

WOBAN 中基于令牌桶算法的自适应流量整形策略

王汝言 池文祥* 张 鸿

(重庆邮电大学通信与信息工程学院 重庆 400065)

(重庆高校市级光通信与网络重点实验室 重庆 400065)

摘要: 光无线融合网络中光域和无线域存在速率不匹配以及业务分类不同的问题。为提高融合网络的 QoS 及充分利用网络资源, 该文提出一种基于令牌桶算法的流量整形策略。根据 EPON 与 WiMAX 业务的 QoS 映射以及调度策略, 以业务在整个网络中的相对优先级来决定令牌桶参数的选择, 并结合更符合实际的自相似网络流量推导出最佳令牌桶参数计算公式, 并在此基础上, 提出基于优先级的共享缓存策略, 进而, 得到通过 QoS 指标的变化而自适应动态调整的流量整形策略。仿真结果表明, 所提流量整形策略能够有效降低网络设备压力, 同时提高整个融合网络的 QoS。

关键词: 光无线宽带接入网; 流量整形; 令牌桶算法; 服务质量

中图分类号: TP393.04

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2017)06-1401-08

DOI: 10.11999/JEIT160974

Adaptive Traffic Shaping Policy Based on Token Bucket Algorithm of Wireless-optical Broadband Access Network

WANG Ruyan CHI Wenxiang ZHANG Hong

(School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

(Key Laboratory of Optical Communication and Networks, Chongqing 400065, China)

Abstract: There are mismatches of transmission rates and different service classifications between optical domain and wireless domain in Wireless-Optical Broadband Access Network (WOBAN). To improve the QoS of the integration network and make full use of network resources, a new algorithm based on token bucket traffic shaping policy is proposed. According to the service mapping rules and scheduling of EPON and WiMAX, the selection of token bucket parameters B determined based on the relative service priority of the entire network. This paper also combines with more realistic self-similar network traffic to derive the best formula for token bucket parameters and then proposes a shared buffer strategy on the basis of the service priority. Furthermore, an adaptively dynamically adjust traffic shaping policy is obtained through the change of QoS metrics. The simulation results show that the proposed strategy can effectively reduce traffic shaping network equipment pressure while improving the QoS of whole converged networks.

Key words: Wireless-Optical Broadband Access Network (WOBAN); Traffic shaping; Token bucket algorithm; Quality of Service (QoS)

1 引言

随着 Internet 数据业务爆炸式的增长,

Internet 已逐步由单一的数据传输网发展到集语音、图像、数据等多业务一体的综合传输网, 骨干网和本地网的带宽差距在逐步加大, 其中最大的瓶颈在于接入网。光无线宽带接入网络(Wireless-Optical Broadband Access Network, WOBAN)结合光纤技术的低成本、高带宽、低损耗、长距离、高可靠性以及无线技术覆盖范围广、部署灵活、易组网的优势, 能够实现真正意义上的网络全覆盖及综合性, 是一种极具应用前景的“最后一公里”解决方案^[1,2]。

WOBAN 中突发流量会导致网络拥塞, 其中突发流量很可能不是关键的业务流量, 流量整形(traffic shaping)技术就是在网络产生拥塞的情况下, 限制非主要业务流量对整个网络带宽的占用率, 从而缓解网络拥塞。此外由于光域与无线域各自传

收稿日期: 2016-09-28; 改回日期: 2017-02-15; 网络出版: 2017-04-14

*通信作者: 池文祥 823479455@qq.com

基金项目: 国家自然科学基金(61371097, 61401052, 61271261), 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1400418), 重庆市青年科技人才培养计划(CSTC2014KJRC-QNRC40001), 重庆市高等学校青年骨干教师资助计划(渝教人[2014]47号), 重庆高校创新团队建设计划(CXTDX201601020)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (61371097, 61401052, 61271261), Science and Technology Research Project of Chongqing Municipal Education Commission (KJ1400418), Youth Talents Training Project of Chongqing Science & Technology Commission (CSTC2014KJRC-QNRC 40001), Chongqing Funded Project of College Young Teachers Scheme (Yu teaches [2014] No. 47), Program for Innovation Team Building at Institutions of Higher Education in Chongqing (CXTDX201601020)

输的数据包格式不同,传输速率不同,流量整形可通过限制速率使得两侧业务的速率匹配各自的网络设备,同时减轻突发的网络流量对混合结构网络的压力。因此流量整形在光无线融合网络中具有重要意义。

目前,国内外大多数主流网络设备制造商如华为、Cisco, 3COM 等都在积极致力于流量整形技术的研究。Cisco 关于 QoS 的白皮书中详细描述了流量整形的功能以及设置方法^[3]。文献[4]进一步提出了一种基于 QoS 感知的分级令牌桶算法(QoS-aware HTBA, QHTBA),此算法在保证时延敏感业务的 QoS 性能的情况下优化业务的带宽分配。传统的流量整形策略是为了保证给定服务质量保障框架下的资源优化配置,然而在 WOBAN 中光域和无线域的业务绝对优先级并不相同, QoS 控制机制不同,传统的流量整形策略已不能有效地保证整个网络的 QoS。相关研究表明,目前,针对 WOBAN 中流量整形策略的研究较少,文献[5]只是简单地描述了应使用双桶令牌桶算法来进行流量整形,但没有涉及算法的实现过程。WOBAN 中的流量整形策略的关键问题则是在不同服务质量保障框架下提高整个融合网络的 QoS 性能,如文献[6]中指出 EPON 中所使用的 DiffServ 模型只能提供相对 QoS 保障;而无线域中的 QoS 框架大多采用面向连接模式。因此如何为整个网络在不同服务质量框架下提供性能保证是 WOBAN 中流量整形策略的一个难点。

本文在 EPON 与 WiMAX 的光无线融合网络结构下,提出一种基于令牌桶算法的自适应流量整形策略。通过对有线网和无线网络等业务量的研究表明,大多数网络业务(如以太网业务、视频流业务等)呈现出统计自相似性^[7,8]。因此选择自相似模型来模拟网络流量以确定令牌桶参数,利用整个业务相对 QoS 指标与令牌桶模型的关系,推导出令牌桶参数(r, b)的表达式,同时提出缓存占用规则来保证高优先级业务的 QoS,进而动态地调整令牌桶参数的设置,保证了业务在整个 WOBAN 中的 QoS 性能,最后通过 NS2 仿真验证了所提出的流量整形策略的正确性。

2 网络结构

WOBAN 由前端的无线接入网和后端的光接入网构成^[9],光无线融合网络的结构如图 1 所示。在中心端局(Central Office, CO)部署多个光线路终端(Optical Line Terminal, OLT),每个 OLT 通过光纤与光分路器(Splitter)连接,驱动多个光网络单元-

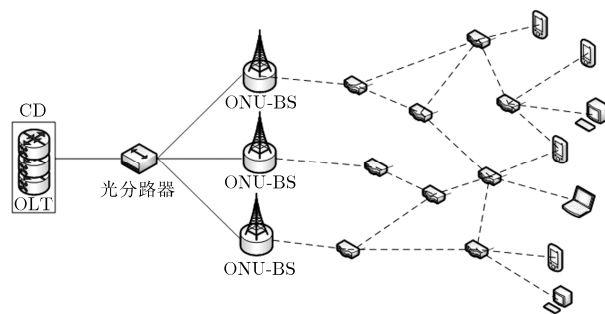


图 1 光无线融合网络结构图

基站(Optical Network Units-Base Station, ONU-BS)。每个 ONU 可以连接多个无线路由器。这些无线路由器构成整个混合网络前端的无线网状网(Wireless Mesh Networks, WMN)。其中,直接与 ONU 相连的无线路由器称为网关节点,其余无线路由器则为终端用户提供无线接入。用户数据先到达无线路由器,再通过多跳传输到 ONU-BS 节点,然后经光纤接入互联网。

ONU-BS 混合结构^[10]将光域的 ONU 和无线域的 BS 合成了 ONU-BS,在降低设备成本的同时光域和无线域系统能互相感知带宽分配机制和包调度的情况。ONU-BS 的中心处理器把 BS 的各个连接映射到 ONU 的队列中,并根据网络的流量状况进行总体的带宽分配和包调度,使得合成设备充分发挥光纤技术与无线技术各自的优势,从而缩短系统中平均队列长度,提高整个系统的吞吐量。本文将 EPON 与 WiMAX 融合网络下的 ONU-BS 混合结构为例,对 WOBAN 中的流量整形策略进行分析研究。

结合参考文献[11],本文的 ONU-BS 结构如图 2 所示,以上行方向为例,用户通过临近的无线路由器向 ONU-BS 发送数据,ONU-BS 汇聚此范围内所有 SS 的数据。ONU-BS 首先对到来的数据进行流量聚合。流量聚合技术为提高数据传输的效率,将不同的低速率业务汇聚成高速率业务。过多的聚合数据会造成无线域到光域的数据溢出,因此需要流量整形策略来平滑数据。其次,聚合后的数据存储在 5 个缓存队列中:主动授权服务(Unsolicited Grant Service, UGS)、实时轮询服务(real-time Polling Service, rtPS)、扩展实时轮询服务(extended real-time Polling Service, ertPS)、非实时轮询业务(non-real-time Polling Service, nrtPS)、尽力而为服务(Best Effort service, BE)。它们的优先级顺序从高到低为:UGS, rtPS, ertPS, nrtPS, BE。在对数据包分类后,采用令牌桶(Token Bucket, TB)算法对业务进行流量整形,每一类业务单独使用一个

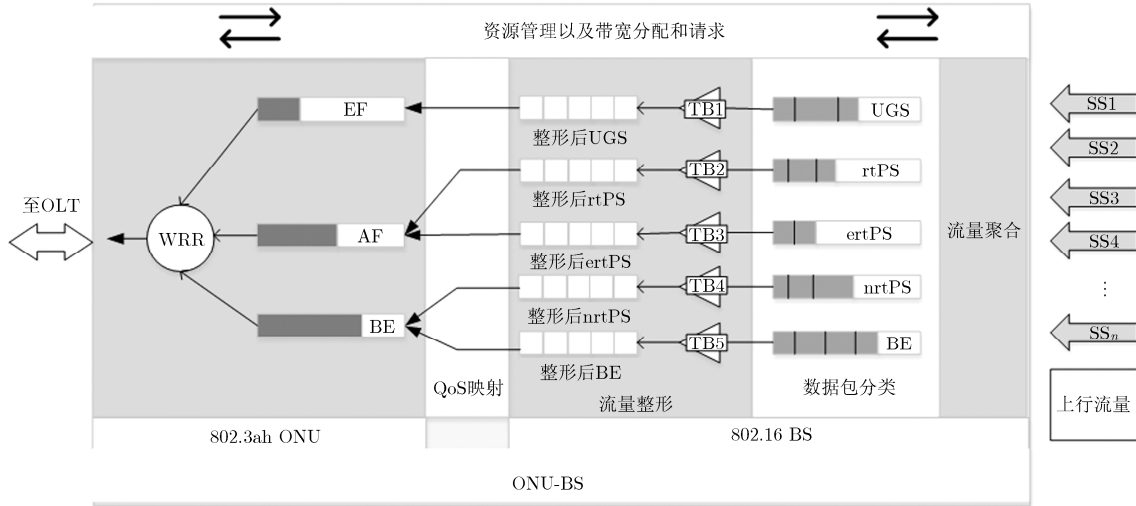


图 2 ONU-BS 结构原理图

TB, 根据业务不同的 QoS 设置不同的最优的 TB 参数(r, b)。整形后根据所提出的 QoS 映射规则, 将无线域业务映射为光域业务。然后按权值轮询法 (Weighted Round Robin, WRR) 输出数据队列, 最后遵循所提出的调度策略将上行数据发送至 CO。通过上述调度策略同时保证了无线域与光域不同优先级业务的 QoS 性能, 从而保证了 WOBAN 中业务端到端的 QoS 性能。

3 流量整形模型

如前所述, 实际测量结果表明, 当前通信网络中的流量具有长相关性, 采用传统的短时相关性模型无法准确地对数据流量变化过程进行建模分析。因此采用自相似过程对网络流量变化情况进行建模, 能更真实准确地模拟融合网络的业务情况。分型布朗过程(Fractional Brownian Motion, FBM)作为最常见的一种自相似数学模型^[12], 是通过自相似的统计特性来建立模型, 因此比较精确和灵活, 便于进行准确的数据分析。用分型布朗运动模型来模拟网络流量 $A(t)$ 的分布如式(1):

$$A(t) = mt + \sqrt{ma}Z_H(t), t \in R \quad (1)$$

其中, m 为到达数据流量的平均速率, a 为到达数据流量的方差。 $Z_H(t)$ 是均值为“0”, 方差 $\text{Var}[Z_H(t)] = |t|^{2H}$ 的高斯随机过程。 H 为 Hurst 参数并且满足 $H \in [1/2, 1]$ 。

融合网络的数据传输过程涵盖了光域传输及无线域传输, 受到传输能力的影响, 为使数据速率与下游传输媒介中的设备处理能力相匹配, 使用流量整形策略对输出数据的速率进行控制, 以避免不必要的丢弃和拥塞。令牌桶算法是流量整形中一种最常用整形算法, 如图 3 所示令牌桶算法的控制机制

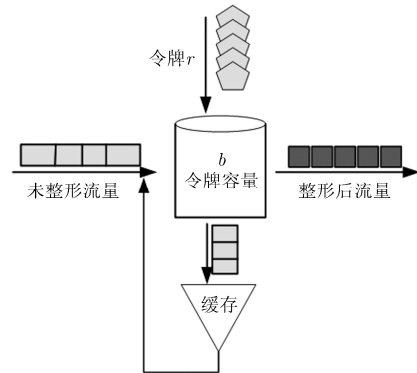


图 3 令牌桶算法原理图

是通过令牌桶中的令牌数量来控制数据分组的发送。令牌桶算法有两个参数: r 代表产生令牌的速率, b 表示桶中的令牌数量。其工作原理为: 以恒定的速率 r 往令牌桶中添加令牌, 当令牌桶中的令牌达到最大值时, 多余的令牌将被丢弃。网络数据包到达令牌桶时, 需要获取相应的令牌后, 才能被转发。

进而, 可以获知网络数据通过令牌桶的数学模型, 如式(2)所示, 其中 $L(t)$ 为令牌桶输出流量, t 为数据突发时间间隔, r 为令牌产生速率, b 为令牌桶容量:

$$L(t) = rt + b \quad (2)$$

由上述可知, 在上行方向上, 针对不同业务设置单独的令牌桶, 根据 WiMAX 业务的优先级顺序, 可知 $L_{UGS}(t) > L_{rtPS}(t) > L_{ertPS}(t) > L_{nrtPS}(t) > L_{BE}(t)$, 因此参数(r, b)的设置直接影响到业务的 QoS, 若 (r_{UGS}, b_{UGS}) 选择过小会导致高优先级业务的 QoS 得不到保证, 反之则会影响低优先级业务的 QoS。选择合理的(r, b)以保证融合网络各个业务的 QoS 显得非常重要。

为不让数据包在流量整形中被丢弃, 保证无损传输, 则令牌桶输入流量 $A(t)$ 小于等于令牌桶的输出流量 $L(t)$, 即

$$A(t) \leq rt + b = L(t) \quad (3)$$

由式(3)可知, 满足无损条件的参数 (r, b) 不只 1 对, 将满足条件的参数 (r, b) 所组成的曲线称为突发曲线 $b = b(r)$ 。根据突发曲线与 WOBAN 中业务的 QoS 指标之间的联系, 进而能求出 (r, b) 的具体计算公式。

4 令牌桶参数自适应调整策略

WOBAN 中的流量整形与普通网络的流量整形不同, WOBAN 中的流量数据在两个域中的帧结构、业务分类不同, 无法简单地由单一域内业务的优先级确定令牌桶参数, 而需根据映射的规则, 由业务的相对优先级来确定令牌桶的参数。不同业务的 QoS 指标不同, 在网络拥塞的情况下, 合理的令牌桶参数 (r, b) 的设置能够保证各个业务的 QoS。最佳的令牌桶参数 (r, b) 的确定过程如下, 首先根据令牌桶输入流量的丢包率解析突发曲线的表达式 $b = b(r)$, 其次寻找适合的代价函数与目标函数构成拉格朗日乘数法求出最佳的 (r, b) 。

根据 FBM 得到令牌桶输入的流量为 $A(t) = mt + \sqrt{ma}Z_H(t)$, 则超过令牌桶输出流量 $L(t) = rt + b$ 的概率 ε 如式(4)所示, 其中 m 为到达数据流量的平均速率, a 为到达数据流量的方差。 r 为令牌产生速率, b 为令牌桶容量, t 为突发时间间隔。

$$\varepsilon = \Pr(A(t) > L(t)) = \Pr(mt + \sqrt{ma}Z_H(t) > rt + b) \quad (4)$$

观察发现式(4)与存储服务模型^[13]类似, 进而将令牌产生速率 r 等效为服务速率, 将令牌桶容量 b 等效为数据缓存, 结合式(4)得到:

$$\Pr\left\{Z_H(t) > \frac{(r-m)t+b}{\sqrt{ma}}\right\} \geq \bar{\phi}\left(\frac{(r-m)^H b^{1-H}}{k(H)\sqrt{ma}}\right) \quad (5)$$

其中 $k(H) = H^H(1-H)^{1-H}$ 和 $\bar{\phi}(y) = P(Z_1 > y)$ 。 $\bar{\phi}(y)$ 是一个标准的高斯分布函数。根据标准高斯过程的特性及未来近似不等式^[14], 结合式(5)得出 ε 的近似值, 其中 $k(H) = H^H(1-H)^{1-H}$:

$$\varepsilon \sim \exp\left[-\frac{(r-m)^{2H}}{2k(H)^2 am} b^{2-2H}\right] \quad (6)$$

进而, 可获知参数 r 的解析表达式, 如式(7)所示:

$$r = m + \left(k(H)\sqrt{-2\ln\varepsilon}\right)^{1/H} a^{1/(2H)} b^{-(1-H)/H} m^{1/(2H)} \quad (7)$$

可见, 式(7)描述了令牌桶参数 (r, b) 与丢包率 ε 的关系, 若直接给出相关的具体参数, 则可得到突发曲线 $b = b(r)$ 。曲线上的令牌桶参数 (r, b) 均满足丢

包率的条件。

利用拉格朗日乘数法相关思想, 通过设计合理的代价函数, 可实现最佳令牌桶参数 (r, b) 的求解。从二维空间来看, 突发曲线上点 $(m, 0)$ 的物理意义表示数据恰好通过令牌桶, 且无突发数据的情况。因此可以将点 $(m, 0)$ 到突发曲线的最短距离作为代价函数。根据 $b = b(r)$ 的单调递减特性可知, 当 r 设置为统计意义上的到达数据流量平均速率时, 数据流量的突发可以控制在较小的范围内。突发曲线上到点 $(m, 0)$ 距离最短的参数 (r, b) , 就为当前的丢失概率下的最佳令牌桶参数 (r, b) 。可见, 点 $(m, 0)$ 到突发曲线最小距离函数如式(8)所示:

$$\Gamma(r, b) = \sqrt{(r-m)^2 + b^2} \quad (8)$$

根据拉格朗日乘数法的思想, 将式(7)作为目标条件:

$$A(r, b) = m - r + \left(k(H)\sqrt{-2\ln\varepsilon}\right)^{1/H} \cdot a^{1/(2H)} b^{-(1-H)/H} m^{1/(2H)} \quad (9)$$

进而, 结合式(8), 式(9)可构造欧拉-拉格朗日乘数法方程组:

$$F(r, b, \lambda) = \Gamma(r, b) + \lambda A(r, b) \quad (10)$$

通过计算解出最佳令牌桶参数, 其中 $S = a^{1/2H} \cdot m^{1/2H} k(H)^{1/H} (\sqrt{-2\ln\varepsilon})^{1/H}$, $k(H) = H^H(1-H)^{1-H}$ 。

$$\left. \begin{aligned} r^* &= m + S^{1+H} \left(\frac{H}{1-H} \right) \\ b^* &= \left(\frac{H}{1-H} \frac{1}{S^2} \right)^{-H/2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

根据式(11)得到最佳令牌桶参数 (r^*, b^*) 随着丢包率 ε 增加而减小, 趋势是相反的。

显然, 对于数据传输过程较为复杂的融合网络来说, 采用固定的令牌桶参数难以为各类业务提供充分的网络资源来保障其 QoS, 因此考虑通过动态地调整最佳令牌桶参数, 来适应融合网络业务的时变性。

当上行业务流量在到达 ONU-BS 时, 会将业务分类后进行策略。在数据包被流量分类后进入流量整形阶段前, 所有业务流量都会缓存在公用的缓存中, 定义 B 为数据缓存总量, B_{UGS} , B_{rtPS} , B_{ertPS} , B_{nrtPS} , B_{BE} 分别为 5 类业务所占缓存大小, ε_{UGS} , ε_{rtPS} , ε_{ertPS} , ε_{nrtPS} , ε_{BE} 分别为 5 种 WiMAX 业务的丢包率, 它们的大小与优先级相反, $\varepsilon_{UGS} < \varepsilon_{rtPS} < \varepsilon_{ertPS} < \varepsilon_{nrtPS} < \varepsilon_{BE}$ 。则可以得到总的缓存 B 为

$$B = B_{UGS} + B_{rtPS} + B_{ertPS} + B_{nrtPS} + B_{BE} \quad (12)$$

根据令牌桶算法的工作原理可知, 令牌桶容量 b 与数据缓存 B 的关系: 当 b 不为 0 时, B 一定为 0;

当 B 不为 0 时, b 一定为 0。以 UGS 业务为例, 丢包率 ε_{UGS} 的计算公式如式(13)所示, 其中 $A_{\text{UGS}}(t)$ 为 UGS 业务的到达流量, r_{UGS} 为 UGS 业务的令牌产生速率, B_{UGS} 为 UGS 业务所占的缓存大小, t 为时间间隔。

$$\varepsilon_{\text{UGS}} = \frac{A_{\text{UGS}}(t) - r_{\text{UGS}}t - B_{\text{UGS}}}{A_{\text{UGS}}(t)} \quad (13)$$

根据式(11), 将 ε_{UGS} 代入算出对应的 $TB_{\text{opt}}(r^*, b^*)$ 得到 r_{UGS} 。进而, 利用式(13)得到 B_{UGS} 的表达式如式(14)所示, 其中 $S = a_{\text{UGS}}^{1/2H} m_{\text{UGS}}^{1/2H} k(H)^{1/H} \cdot (\sqrt{-2 \ln \varepsilon_{\text{UGS}}})^{1/H}$, $k(H) = H^H (1-H)^{1-H}$, m_{UGS} 为 UGS 业务流量到达的平均速率, a_{UGS} 为 UGS 业务流量到达的方差:

$$B_{\text{UGS}} = (1 - \varepsilon_{\text{UGS}})A_{\text{UGS}}(t) - \left(m_{\text{UGS}} + S_{\text{UGS}}^{1+H} \left(\frac{H}{1-H} \right) \right) t \quad (14)$$

由式(14)看出随着丢包率的减小, 缓存会有所增加。但缓存不能无限地增加, 如果仅仅增加 UGS 业务的缓存, 其他 4 种业务的缓存必将减小, 这样就会导致其他业务的 QoS 无法得到保证, 因此增加缓存时应遵守相应的规则, 当高优先业务丢包率过大时, 通过占用低优先级业务的缓存来增加缓存, 从而减少丢包率。定义业务的缓存临界值为业务 QoS 规定的丢包率达到最大值时的缓存值, 如 $B_{\text{min_nrtPS}}$ 为当 nrtPS 业务的丢包率达到 $\varepsilon_{\text{max_nrtPS}}$ 时的临界缓存值。其伪代码如表 1 所示。

5 QoS 映射及调度策略

5.1 QoS 映射

WOBAN 为支持不同业务的不同 QoS 指标, 采用优先级队列来保证业务需求。由于光域与无线域划分的业务种类不同, 不同域中业务拥有各自的

表 1 动态缓存共享算法伪代码

动态缓存共享算法伪代码

- (1) Initialize: $B_{\text{UGS}}; B_{\text{nrtPS}}; B_{\text{ertPS}}; B_{\text{rtPS}}; B_{\text{BE}}$
- (2) If $\varepsilon_{\text{UGS}} > 0$ //判断 UGS 业务当前的丢失率是否大于“0”
- (3) while($\varepsilon_{\text{UGS}} \geq 0 \parallel B_{\text{BE}} \geq 0$)//减少 B_{BE} 的条件
- (4) $B_{\text{BE}} --, B_{\text{UGS}} ++$ //
- (5) while($\varepsilon_{\text{UGS}} \geq 0 \parallel B_{\text{nrtPS}} \geq B_{\text{min_nrtPS}}$)//减少 B_{nrtPS} 的条件
- (6) $B_{\text{nrtPS}} --, B_{\text{UGS}} ++$ //
- (7) while($\varepsilon_{\text{UGS}} \geq 0 \parallel B_{\text{ertPS}} \geq B_{\text{min_ertPS}}$)//减少 B_{ertPS} 的条件
- (8) $B_{\text{ertPS}} --, B_{\text{UGS}} ++$ //
- (9) while($\varepsilon_{\text{UGS}} \geq 0 \parallel B_{\text{rtPS}} \geq B_{\text{min_rtPS}}$)//减少 B_{rtPS} 的条件
- (10) $B_{\text{rtPS}} --, B_{\text{UGS}} ++$ //
- (11) end

QoS 指标, 为保证业务在整个网络的 QoS, 需要一种 QoS 映射算法来匹配不同域之间的业务, 并同时保持业务的 QoS 指标。

WiMAX 采用的是面向连接的传输技术, IEEE802.16e 协议支持 5 种类型的 QoS 服务^[15], 如表 2 所示, 每一类业务都有特定的时延、吞吐量、抖动等具体的 QoS 参数要求。结合表 2 中参数, UGS 采用固定数据包速率发送, 所以 BS 分配的带宽是固定的; 而 rtPS 采用可变速率发送, ertPS 则是具有容忍时延的可变速率传输业务, 因此 BS 根据需求动态地调整带宽; 而对于 nrtPS, BS 则是随机接收带宽请求; BE 则是分配剩余的可用带宽。

EPON 采用面向队列 QoS 管理机制, 并定义了 3 种优先级业务来保证 QoS。加速转发业务 (Expedited Forwarding, EF) 支持具有苛刻的时延要求、较低丢包率以及带宽保障的应用业务, 主要采用恒定速率流传输 EF 业务, 其典型应用如多人互动游戏以及语音电话; 确保转发业务 (Assured Forwarding, AF) 支持时延不特别敏感但是保障带宽的应用业务, 主要采用可变速率传输 AF 业务, 例如观看视频流业务; 尽力而为业务 (Best Effort, BE) 支持无时延和带宽保障的应用, 例如网页浏览和发送电子邮件。

根据上述描述可知, WiMAX 业务与 EPON 业务具有相似的 QoS 参数要求, 因此考虑将 BS 中的业务队列映射到 ONU 的业务队列中, 以此保证业务在整个网络中的 QoS。如图 2 所示, 其中将 UGS 映射为 EF 业务; ertPS 和 rtPS 映射为 AF 业务; nrtPS 和 BE 映射为 BE 业务。

5.2 调度策略

本文采取的分级调度策略分为 ONU-BS 调度器和 OLT 调度器两个部分^[16]。ONU-BS 调度模块有 3 个功能模块: WiMAX Request Aggregator, WiMAX Grant Generator, Report Generator。WiMAX Request Aggregator 的功能是收集管辖范

表 2 WiMAX 业务具体的 QoS 参数要求

业务类型	QoS 参数要求	应用例子
UGS	最大时延 < 100 ms, 最小吞吐量 > 9 Mb/s	多人即时互动游戏, 高清直播
ertPS	最大时延 < 150 ms, 平均丢包率 < 0.005%	语音电话, 视频会议
rtPS	平均时延 < 30 ms, 平均丢包率 < 0.006%	视频流业务, 在线点播
nrtPS	最小吞吐量 > 4 Mb/s, 平均丢包率 < 0.008%	文件传输, 即时消息
BE	无 QoS 指标	Email 邮件, 网页浏览

围内 SS 的带宽请求消息。WiMAX Grant Generator 的功能是按照上行链路媒体接入协议 (UpLink-Media Access Protocol, UL-MAP) 计算处理各 SSs 的授权带宽, 而 Report Generator 的主要功能是统计映射后各业务的队列情况, 并将报告发送给 OLT 以申请带宽。

本文中的 WiMAX 采用时分多址 (Time-Division Multiple Access, TDMA) 控制数据流传输。与传统的 WiMAX 服务策略不同的是, 本文采用基于严格的优先级服务策略替代 FCFS 服务策略。首先 ONU-BS 轮询 SSs, 收集所有 SS 的带宽请求消息, 然后设计合理的授权方案建立 UL-MAP 发送给 SS, 最后 SS 按照 UL-MAP 发送数据包。值得注意的是, 依据严格优先级服务策略的规则, ONU-BS 首先分配最高优先级业务的带宽, 然后在剩下的可用带宽中依次分配下一级优先级业务的带宽, 直至带宽分配完毕。

OLT 调度器的工作重点在后端光域部分, 根据 EPON 技术的特点^[17], OLT 会在轮询周期结束时, 根据 ONU-BS 的请求消息, 对不同的业务进行动态的带宽分配。依据映射规则, EF 业务将会被分配固定的带宽以保证其 QoS, 而 AF 业务将根据各个 ONU-BS 的队列情况以及传输 EF 后剩余的有效带宽进行动态的带宽分配, 此外考虑到映射后的 BE 业务中有 nrtPS 业务, 需满足 nrtPS 业务的最小带宽, 因此在 3 个 OLT 轮训周期内手动分配不少于 B_{BE_min} 的带宽给 BE 业务。

6 数值结果分析

本文采用 NS2(Network Simulator version 2) 仿真平台验证所提出机制的有效性, 仿真由 1 个 OLT 及 16 个 ONU-BS 组成, OLT 至 ONU-BS 的距离为 20 km, SS 至 ONU-BS 的距离 5 km, EPON 的信道传输速率为 1 Gb/s, 轮询和授权时间分别为 2 ms 和 1 μ s, WiMAX 的信道带宽为 20 MHz, 上行轮询

时间为 4 ms, 5 类业务的负载比为 1:2:3:6:8, 流量参数中平均速率 $m = 5680$ Packet/s, 方差 $a = 6170.74$ Packet, $H=0.8$, 包长为 1000 bit。令牌桶初始速率 r 根据业务优先级高至低设置为 1200, 1000, 800, 500, 300。

令牌桶参数为固定值时的令牌速率 r 对 5 种业务的吞吐量的影响如图 4 所示。其中, 令牌桶容量 b 的值相同。结果表明业务的吞吐量随着 r 的增大而呈现上升趋势, 且由曲线可知: UGS 业务的吞吐量大于其他优先级业务的吞吐量。如前所述, 通过令牌桶的流量为: $L(t) = rt + b$, 由于令牌桶容量 b 值相同, 所以令牌产生速率 r 就决定了整形后的输出流量, 即决定了业务的吞吐量。通过设置合理的 r , 能够有效地保证各优先级业务的吞吐量。动态 (r, b) 与吞吐量的关系如图 5 所示, 图中 UGSa 表示动态 (r, b) , UGS 则代表固定 (r, b) , 其他业务同理。从结果中可以看出, 动态 (r, b) 中 5 种业务的吞吐量是动态变化的, UGS 和 rtPS 以及 ertPS 业务的吞吐量都有所提升, nrtPS 和 BE 业务的吞吐量有所下降。其中, 动态变化过程符合缓存规则, 当 UGS 业务的吞吐量增大到一定值后, erPS 业务的吞吐量才逐渐增大, 相反当 BE 业务的吞吐量降低到一定程度后, nrtPS 业务才开始减小。

令牌桶参数为固定 (r, b) 和动态 (r, b) 与丢包率的对比关系如图 6 所示。其中, UGSa 表示动态 (r, b) , UGS 则代表固定 (r, b) , 其他业务同理, 令牌桶容量 b 的值相同。结果表明业务的丢包率随着 r 的增加而呈现下降的趋势。且由曲线可知: UGS 业务的丢包率最小, 其他业务的丢包率依次增大。其中由于 rtPS 业务的对时延非常敏感, 对超过 $t_{delay_min} = 150$ ms 的业务直接丢弃, 导致 rtPS 业务的丢包率与 ertPS 业务的丢包率接近。动态 (r, b) 中, UGS 和 rtPS 业务的丢包率有所下降, nrtPS 和 BE 业务的吞吐量有所提升。

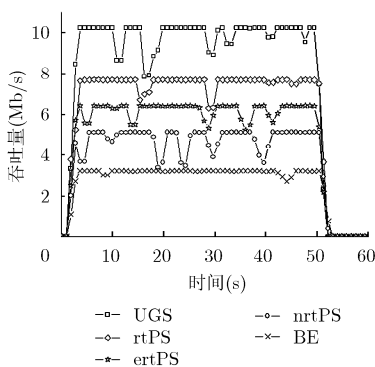


图 4 固定 (r, b) 与吞吐量的关系图

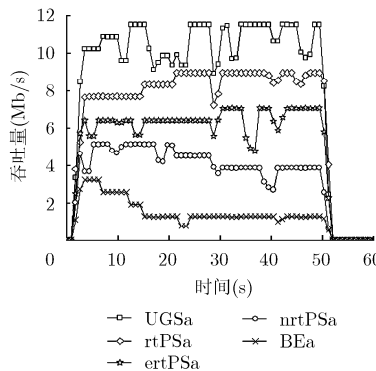


图 5 动态 (r, b) 与吞吐量的关系

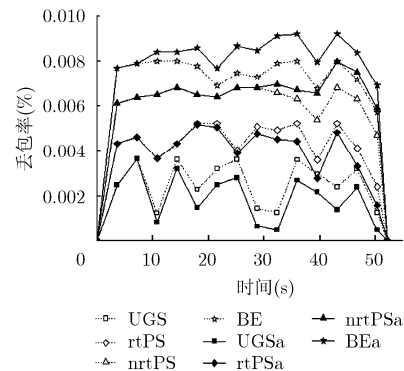


图 6 固定 (r, b) 和动态 (r, b) 与丢包率的关系

固定 (r,b) 和动态 (r,b) 与丢包率的对比关系如图 7 所示。其中, UGSa 表示动态 (r,b) , UGS 则代表固定 (r,b) , 其他业务同理, 令牌桶容量 b 的值相同。由曲线可知: EF 业务的时延最低, AF 业务的时延稍有增大而 BE 业务的时延最大。如前所述, 业务的时延为 $t_{\text{delay}} = t_{\text{send}} + B/r$, 其中 t_{send} 由于权值轮询策略减少了 EF 业务的传输时延, 同时因令牌桶速率的增大减少了等待时延, 因此 EF 业务的端到端时延最小。随着负载的增高平均时延逐渐增加, 动态 (r,b) 与固定 (r,b) 相比, UGS 和 rtPS 业务的平均时延都有所减少, nrtPS 和 BE 业务的平均时延有所提升。因此自适应令牌桶算法增加了低优先级业务的平均时延, 减少高优先级业务的平均时延。

令牌桶参数 (r,b) 与丢包率的关系如图 8 所示, 由曲线可知, 令牌桶速率 r 随着令牌桶容量 b 的增大逐渐减小, 且丢包率与令牌桶参数 (r,b) 呈相反的趋势, 此外, 当令牌速率 r 增加到一定大的程度时, 令牌桶容量 b 可以为 0; 此时令牌速率 r 已经达到了业务的输入速率, 不需要令牌桶存储令牌, 分组数据就能完全通过令牌桶。

在上述仿真情况下, 5 种业务的最佳令牌桶参数 (r,b) 取值如表 3 所示。

7 结束语

为充分利用光无线融合接入网络的资源, 进一

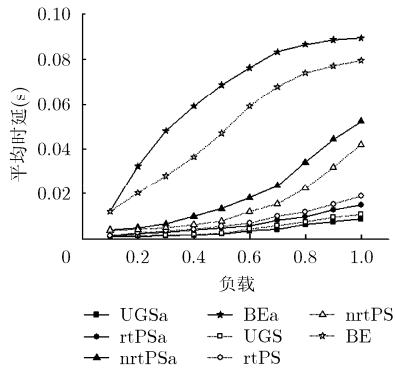


图 7 固定 (r,b) 和动态 (r,b) 与平均时延的关系

参考文献

[1] LIU Jiajia, Guo Hongzhi, NISHIYAMA H, et al. New perspectives on future smart FiWi networks: Scalability, reliability and energy efficiency[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2016, 18(2): 1045-1072. doi: 10.1109/COMST.2015.2500960.

[2] SHADDAD R Q, MOHAMMAD A B, ALGAILANI S A, et al. A survey on access technologies for broadband optical and wireless networks[J]. *Journal of Network & Computer*

表 3 最佳令牌桶参数 (r,b) 取值

业务类型	速率 r (kbit/s)	容量 b (kbit)
UGS	1100~1150	100~135
ertPS	900~1000	160~200
rtPS	550~650	245~290
nrtPS	450~520	325~380
BE	250~310	480~500

步改善网络性能, 本文提出了一种基于令牌桶算法的自适应流量整形策略。首先, 在令牌桶算法的基础上结合更符合实际的自相似网络流量模型, 其次在提出的适合 WOBAN 的分级调度策略的基础上, 给定光域与无线域之间的 QoS 映射规则, 根据业务的相对优先级, 决定不同优先级业务的令牌桶参数的选择, 进而, 根据基于优先级的共享缓存策略, 使得令牌桶参数得到动态的调整以提高整个网络业务的 QoS。本文首次在光无线融合网络中提出了令牌桶整形算法具体的计算公式, 并根据网络当前状况动态地调整令牌桶的最佳参数以适应整个网络。仿真结果表明, 本文方法能够在保证各业务优先级的同时, 降低融合网络设备的压力, 达到了提高整个融合网络业务 QoS 的目的, 完全满足光无线融合接入网络传输的要求。

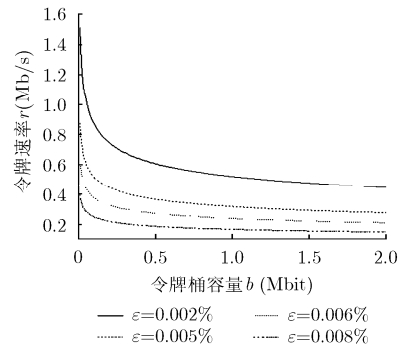


图 8 令牌桶参数 (r,b) 与丢包率的关系

Applications, 2014, 41(5): 459-472. doi: 10.1016/j.jnca.2014.01.004.

[3] Cisco IOS Quality of Service Solutions Configuration Guide, Release 12.2 Part4: Policing and Shaping Overview [OL]. http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/qos/configuration/guide/fqos_c/qcfdpolsh.html. 2016.

[4] LEE C H and KIM Y T. QoS-aware hierarchical token bucket (QHTB) queuing disciplines for QoS-guaranteed Diffserv provisioning with optimized bandwidth utilization and priority-based preemption[C]. 2013 The International

- Conference on Information Networking (ICOIN) IEEE Computer Society, Bangkok, 2013: 351–358. doi: 10.1109/ICOIN.2013.6496403.
- [5] DHAINI A R, Ho P H, and JIANG X H. QoS control for guaranteed service bundles over Fiber-Wireless (FiWi) broadband access networks[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2011, 29(10): 1500–1513. doi: 10.1109/JLT.2011.2132753.
- [6] LEE Y, CHOI S G, and CHOI Y. End-to-end delay differentiation mechanism for integrated EPON—WiMAX networks[J]. *Photonic Network Communications*, 2014, 27(2): 73–79. doi: 10.1007/s11107-014-0427-5.
- [7] GALLARDO J R, MAKRAKIA D, and OROZCO B L. Use of alpha-stable self-similar stochastic processes for modeling traffic in broadband networks[J]. *Performance Evaluation*, 2000, 40(1): 71–98. doi: 10.1016/S0166-5316(99)00070-X.
- [8] PAXSON V and FLOYD S. Wide area traffic: the failure of poisson modeling[J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1995, 3(3): 226–244. doi: 10.1109/90.392383.
- [9] 王汝言, 刘辉, 吴大鹏, 等. 带有生存性感知的低成本光无线混合网络无线功能部署策略[J]. *电子与信息学报*, 2016, 38(6): 1354–1361. doi: 10.11999/JEIT150872.
- WANG Ruyan, LIU Hui, WU Dapeng, *et al.* Low-cost optical network unit deployment strategy with survivability aware in hybrid optical-wireless broadband access networks[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2016, 38(6): 1354–1361. doi: 10.11999/JEIT150872.
- [10] SARIGIANNIDIS A G, ILORIDOU M, NICOPOLITIDIS P, *et al.* Architectures and bandwidth allocation schemes for hybrid wireless-optical networks[J]. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2015, 17(1): 427–468. doi: 10.1109/COMST.2014.2356640.
- [11] AHMED M, AHMED I, and HABIBI D. Service class resource management for green Wireless-Optical Broadband Access Networks (WOBAN)[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2015, 33(1): 7–18. doi: 10.1109/JLT.2014.2365254.
- [12] LIKHANOV N, TSYBAKOV B, and GEORGANAS N D. Analysis of an ATM buffer with self-similar (“fractal”) input traffic[C]. 1995 Fourteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Bringing Information to People, Boston, 1995: 985–992. doi: 10.1109/INFCOM.1995.515974.
- [13] NORROS I. A storage model with self-similar input[J]. *Queueing Systems*, 1994, 16(3/4): 387–396. doi: 10.1007/BF01158964.
- [14] DUFFIELD N G and O’CONNELL N. Large deviations and overflow probabilities for the general single-server queue, with applications[J]. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 1994, 118(2): 363–374. doi: 10.1017/S0305004100073709.
- [15] WU Dapeng, HE Jie, WANG Honggang, *et al.* A hierarchical packet forwarding mechanism for energy harvesting wireless sensor networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2015, 53(8): 92–98. doi: 10.1109/MCOM.2015.7180514.
- [16] MOHAMMAD S H, ZULKIFLI N, and IDRUS S M. QoS-aware mapping and scheduling for integrated CWDM-PON and WiMAX network[J]. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2015, 339(1): 3–9. doi: 10.1007/978-3-662-46578-3_1.
- [17] WU Dapeng, LIU Zuqi, WANG Ruyan, *et al.* Dynamic bandwidth allocation mechanism in EPON with idle time eliminated[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2013, 124(23): 6372–6376. doi: 10.1016/j.ijleo.2013.05.027.
- 王汝言: 男, 1969年生, 教授, 博士, 研究方向为泛在网络、全光网络理论与技术、多媒体信息处理等。
- 池文祥: 男, 1992年生, 硕士生, 研究方向为光无线融合网络。
- 张鸿: 男, 1987年生, 博士生, 研究方向为光无线融合网络。