一定的带宽,使其能够发送带宽请求消息,受到轮询的业务连接向 BS 说明需要传送的比特数来实现可变速率数据分组的传输。由于 rtPS 算法总是通过带宽请求过程来提供适合的带宽分配,因此它比 UGS 算法具有更高的带宽资源利用率,但是与此同时,带宽请求过程也导致了 MAC 负载和接入时延的增大。

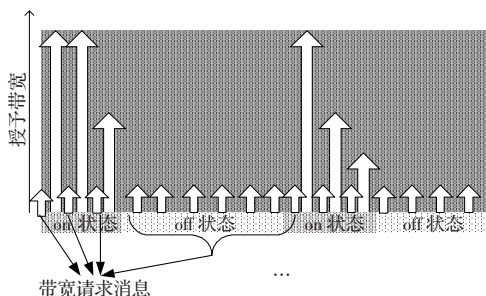


图4 VoIP 服务的 rtPS 算法

在 rtPS 算法中,SS 可以使用 PiggyBack 的方式来请求带宽,PiggyBack 方式适用于 SS 已经得到了一定的带宽分配,通过在发送的数据包添加一个授予管理子首部域(Grant Management Subheader),进一步请求带宽的情况。这种方式不利于从宏观上协调 SS 之间的带宽分配,也不利于延时敏感的实时的 VoIP 服务的进行,因此在本文中不考虑这种方式。

2.3 提出的算法

在传输 VoIP 服务时,采用 UGS 算法将会造成上行链路资源的浪费,而 rtPS 算法则会增加 MAC 负载和接入时延,为了克服这两种算法的缺点,这里提出了一种新的应用于 IEEE

802.16 系统的 VoIP 服务上行链路调度算法。

提出的算法是一种基于语音活动检测的 VoIP 服务调度算法,BS 根据 SS 的语音状态转换来分配上行链路资源。当使用带语音活动检测器 VAD(Voice Activity Detector)或者静音检测器 SD(Silence Detector)的语音编码器时,SS 就会检测出语音流是处于 on 状态还是 off 状态,在本算法中,SS 需要将这种语音状态的转换告知 BS,因此需要设计一种机制来实现此功能。

IEEE 802.16 系统传统的 MAC 通用报头中为实现其它附加功能预留了 2 个比特,在此算法中利用其中的 1 个比特将语音状态的转换告知 BS,把它命名为状态比特 ST,当 SS 的语音流处于 on 状态时,SS 把 ST 比特设为“1”,反之,当 SS 的语音流处于 off 状态时,SS 把 ST 比特设为“0”。由于使用了传统的 MAC 通用报头,SS 可以在不增加 MAC 负载的情况下有效地告知 BS 语音流的状态信息。当 SS 有分组需要传送到 BS 时,MAC PDU 就会带有一个 MAC 通用报头,而带宽请求 MAC PDU 没有净荷部分,只包含带宽请求报头,它可以单独传输来获取上行链路资源。

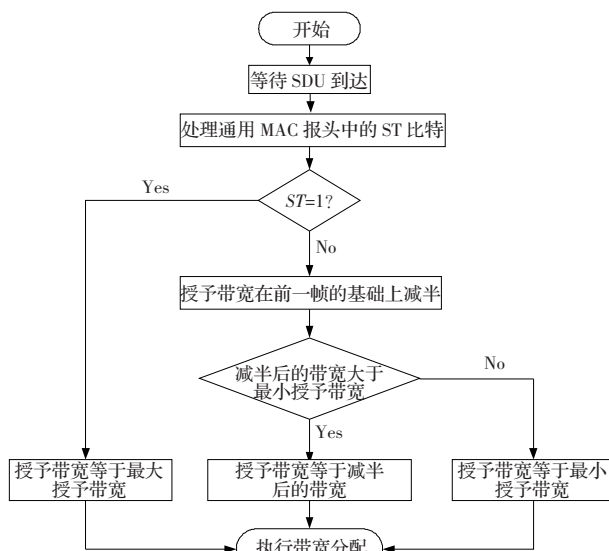


图5 BS 中的算法流程

BS 中的算法流程如图 5 所示,它通过不断监测 ST 比特来控制发送给 SS 的带宽大小,过程如下:

(1)当 ST 比特由“1”变为“0”时:BS 把分配给 SS 的带宽资源不断减半,直到达到可以足够用来传输语音状态转换信息给 BS 的最小带宽值,此最小值通常等于带宽请求报头的长度。

(2)当 ST 比特由“0”变为“1”时:BS 把分配给 SS 的带宽资源增加到足够用来传送语音数据分组的最大值,如图 6 所示。在 IEEE 802.16 系统中,此最大值通常等于 UGS 算法中的授予带宽尺度。

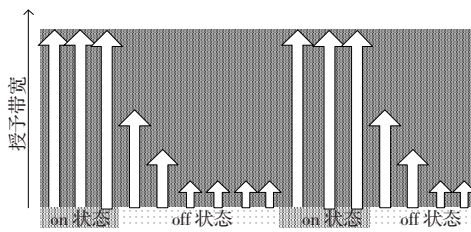


图6 提出的算法

3 算法的性能分析

上面主要对应用于 IEEE 802.16 系统中 VoIP 服务的传统算法和改进后的算法做了介绍,接下来将对这三种算法的性能从吞吐量和接入时延两个方面分别作定量的推导和分析。

3.1 仿真环境及参数设置

假设系统物理层规范为 WirelessMAN-OFDMA,定义 1 个资源单元为时域上的 6 个 OFDM 符号和频域上的 1 个 OFDM 子信道,1 个 OFDM 子信道又包含 16 个 OFDM 子载波,在 QPSK 和 1/3 编码的突发脉冲格式下,1 个资源单元(R_{ru})为 8 个字节,传输一个语音数据分组 SS 需要使用 4 个资源单元(R_{rp}),总的上行链路容量(R_c)为 40 个资源单元,其它参数如表 1 所示。其中 T_{ec} 为语音编码器的帧间隔, T_{mf} 为 MAC 帧间隔, L_{vc} 为每个语音编码帧的信息比特长度, L_{hs} 为压缩后的 RTP/UDP/IP 首部长度的。

表 1 系统参数

T_{on}	400 ms	T_{mf}	5 ms	R_c	320 Byte
T_{off}	600 ms	T_{ec}	22 Byte	R_{ru}	8 Byte
T_{ec}	20 ms	L_{vc}	2 Byte	R_{rp}	32 Byte

3.2 三种算法的吞吐量分析

用 n 来表示语音用户的个数,在 UGS 算法中,假设 N_{UGS} 表示平均语音用户数,一个 MAC 帧间隔内可以被服务的最大用户个数为 N_{M-UGS} ,可得:

$$N_{M-UGS} = \frac{R_c \times T_{mf}}{R_{rp} \times T_{mf}}$$

由式(2)得:

$$N_{UGS} = \sum_{n=1}^{N_{M-UGS}} n \times \binom{N_{M-UGS}}{n} \left(\frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \right)^n \left(\frac{T_{on}}{T_{on} \times T_{off}} \right)^{N_{M-UGS} - n}$$

UGS 算法中系统的平均吞吐量为:

$$S_{UGS} = \frac{1}{T_{ec}} \times (L_{vc} + L_{hs}) \times N_{UGS}$$

在 rPS 算法中, N_{rPS} 表示平均语音用户数,在一个 MAC 帧间隔内可以被服务的最大用户个数为 N_{M-rPS} ,可得:

$$N_{M-rPS} \approx N_{M-UGS} \times \frac{T_{mf}}{T_{mf}} \times \frac{T_{on} + T_{off}}{(R_{rp} + R_{ru}) \times T_{on} + R_{ru} \times T_{off}}$$

由(2)式得:

$$N_{rPS} = \sum_{n=1}^{N_{M-rPS}} n \times \binom{N_{M-rPS}}{n} \left(\frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \right)^n \left(\frac{T_{on}}{T_{on} \times T_{off}} \right)^{N_{M-rPS} - n}$$

rPS 算法中系统的平均吞吐量为:

$$S_{rPS} = \frac{1}{T_{ec}} \times (L_{vc} + L_{hs}) \times N_{rPS}$$

在提出的算法中, N_{PRD} 表示平均语音用户数,在一个 MAC 帧间隔内可以被服务的最大用户个数为 N_{M-PRD} ,可得:

$$N_{M-PRD} \approx N_{M-UGS} \times \frac{T_{mf}}{T_{mf}} \times \frac{T_{on} + T_{off}}{R_{rp} \times R_{on} + R_{hs} \times T_{off}}$$

由式(2)得:

$$N_{PRD} = \sum_{n=1}^{N_{M-PRD}} n \times \binom{N_{M-PRD}}{n} \left(\frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \right)^n \left(\frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \right)^{N_{M-PRD} - n}$$

rPS 算法中系统的平均吞吐量为:

$$S_{PRD} = \frac{1}{T_{ec}} \times (L_{vc} + L_{hs}) \times N_{PRD}$$

3.3 三种算法的时延分析

UGS 算法中,BS 总是分配固定的带宽给 SS,这个带宽值

在语音会话的初始化过程中就已被商定,因此 SS 总是可以把它的语音数据分组发送给 BS,因此这种算法的接入时延就等于 MAC 帧间隔。而在 rPS 算法中,由于 SS 总要通过带宽请求报头来请求带宽,因此这种算法比 UGS 算法增加了至少一个 MAC 帧间隔的接入时延。下面来分析提出的算法的接入时延。

在提出的算法中,由于 $N_{M-PRD} > N_{M-UGS}$,假设此算法语音用户的个数为 n ,其中 $n \leq N_{M-PRD}$,那么如果 $n > N_{M-UGS}$,就会有 $n - N_{M-UGS}$ 的用户有比在 UGS 算法中更大的接入时延,而 $n > N_{M-UGS}$ 的概率为:

$$P_{PRD}(n > N_{M-UGS}) = \sum_{n=N_{M-UGS}+1}^{N_{M-PRD}} \binom{N_{M-PRD}}{n} \left(\frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \right)^n \left(\frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \right)^{N_{M-PRD} - n}$$

$n \leq N_{M-UGS}$ 的概率为:

$$P_{PRD}(n \leq N_{M-UGS}) = 1 - P_{PRD}(n > N_{M-UGS})$$

因此可得所提出的算法的平均接入时延 T_{PRD} 为:

$$T_{PRD} = T_{UGS} \times P_{PRD}(n \leq N_{M-UGS}) + 2T_{UGS} \times P_{PRD}(n > N_{M-UGS}) \times P_{PRD}(n \leq N_{M-UGS}) + 3T_{UGS} \times P_{PRD}(n > N_{M-UGS})^2 \times P_{PRD}(n \leq N_{M-UGS}) + \dots$$

$$\dots = T_{UGS} \times P_{PRD}(n \leq N_{M-UGS}) \times \sum_{n=1}^{\infty} n \times P_{PRD}(n > N_{M-UGS})^{n-1} =$$

$$T_{UGS} \times P_{PRD}(n \leq N_{M-UGS}) \times \frac{1}{[1 - P_{PRD}(n > N_{M-UGS})]^2} =$$

$$T_{UGS} \times \frac{1}{1 - P_{PRD}(n > N_{M-UGS})^2} \approx \frac{T_{UGS}}{0.9991} \approx T_{UGS}$$

由上面推导可知,提出的算法的接入时延与 UGS 算法的近似相等,也就是说提出算法在提高吞吐量的同时,并不会对 IEEE 802.16 系统中的 VoIP 服务满足时延要求方面带来问题。

4 仿真结果

仍旧使用上面定义的仿真环境,系统参数如表 1 所示。仿真结果如图 7、图 8 所示。

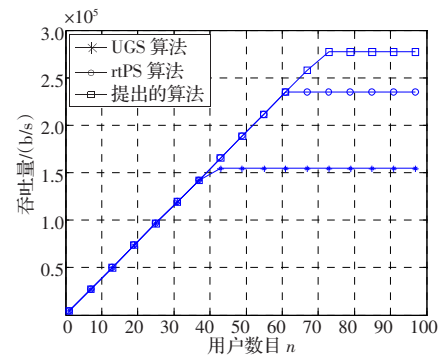


图 7 三种算法的吞吐量

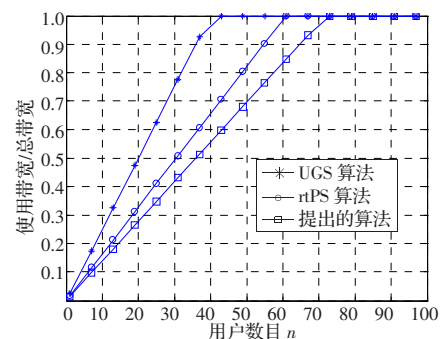


图 8 三种算法的带宽资源占用比例

从仿真结果可以看出,在 IEEE 802.16 系统中,提出的算

(下转 190 页)