

文章编号:1001-9081(2007)06-1310-04

## IEEE802.16e 的实时上行链路调度服务优化算法

董国军,戴居丰

(天津大学 电子信息工程学院,天津 300072)

(zjrobindong@163.com)

**摘要:**深入分析了 IEEE802.16e 建议的三种实时调度服务算法:UGS、rtPS、ertPS,并在此基础上提出了一种优化的实时调度服务算法:irtPS。该优化的调度服务算法在保证变化数据率实时上行链路的延时性能基础上,最大限度地提高了实时上行链路的资源利用率。数学建模分析结果显示,在保证延时性能的前提下,该优化的调度服务算法的系统容量较 IEEE802.16e 建议算法的系统容量有显著增加。

**关键词:**IEEE802.16e;数据服务;调度服务

**中图分类号:**TP393.03 **文献标识码:**A

## Improved scheduling algorithm for real-time uplink services in IEEE802.16e

DONG Guo-jun, DAI Ju-feng

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** In IEEE802.16e, Scheduling services represent the data handling mechanisms supported by the MAC scheduler for data transport on a connection. Each connection is associated with a single scheduling service. A scheduling service is determined by a set of QoS parameters that quantify its behaviors. Taking three types of scheduling services into consideration, UGS (Unsolicited Granted Scheduling), rtPS (real-time Polling Scheduling) and ertPS (extended real-time Polling Scheduling), this paper proposed a real-time uplink scheduling service algorithm irtPS (improved real-time Polling Scheduling). The proposed algorithm maximized the usage of uplink access resource and guaranteed data rate and delay requirement. Mathematical modeling and analysis results show that the throughput performance of the proposed algorithm is better than the algorithms in IEEE802.16e on the precondition of guaranteed delay performance.

**Key words:** IEEE802.16e; data service; scheduling service

### 0 引言

IEEE802.16e 是一种固定和移动宽带无线城域网接入技术,可以作为城市和郊区通信网最后一公里接入的最佳替代方案,较有线连接方式更加经济和可靠。因为拥有无线接入、高数据率、QoS 机制等优点,IEEE802.16e 在家庭、学校、政府和企业等单位的 Internet 接入方面极具潜在优势。而作为 QoS 机制的重要组成部分,MAC 层数据服务的调度算法已成为 IEEE802.16e 的重要工作单元,有待进一步完善和优化。

调度服务是指在 MAC 层管理数据服务的调度机制。每一个数据服务对应一个调度服务,并由保证数据服务的 QoS 参数决定调度服务的算法类型。IEEE802.16e 建议了三种实时上行链路调度服务算法,包括 UGS (Unsolicited Granted Scheduling)、rtPS (real-time Polling Scheduling)、ertPS (extended real-time Polling Scheduling)。但是 IEEE802.16e 并没有建议完整的调度算法用于变化数据率的实时上行链路服务,如具备静默压缩功能的 VoIP、MPEG (Moving Pictures Experts Group) 视频等等。

调度服务算法 UGS 用于支持实时传输服务,此时移动终端 (MS) 被周期性地分配固定长度的数据传输机会。对于变化数据率的实时上行链路服务来说,该调度算法必然造成传

上行链路资源的浪费。调度服务算法 rtPS 也用于支持实时传输服务,此时移动终端被周期性地分配带宽请求传输机会,移动终端利用该机会发送下一个数据传输机会的长度要求。该调度算法具有较高的上行链路资源利用率,但也导致了过多 MAC 层开销和接入延时。调度服务算法 ertPS 也用于支持实时传输服务,并基于调度服务算法 UGS 和 rtPS 的效率均衡,此时移动终端被周期性地分配带宽请求传输机会或者数据传输机会,由移动终端选择传输机会的类型。该调度算法用于变化数据率的实时上行链路服务时,其上行链路资源利用率与调度算法 rtPS 几乎没有差别,按调度服务算法 ertPS 发送带宽请求,也将带来过多的 MAC 层开销和接入延时。但是,如果分析带宽请求的长度连续变化或者渐进变化对上行链路资源利用率的影响,则可以通过适当降低单次数据传输机会的资源利用率,以减少使用带宽请求传输机会的次数,从而提高上行链路整体资源的利用率。所以,在保证延时性能的前提下,有必要对调度服务算法 ertPS 进行改进,最大限度地提高实时上行链路的资源利用率。

迄今为止,文献[3]~文献[6]研究了 IEEE802.16e 上行链路调度服务算法。文献[3]、[4]建议了自适应队列识别上行链路带宽分配和传输率控制机制,分析了在调度服务算法 UGS 存在状态下的调度服务算法 BE (Best Effort) 的性能。

收稿日期:2006-12-15;修订日期:2007-02-09

作者简介:董国军(1979-),男,浙江绍兴人,博士研究生,主要研究方向:WiMax、Bluetooth、家庭无线网络;戴居丰(1944-),男,湖北人,教授,博士生导师,主要研究方向:无线通信网、光纤通信网、家庭无线网络。

文献[5]基于 IEEE802.16e 的呼叫接入控制(CAC)建模了 Taken-Bucket 上行链路调度算法,分析了调度服务算法 rtPS 的延时特性。文献[6]、[7]建议修改的调度服务算法 UGS 用于 VoIP 实时调度服务,并采用静默检测编码。但上述研究均没有涉及在保证延时性能的前提下,如何最大限度地提高变化数据率的实时上行链路资源利用率。本文深入分析了 IEEE802.16e 建议的三种实时调度服务算法:UGS、rtPS、ertPS,并在此基础上提出了一种优化的实时调度服务算法 irtPS。数学建模和分析结果显示,在保证延时性能的前提下,该优化的调度服务算法的系统容量较 IEEE802.16e 建议的算法有显著增加。

## 1 IEEE802.16e 建议的实时调度服务算法

在 IEEE802.16e 中,由基站(BS)负责其覆盖范围内移动终端的上行链路调度,基于有效的调度服务算法保证为每一个移动终端提供上行数据传输机会或带宽请求的机会。

### 1.1 调度服务算法 UGS

UGS 能够保证数据传输率和延时性能,支持实时上行链路服务,工作流程如图 1(a)所示。基站和移动终端先通过 MAC 层管理消息 DSA\_REG、DSA\_RSP 初始化 UGS 的调度服务参数,该参数定义能完全满足移动终端的实时上行链路服务质量。此后,基站周期性地分配移动终端固定长度的数据传输机会,移动终端一旦成功接收到该分配信息,则按信息指示直接发送数据。

对数据率稳定的实时上行链路服务而言,UGS 能最小化 MAC 层开销和延时。而对于变化数据率的实时上行链路服务而言,该静态资源分配方案必将造成传输资源的大量浪费。在这样一个发展为越来越以 IP 传输为基础的通信网络中,UGS 显然不能适应大多数数据服务的调度要求。

### 1.2 调度服务算法 rtPS

rtPS 用于支持数据率随机变化的实时上行链路调度,工作流程如图 1(b)所示。基站和移动终端先通过 MAC 层管理消息 DSA\_REG、DSA\_RSP 初始化 rtPS 的调度服务参数。此后,为了保证实时上行链路服务质量,基站周期性地分配移动终端带宽请求传输机会;移动终端一旦成功接收到该分配信息,则按信息指示发送带宽请求,带宽请求的长度为移动终端下一个数据发送机会计划发送的数据量;基站接收到该带宽请求后,再分配相应数量的数据传输机会;移动终端接收到数据传输机会信息后,则按信息指示发送数据。

由于 rtPS 在每一次数据传输前都需要进行参数协商,较 UGS 需要更多的 MAC 层开销和更大的延时。对于变化数据率的实时上行链路服务而言,rtPS 较 UGS 改善了上行链路资源利用率。如果数据传输率连续变化,则 rtPS 较 UGS 优越。但是如果数据传输率在多个数据传输周期内保持不变,即数据传输率渐进式变化,rtPS 的多个带宽请求完全相同,造成过多的 MAC 层开销,降低了上行链路资源利用率。

### 1.3 调度服务算法 ertPS

基于 UGS 和 rtPS 的效率均衡,ertPS 也用于数据率随机变化的实时上行链路调度服务,工作流程如图 1(c)所示。基站和移动终端先通过 MAC 层管理消息 DSA\_REG、DSA\_RSP 初始化 ertPS 调度服务参数。此后,移动终端被周期性地分配

带宽请求传输机会或者数据传输机会。是否发送带宽请求或者直接发送数据由移动终端决定,如果移动终端本次发送数据长度与上次发送相同,则直接发送数据,具体流程与 UGS 相同。如果移动终端本次发送数据长度较上次发送有变化,则发送新的带宽请求,具体流程与 rtPS 完全相同。

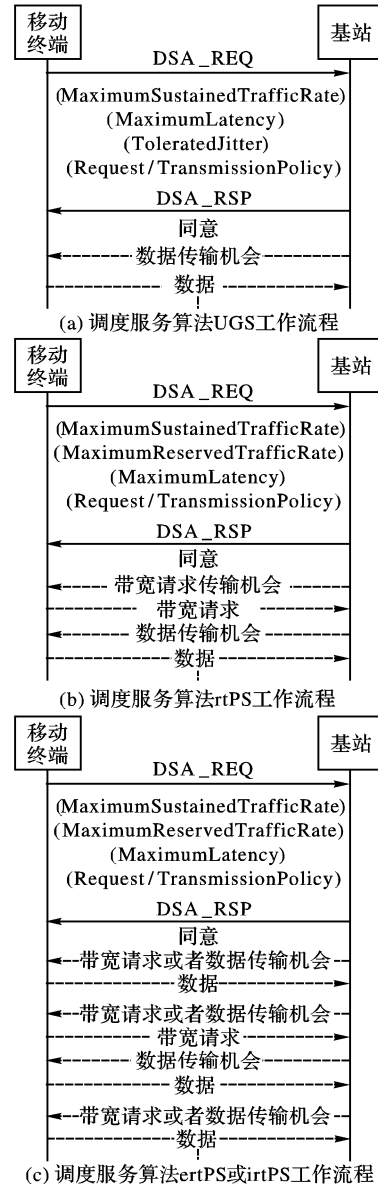


图1 实时上行链路调度服务算法工作流程

由于 ertPS 动态地选择直接发送数据或者发送带宽请求,则其较 rtPS 有较高的上行链路资源利用率,也减少了 MAC 层开销、减小延时。但是用于变化数据率的实时上行链路服务,特别是针对传输长度的连续变化或者渐进变化仍然存在资源利用率最大化的问题,按 ertPS 规定实时发送带宽请求,也将带来传输资源的大量浪费,特别移动终端的带宽请求的长度完全是随机变化,理论上的 ertPS 在实践中就是 rtPS。另一方面,完全可以通过降低单次数据传输机会中的资源利用率,减少发送带宽请求的次数,从而提高整体的上行链路资源利用率。所以,为了在保证延时性能的基础上最大化系统容量,有必要对基于调度服务算法 ertPS 进行优化,特别是明确使用带宽请求机会的具体条件,而这一点 IEEE802.16e 并没有任何建议。

## 2 优化的调度服务算法 irTPS

基于调度服务算法 UGS 和 rtPS 的效率均衡,优化的调度服务算法 irTPS 明确了带宽请求机会使用的具体条件,是对 ertPS 的进一步优化方案,用于变化数据率的实时上行链路服务时,在保证延时性能的基础上,最大限度地提高系统容量。

irTPS 的工作流程如图 1(c) 所示,与 ertPS 完全相同。基站和移动终端先通过 MAC 层管理消息 DSA\_REG、DSA\_RSP 初始化 irTPS 调度服务参数。此后,移动终端被周期性分配带宽请求传输机会或数据传输机会。是否发送带宽请求或者直接发送数据由移动终端决定。优化的 irTPS 的主要目标是最小化带宽请求次数。通过降低单次数据传输机会中的资源利用率,减少使用带宽请求传输机会的次数,从而提高整体的上行链路资源利用率。

对于变化数据率的实时上行链路服务,特别是传输长度为连续变化或者渐变变化,对是否发送带宽请求还是直接发送数据的判决机制进行优化,并非每次带宽请求的长度变化即需要发送带宽请求。具体算法依次如下:

- 1) 一个传输周期内,单个移动终端带宽请求的长度最大值为  $R_{\max}$ ;
- 2) 一个传输周期内,单个移动终端可能的上行链路带宽请求的长度从零至  $R_{\max}$  分割为  $N_R$  个小区间,第  $j$  个区间位置  $S(j)$  表示如(1)所示,并记录每一个区间的最大值;
- 3) 判断每次带宽请求的长度所在的区间,并以该区间的最大值记录为本次带宽请求的长度;
- 4) 如果本次带宽请求记录的长度与上一个长度相同,则移动终端直接发送数据,如 UGS 工作流程;
- 5) 如果本次带宽请求记录的长度与上一个长度不同,则移动终端发送新的带宽请求,如 rtPS 工作流程。

$$S(j) = \left[ (j-1) \frac{1}{N_R} R_{\max}, j \frac{1}{N_R} R_{\max} \right], 1 \leq j \leq N_R \quad (1)$$

## 3 数学模型

调度服务算法 UGS、rtPS、ertPS、irTPS 应用于变化数据率的实时上行链路服务时,数学建模带宽请求的长度的数学模型。设传输周期为固定值并表示为  $T_{\text{cycle}}$ 。在该传输周期内基站所能提供的最大传输数据总量表示为  $T_{\text{total}}$ 。在该传输周期内单个移动终端可能的带宽请求的长度最大值为  $R_{\max}$ 。 $R_{\max}$  和  $T_{\text{cycle}}$  之间存在的计算关系如(2)所示,其中参数 *MaximumSustainedTrafficRate* 已在调度服务初始化过程中协商完成。

$$R_{\max} = T_{\text{cycle}} \times \text{MaximumSustainedTrafficRate} \quad (2)$$

根据优化的调度服务算法 irTPS 规定,将带宽请求的长度分成  $N_R$  个连续的区间,由于移动终端带宽请求为随机产生的,参考文献[7]~文献[9],并假设带宽请求的长度从零至  $R_{\max}$  发生的概率相同,则移动终端带宽请求的长度位于第  $j$  个区间的概率( $P(j)$ )简单估算为:

$$P(j) = \frac{1}{N_R} \quad (3)$$

### 3.1 调度服务算法 UGS

使用 UGS 提供变化数据率的实时上行链路服务时,移动终端被周期性地分配固定尺寸的传输带宽,该传输带宽

( $R_{\max}$ ) 完全能满足移动终端的带宽需求。根据带宽请求长度的数学模型,在一个传输周期内,移动终端的实际带宽请求位于第  $j$  个区间内,则基站分配的传输带宽( $R_{\text{ugs}}(j)$ )表示为(4),计算结果为  $R_{\max}$ 。平均带宽请求( $R_{\text{Mean}_{\text{ugs}}}$ )表示为(5),也为  $R_{\max}$ 。估算基站平均所能容纳的移动终端数( $U_{\text{Mean}_{\text{ugs}}}$ )表示为(6),该移动终端均采用调度服务算法 UGS 提供实时上行链路调度服务。

$$R_{\text{ugs}}(j) = R_{\max}, 1 \leq j \leq N_R \quad (4)$$

$$R_{\text{Mean}_{\text{ugs}}} = \sum_{j=1}^{N_R} P(j) R_{\text{ugs}}(j) \quad (5)$$

$$U_{\text{Mean}_{\text{ugs}}} = \frac{T_{\text{total}}}{R_{\text{Mean}_{\text{ugs}}}} \quad (6)$$

### 3.2 调度服务算法 rtPS

使用 rtPS 提供变化数据率的实时上行链路服务时,移动终端被周期性地分配带宽请求传输机会。根据带宽请求长度的数学模型,在一个传输周期内,移动终端实际带宽请求的长度位于第  $j$  个区间内,则向基站发送的带宽请求值( $R_{\text{rtps}}(j)$ )表示为(7)。单次带宽请求流程占用的传输资源估算为  $R_{b_{\text{req}}}$ 。平均带宽请求( $R_{\text{Mean}_{\text{rtps}}}$ )表示为(8)。估算基站平均所能容纳的移动终端数( $U_{\text{Mean}_{\text{rtps}}}$ )表示为(9),该移动终端均采用调度服务算法 rtPS 提供实时上行链路调度服务。

$$R_{\text{rtps}}(j) = \frac{j}{N_R} R_{\max}, 1 \leq j \leq N_R \quad (7)$$

$$R_{\text{Mean}_{\text{rtps}}} = \sum_{j=1}^{N_R} P(j) (R_{\text{rtps}}(j) + R_{b_{\text{req}}}) \quad (8)$$

$$U_{\text{Mean}_{\text{rtps}}} = \frac{T_{\text{total}}}{R_{\text{Mean}_{\text{rtps}}}} \quad (9)$$

### 3.3 调度服务算法 ertPS

使用 ertPS 提供变化数据率的实时上行链路服务时,移动终端被周期性地分配带宽请求传输机会或者数据传输机会。根据带宽请求长度的数学模型,在一个传输周期内,移动终端的实际带宽请求位于第  $j$  个区间内,则向基站发送的带宽请求值( $R_{\text{ertps}}(j)$ )表示为(10)。单次带宽请求流程占用的传输资源估算为  $R_{b_{\text{req}}}$ ,平均带宽请求( $R_{\text{Mean}_{\text{ertps}}}$ )表示为(11),估算基站平均所能容纳的移动终端数( $U_{\text{Mean}_{\text{ertps}}}$ )表示为(12),该移动终端均采用调度服务算法 ertPS 提供实时上行链路调度服务。

$$R_{\text{ertps}}(j) = \frac{j}{N_R} R_{\max}, 1 \leq j \leq N_R \quad (10)$$

$$R_{\text{Mean}_{\text{ertps}}} = \sum_{j=1}^{N_R} P(j) \left( \frac{R_{\text{ertps}}(j)}{+ R_{b_{\text{req}}}} \right) \quad (11)$$

$$U_{\text{Mean}_{\text{ertps}}} = \frac{T_{\text{total}}}{R_{\text{Mean}_{\text{ertps}}}} \quad (12)$$

### 3.4 优化的调度服务算法 irTPS

使用优化的 irTPS 提供变化数据率的实时上行链路服务时,移动终端被周期性地分配带宽请求传输机会或者数据传输机会,每一带宽请求长度的变化先判断是否与上一个带宽请求长度位于同一个区间,如果不是则使用带宽请求机会,否则直接发送数据。根据带宽请求长度的数学模型,在一个传输周期内,移动终端的实际带宽请求位于第  $j$  个区间内,则向基站发送的带宽请求值( $R_{\text{irtps}}(j)$ )表示为(13)。单次带宽请求流程占用的传输资源估算为  $R_{b_{\text{req}}}$ 。平均带宽请求( $R_{\text{Mean}_{\text{irtps}}}$ )表示为(14),其中  $\lambda$  表示带宽请求发生的概率。估算基站平均

所能容纳的移动终端数( $U\_Mean_{irtPS}$ )表示为(15),该移动终端均采用优化的调度服务算法 irtPS 提供实时上行链路调度服务。

$$R_{irtPS}(j) = \frac{j}{N_R} R_{\max}, 1 \leq j \leq N_R \quad (13)$$

$$R\_Mean_{irtPS} = \sum_{j=1}^{N_R} P(j) \left( \frac{R_{irtPS}(j)}{1 + \lambda \times R_{b\_req}} \right) \quad (14)$$

$$U\_Mean_{irtPS} = \frac{T_{total}}{R\_Mean_{irtPS}} \quad (15)$$

#### 4 性能评估

通过探索参数  $N_R$ 、 $\lambda$  和  $R_{\max}$  在系统中的影响力,分析该优化的调度服务算法 irtPS 的优越性,其中  $N_R$  为带宽请求长度分割的区间数, $\lambda$  为连续两个带宽请求长度不同的概率, $R_{\max}$  为单个移动终端带宽请求长度的最大值。

根据 IEEE802.16e 的分组结构定义,本文估算了以下主要分析参数: $T_{total} = 25\text{Kbytes}$ ,  $T_{cycle} = 100\text{ms}$ ,  $R_{b\_req} = 10\text{bytes}$ ,  $MaximumSustainedTrafficRate = 2.5\text{Mbytes/s}$ 。其中参数  $MaximumSustainedTrafficRate$  在调度服务初始化阶段协商,本部分的所有分析结果随该参数线性变化。

##### 4.1 参数 $N_R$ 影响力分析

基于以下参数: $R_{\max} = 200\text{bytes}$ ,  $\lambda = 0.5$ ,图2显示了  $N_R$  对基站平均所能容纳的移动终端数的影响力,每一根曲线均表示基于同一类型的调度服务算法。由图2可知,基于UGS的系统容量不受  $N_R$  影响。优化的 irtPS 的系统容量较 rtPS 和 ertPS 的系统容量大,并随着  $N_R$  增加而逐步增加,并逐步趋缓。rtPS 和 ertPS 具有相同的系统容量,UGS 的系统容量最小。

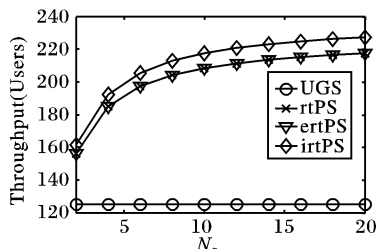


图2 基于参数  $N_R$  的系统容量分析

##### 4.2 参数 $\lambda$ 影响力分析

基于以下参数: $R_{\max} = 200\text{bytes}$ ,  $N_R = 8$ ,图3显示了  $\lambda$  对基站平均所能容纳的移动终端数的影响力,每一根曲线均表示基于同一类型的调度服务算法。由图3可知,优化的 irtPS 拥有最大的系统容量,并随  $\lambda$  的增加而减小,最终与 rtPS 相同。rtPS 和 ertPS 具有相同的系统容量,UGS 系统容量最小。

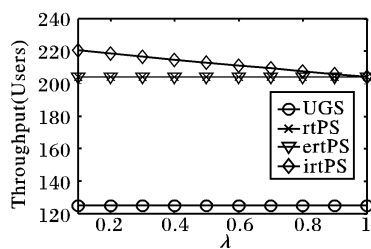


图3 基于参数  $\lambda$  的系统容量分析

##### 4.3 参数 $R_{\max}$ 影响力分析

基于以下参数: $N_R = 8$ ,  $\lambda = 0.8$ ,图4显示了  $R_{\max}$  对基站平均所能容纳的移动终端数的影响力,每一根曲线均表示基

于同一类型的调度服务算法。由图3可知,优化的 irtPS 拥有最大的系统容量,ertPS 和 rtPS 具有相同的系统容量,UGS 系统容量最小。所有调度服务算法的系统容量均随  $R_{\max}$  的增加而减小,并逐步趋缓。并随着  $R_{\max}$  的增加,优化的 irtPS 的系统容量逐步趋近于 rtPS。

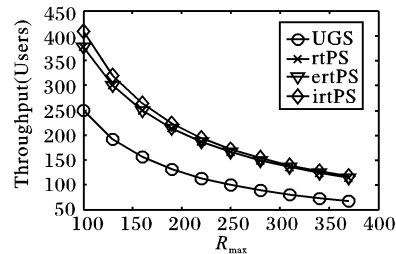


图4 基于参数  $R_{\max}$  的系统容量分析

#### 5 结语

为了进一步提高 IEEE802.16e 实时上行链路资源的利用率,基于 IEEE802.16e 建议的三种实时调度服务算法:UGS、rtPS、ertPS,本文提出了一种优化的调度服务算法 irtPS。该算法在保证变化数据率的实时上行链路服务的传输率和延时性能的基础上,最大限度地提高了上行链路资源的利用率。通过数学建模并分析参数  $N_R$ 、 $\lambda$  和  $R_{\max}$  在实时上行链路调度服务中对系统容量的影响力,证明了该优化的调度服务算法 irtPS 较 IEEE802.16e 建议的三种调度服务算法存在优势,也指出了优化实时上行链路调度服务系统容量的基本方法。

##### 参考文献:

- [1] IEEE802.16e. IEEE standard for local and metropolitan area networks-part16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access system-amendment2: Physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands[S].
- [2] IEEE802.16. IEEE standard for local and metropolitan area networks-part16: Air interface for fixed broadband wireless access system[S].
- [3] NIYATO D, HOSSAIN E. Queue-aware uplink bandwidth allocation for polling service in IEEE 802.16 broadband wireless networks [A]. Globecom'05[C]. Piscataway, NJ, USA, IEEE, 2005.3702-3706.
- [4] NIYATO D, HOSSAIN E. Queue-aware uplink bandwidth allocation and rate control for polling service in IEEE 802.16 broadband wireless networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(6): 668-679.
- [5] JIANG C-H, TSAI T-C. Token bucket based CAC and packet scheduling for IEEE 802.16 broadband wireless access networks [A]. CCNC 2006[C]. Piscataway, NJ, USA, IEEE Computer Society, 2006. 183-187.
- [6] LEE H, KWON T. An enhanced uplink scheduling algorithm based on voice activity for VoIP services in IEEE 802.16d/e system[J]. IEEE Communication Letters, 2005, 9(8): 691-693.
- [7] BRADY PT. A model for generating ON-OFF speech patterns in two-way conversations[J]. Bell System Technology Journal, 1969, 48: 2445-2472.
- [8] DAWOOD AM, GHABARI M. Contention-based MPEG video traffic modeling[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 1999, 1(1): 77-87.
- [9] LIE CH, KODIKARA CK. MPEG-encoded variable bit-rate video traffic[J]. IEE Proceedings: Communications, 2005, 152(5): 749-756.