

基于效用的 EPON VoD QoS 组播实现机制研究

张晋豫¹⁾ 刘犁²⁾ 杨维^{1),3)}

¹⁾(北京交通大学计算机学院 北京 100044)

²⁾(新泽西理工学院计算机科学系 内瓦克 新泽西 07102 美国)

³⁾(东南大学移动通信国家重点实验室 南京 210096)

摘要 服务质量无法保证和低效益是 IP 网络上开展 VoD 业务面临的主要问题. 基于组播业务的网络优先级、用户群的 SLA 优先级和经济优先级, 提出了一个基于效用的 EPON VoD 组播 QoS 优先级(效用优先级)算法. 在网络拥塞的时候, 基于该效用优先级来动态调整组播组的资源分配, 不但节省了带宽需求和降低包丢失率, 而且可通过将网络资源汇聚到高价值的业务上, 提高带宽的效益. 通过对变长和无序 EPON Ethernet 下行帧进行基于效用的定长和有序的改进, 可减少 VoD 业务流的包时延抖动. 仿真实验结果很好地验证了该机制的优点.

关键词 以太无源光网络; 视频点播; 服务质量; 组播

中图法分类号 TP393 **DOI号**: 10.3724/SP.J.1016.2010.00580

Research on the Implement Mechanism of EPON VoD QoS Multicast Based on Utility

ZHANG Jin-Yu¹⁾ LIU Li²⁾ YANG Wei^{1),3)}

¹⁾(School of Computer and Information Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

²⁾(Department of Computer Science, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ. 07102, USA)

³⁾(National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract Non-guaranteed QoS and low benefit are essential problems when VoD runs in IP network. Based on network priority, mass SLA priority, as well as economic priority of multicast service of VoD in EPON, a QoS priority utility algorithm (utility priority) is introduced for multicast. When congestion is occurring, the network resources are re-allocated among multicast group according to their utility priority. This measure can not only reduce bandwidth requirement and packet loss, but also can increase bandwidths benefit by converging them on the higher value services. By turning disorderly and variable-length Ethernet frame into orderly and constant-length one, the delay jitter of VoD packet is reduced. The result of simulation well verifies its merits.

Keywords EPON; VoD; QoS; multicast

1 引言

VoD(Video on Demand)业务需要占用大量的

网络带宽且具有严格的 QoS(Quality of Service)要求, 具有个性和群体性双重属性, 适合使用组播传输. EPON^[1-2] (Ethernet Passive Optical Network) 能够提供 1Gbps(未来可以达到 2.5Gbps 和 10Gbps)

收稿日期:2007-06-10;最终修改稿收到日期:2009-12-23. 本课题得到国家“八六三”高技术研究发展计划项目基金(2001AA122021)、现代农业产业技术体系建设专项基金(KKFR09001531)、东南大学移动通信国家重点实验室开放基金(W200816)资助. 张晋豫,男,1967年生,博士,副教授,主要研究领域为宽带网络技术、网络管理. E-mail: zjy@bjtu.edu.cn. 刘犁,女,1982年生,博士研究生,主要研究方向为网络协议、网络管理. 杨维,男,1964年生,博士,教授,主要研究领域为无线网络技术.

的上下行带宽,其 P2MP(Point-to-Multiple Point)的无源树形拓扑非常适合于广播和组播业务的开展;采用与 IP(Internet Protocol)兼容的以太帧结构,可以和广域网无缝连接;采用集中的下行以太广播和上行 TDMA(Time Division Multiple Address) MAC(Media Access Control)协议,中间不需要路由,可保证较小的包传输时延^[3]. EPON 的这些优点为 VoD 业务的开展提供了便利,但也显示存在一些缺点^[4-5]: (1) 由于所有的 ONU(Optical Network Unit)共享物理媒质,当分路比较高时,带宽提供能力有限;(2) 当网络接入率和多媒体成份增加时,网络拥塞和包丢失率显著增加;(3) 由于采用变长的下行以太帧(64~1518Byte)和无序的帧结构,在突发的业务量环境,具有较大的时延抖动;(4) 支持的优先级机制,如 DiffServ(Differentiated Service)和 802.1Q 等,容易产生所谓的“低效益”问题,即大量低价值的业务流占据大量的带宽^[6-9]. VoD 是增值业务,除了要强调业务的网络优先级保证外,还要兼顾用户的 SLA(Service Level Agreement)和业务的经济优先级保证. 文献[10-11]提出了基于拍卖的网络资源调度机制,文献[12-13]提出基于网络、政策和市场属性的网络业务定价机制,文献[14-15]提出了基于用户的 SLA 的 EPON 的 QoS 实现机制,但目前还没有发现关于组播组群体 SLA 优先级定义以及基于它的 QoS 实现机制的研究成果.

基于组播用户的 SLA 优先级、组播业务的网络优先级和经济优先级,借鉴经济理论,本文提出了一个基于效用的 VoD 组播业务 QoS 优先级(效用优先级)算法,在拥塞时,源调度模块基于效用优先级动态调整编码压缩率和进行基于效用的资源调度,不但节省了网络带宽需求,减少了网络拥塞和丢包率,提高了 VoD 组播业务的 QoS 保证能力,而且通过将带宽汇聚到高价值的组播业务上,提高了网络资源的运营效益,解决了“低效益”问题. 对 EPON 变长和无序的下行以太帧进行了有序和定长的改进: (1) 采用定长以太下行帧;(2) 在一个下行帧中,从前到后按照组播业务的效用优先级降序排列组播业务包,Internet 排在组播业务的后面,仍然采用无序和变长的结构;(3) 不同帧中,同组播业务的数据包的大小保持相同. 通过这些改进,在突发 Ethernet 业务流环境下降低了包的时延抖动,解决了 EPON MAC 机制固有的时延抖动过大问题.

本文第 2 节论述基于效用的 EPON VoD 组播

QoS 实现机制;第 3 节介绍仿真实验和讨论;最后给出我们的结论.

2 基于效用的 EPON VoD QoS 组播实现机制

本文提出了一个基于效用的 EPON VoD QoS 组播实现机制,如图 1 所示.

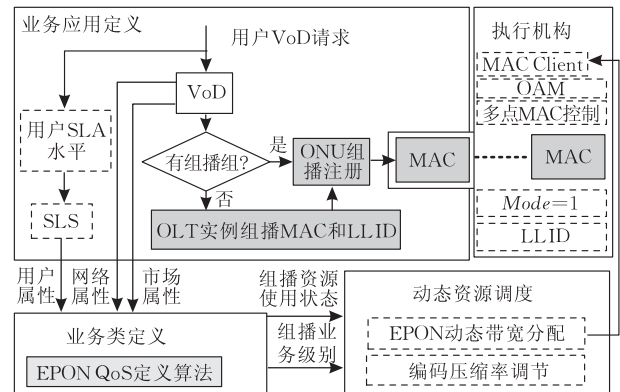


图 1 基于效用的 EPON VoD QoS 组播实现构架

本机制分为 4 个模块: (1) 动态组播业务应用定义; (2) 基于效用的业务类定义; (3) 低丢包率动态资源调度; (4) 低时延抖动执行结构.

2.1 动态组播业务应用定义

EPON 中的数据设备属于第 2 层,数据传输不通过路由器. 二层组播协议有 GMRP(Group Multicast Registration Protocol)和 IGMP(Internet Group Management Protocol) Snooping. GMRP 是一个纯粹二层协议,其工作范围涉及到二层交换机与主机,当一台主机申请加入和离开一个组播组,它向交换机发送一个以 MAC 地址“01-80-C2-00-00-20”为目的地址的 GMRP 包,交换机据此在自己内部建立和维护一个基于 MAC 和转发端口的二层组播转发. IGMP Snooping 的工作范围涉及到路由器、交换机与主机. 交换机中的 IGMP Snooping 功能是通过窥探路由器发出的询问与主机发出的应答包,从而在交换机内建立基于端口的二层组播转发来实现的. 当主机申请加入或离开一个组播,它向路由器发送一个 IGMP 包,该包经交换机到达路由器,路由器据此决定是否转发该组的数据帧. 可以看出,这两个协议在二层上实现组播的功能几乎相同,由于 IGMP Snooping 涉及到三层相关的内容,反应速度没有 GMRP 快,但目前 GMRP 没有 IGMP Snooping 兼容性好,所以本系统采用 IGMP Snooping. 在网络中有路由器时,路由器管理着组播组的建立

和删除、组成员的加入和离开. 本系统用复用器或 ONU 模拟路由器的这些功能. 组播组的建立过程如下: 系统上电工作后, ONU 发送目的地址为 224.0.0.1 询问报文, 各个视频源收到后, 发送目的地址为 224.0.0.2 的加入报文, ONU 收到后建立各个视频组播组, 并在以后的主机询问时, 向主机依次报告, 确保各个视频组播组始终存在. 具体的实现过程如下: 在上行方向, IP STB(Set-Top Box) 接收到红外遥控器的频道切换命令后, 通过视频解码器的串口送给网络处理器. 网络处理器首先将节目频道号转换为 MAC 组播地址, 然后将该 MAC 组播地址封装到 IGMP 的请求加入包中, 发送到 Ethernet 多路统计复用器, 申请频道切换, 即将 IP STP 加入到相应的组播组中. 由于 EPON 的下行数据是广播的, 当前播放的所有视频组播流都会到达 PON 内的每一个 ONU 上, 这样组播组的加入在 ONU 就可完成. 只有在 PON 内没有视频组播流时, ONU 才将 IGMP 加入包转发到 Ethernet 多路统计复用器, 后者将组播地址加入到它的下联端口的组播转发表里, 将该路视频流广播到 PON 内的每一个 ONU. 频道切换涉及到离开与加入组播组两个过程, 为了切换, 组成员必须先离开原来的组播组后再加入到新的组播组中.

当一个 VoD 节目首次被申请时, EPON 为它建立一个组播组. OLT(Optical Line Termination) 首先为该组播组实例化一个组播 MAC, 并绑定一个 LLID(Logical Link Identifier), 然后启动一个发现过程, 将组播 LLID 和组播 MAC 发送给 ONU, 完成 ONU 的组播注册, 自此, ONU(Optical Network Unit) 可以接收此组播组数据流了. 在组播组组建期, 当其它用户申请加入此组播组时, OLT 启动一个相同的发现和注册过程. 当组播组组建期结束后, 业务类定义模块根据所有组播用户的 SLA、组播业务的网络属性和经济属性, 使用 EPON QoS 定义算法, 动态为该组播定义一个业务类, 资源调度模块按照该业务类来分配网络资源, 并交付执行机构来实施.

2.2 业务类定义

EPON 的业务类定义算法的输入参数包括: (1) 宿主的级别(SLA); (2) 宿主的数量; (3) 业务的网络属性; (4) 业务的市场属性.

由于 VoD 是增值业务, VoD 业务的自身价格和组播组的用户数决定了它的市场价值, 而市场价值是影响它的优先级的最重要的因素, 因此可以用

它表示组播组的经济优先级. 组播组的经济优先级可表示为

$$C^x = N^x \times M^x \quad (1)$$

其中, C^x 、 M^x 和 N^x 分别表示组播组 x 的业务总价值和价格 (不包括传输费用) 以及总用户数, 满足 $N^x = \sum_j N_x^j$, N_x^j 表示用户 SLA 级别 j 的用户数, J 是最大的用户级 SLA 级别数.

SLA 是用户和运营商签署的法律文件, 用 EPON 的网络技术语言 SLS(Service Level Specification) 来描述, SLS 包含业务 QoS 水平定义, 由 QoS 参数子集表示, 并进一步被映射为 EPON QoS 机制的转发业务类^[14-15]. EPON 支持 DiffServ QoS 机制^[11-13], 定义了 EF (Expedited Forward)、AF (Assured Forward) 和 BE (Best Effort) 转发业务类, EPON 在 OLT 和 ONU 为每一个转发业务类创建一定长度的优先级队列, 支持不同的优先级别, 如 CBR(Constant Bit Rate), 适应语音业务的 QoS 特征, VBR(Variant Bit Rate), 适应视频业务 QoS 特征, 以及 BE(Best Effort) 优先级, 适应非实时数据业务的传输特征. 优先级调度机制负责将到达的数据包按照优先级放入相应的转发队列并按照调度策略进行发送控制. IEEE802.1D 支持严格的优先级调度机制^[6,9], 即为不同的业务类创建等长的队列, 优先转发高优先级队列中的数据包, 只有当高优先级队列为空时, 才可能转发低优先级队列中的数据包. 当高优先级别的队列满时, 后到达的高优先级别的包可以替换低优先级队列中的低优先级数据包. 因为低优先级队列中的数据包要等到高优先级队列为空才能发送, 而 VoD 业务是持续的业务流, 因此, 即使在网络总的业务量降低的情况下, 低优先级业务类的数据包的传输时延和丢包率也可能增加, 产生所谓的“轻负载惩罚”问题^[6,8]. 为了避免这种现象发生, 通用的方法为每一个业务类定义一个最大带宽门限^[7,9]. 在该限制下, 对相等的带宽, 高优先级的业务类通过接纳较少的用户业务应用来提高 QoS 水平. 按照经济学理论, 对 ISP (Internet Service Provider) 来说, 相等的资源需要产生相等的效益, 这势必造成高优先级别的业务类单位带宽具有较高的价格^[10-11]. 因此, 用户的 SLA 优先级可用该级别用户拥有的最大平均带宽的价格来表示, 优先级别越高, 相同带宽支持的用户数越少, 用户拥有的平均带宽较多, 数据包遭遇拥塞的概率较低, 业务应用的 QoS 水平越高. 一个用户 SLA 级别可

表示为

$$p^j = \frac{W_{\max}^j \times R}{N_{\max}^j} \quad (2)$$

其中, p^j 表示 SLA 级别为 j 的用户的平均优先级, R 表示 EPON 单位下行带宽的价格(对各个级别是一样的), W_{\max}^j 为用户 SLA 级别 j 具有的 VoD 最大带宽, 满足 $\sum_j W_{\max}^j = W^{\text{vod}}$, N_{\max}^j 为用户 SLA 级别 j 最大的用户数, W^{vod} 为组播可以使用的带宽。

对一个 VoD 组播组, 它的价值包括传输费用(网络使用费)和 VoD 视频业务的销售额. 价值越大, 为运营商带来的利润就越多. 由于 VoD 业务是增值业务, 就应该给它提供好的 QoS 水平. 因此, 可以用 VoD 组播组的总价值来表示它的 QoS 水平优先级, 即效用优先级, 表示为

$$l^x = k_p \left(\sum_j (N_x^j p^j) T^x \right) + k_c C^x, \quad k_p + k_c = 1, \quad k_p, k_c \leq 1 \quad (3)$$

其中, l^x 为组播组 x 的 QoS 优先级, T^x 为播放时长, k_p 和 k_c 为加权系数. 其中, 第 1 项中 $\sum_j (N_x^j p^j) T^x$ 表示 VoD 组播业务总的传输费用, 即占用带宽资源的总费用, 第 2 项 C^x 表示 VoD 业务批发销售给组播用户的总价值。

2.3 EPON 动态低丢包率资源调度机制

EPON 的数据链路层扩展了 IEEE 802.3 定义的 Ethernet 网络的数据链路层, 以实现点到多点的访问控制. 在 OLT 侧, 多 MAC 实体共享同一个多点 MAC 控制. 多点 MAC 控制是包含控制解析器/复用器功能的唯一实体, 根据多点发送控制中的一个外部控制信号来进行发送模块的使能, 避免了发送冲突, 丢包不会发生在 OLT 和 ONU 之间的 ODN (Optical Distribution Network) 上, 因此 EPON 不需要 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) 协议. 由于 Ethernet 业务流具有突发性, OLT 和 ONU 的优先级队列有可能发生溢出而产生丢包现象。

VoD 业务属于流媒体业务, 或者 IPTV (IP Television) 业务, 基于拥塞机制的 TCP (Transport Control Protocol)/IP 不能为流式传输提供所需要的 QoS 保证^[16-17]. 为了解决在 IP 网络上传输流媒体所固有的 QoS 缺陷, 除了改进协议外, 如使用 RTP (Real-time Transport Protocol) 和 RTCP (RTP Control Protocol)、RTSP (Real-Time Streaming

Protocol)、MMS (Microsoft Media Server Protocol) 等, 压缩编码是一种很重要的方法. 压缩编码可以减少业务的带宽需求, 降低网络负载, 从而减少拥塞发生的概率. 当前普遍使用的流媒体压缩协议 MPEG (Moving Picture Experts Group) 2、MPEG4 和 H. 264 等, 都可以根据实时流媒体协议反馈的网络的拥塞状态, 自动或手动调节压缩编码参数来修改压缩率^[16].

由于 VoD 是增值业务, 所以在网络拥塞时, 应该按照组播组的价值来分配带宽: 价值高的压缩少一点, 价值低的压缩多一点. 由于在式(3)定义的组播组效用优先级等于组播组的价值, 因此, 在网络拥塞时分配给一个组播组的带宽或压缩率, 应和它的效用优先级成正比. 在网络拥塞时, 一个组播组的压缩率可表示为

$$r^x = W^{\text{vod}} \left(\frac{l^x}{\sum_i (l^i \times \omega_n^i)} \right) \quad (4)$$

其中, r^x 为多播组 x 的压缩率, 等于需求带宽 ω_n^x 和实际分配带宽 ω_a^x 的比 $\frac{\omega_a^x}{\omega_n^x}$, N^{vod} 为总的组播数。

当一个 VoD 组播组建立时, 它的加入会提高网络的负载(其不压缩时的发送带宽需求在 VoD 的 Profile 中描述); 网络有可能会发生拥塞和不拥塞两种情况, 为了保证整个网络的 QoS, 同时最大限度提高带宽资源的使用价值, 每一个在线的 VoD 应通过调节压缩率来调整它们的发送带宽, 调节算法如图 2 所示。

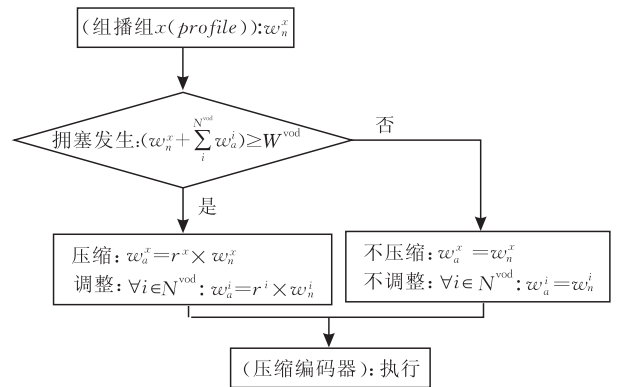


图 2 带宽资源的分配调节过程

当新的组播组 x 加入没有引发网络拥塞时, 按照组播组 x 的带宽需求 ω_n^x 来支配带宽, 业务流不压缩, 提供原始的视频质量(最好). 其它在线的 VoD 组播组业务流的发送带宽不作调整, 它们也提供不压缩的最好的视频质量. 当要引发拥塞时, 为了避免

拥塞发生,要对组播组 x 的业务流进行压缩,其它在线的 VoD 组播组业务流都要通过压缩来调整发送速率. 压缩率按照式(4)计算,对组播组 x ,其指配的业务流发送带宽为 $w_a^x = r^x \times w_n^x$,对其它在线的组播组,其业务流的发送带宽调整为 $\forall i \in N^{\text{vod}}: w_a^i = r^i \times w$.

对组播组 x ,资源的分配算法可以用下面的伪代码表示:

$$w_a^x = w_n^x + \sum_i^{N^{\text{vod}}} w_a^i \geq W^{\text{vod}} ? = (r^x \times w_n^x) : w_n^x \quad (5)$$

对 MPEG2/4 以及 H. 264 压缩编码算法,压缩分为无损压缩和有损压缩两种,其中无损压缩是通过数学变换算法来实现的,如矩阵的对角变换等,有损压缩是通过帧内、帧间预测算法以及帧速率和帧体积调整等机制来实现^[16-17],压缩率越低,其对视频质量的影响越小,式(4)参考所有在线组播组的价值来定义压缩率算法,不但可通过调节供求关系避免拥塞,而且可以保证价值大的组播组拥有最小的压缩率,提供最好的视频质量. 因此,机制实现了网络资源基于效用的优化.

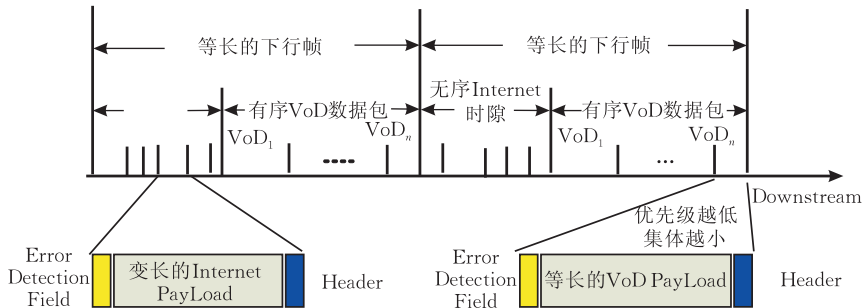


图 3 低时延抖动下行帧结构

(1) 变变长帧为定长帧. Ethernet 下行帧长度可在 64~1518Bytes 之间选择,是产生时延抖动主要原因,采用定长帧,可以将相邻下行帧中的数据包的时延抖动限制在一个范围内.

(2) 变变数据包长为定数据包长. 在不同的帧中,变变体积的同组播组数据包为等体积数据包,不同组播组的数据包的大小和 QoS 优先级相关,级别越高,数据包越大. 一个组播组业务流的数据包的大小可表示为

$$S_x^i = \frac{L \times w_a^i}{1000} \quad (7)$$

其中, S_x^i 表示在一个帧中效用优先级为 i 的组播组 x 的包的大小, L 为总帧长度.

(3) 变无序为有序. 在一个下行帧中,从头开始,按照效用优先级的大小,降序排列不同 VoD 组

EPON 的下行是基于 LLID 来过滤的,一个 LLID 可以是一个组播组、单拷贝广播 SCB(Single Copy Broadcast) 或一个用户单播. 下行帧中可以任意组装所有 LLID 的可变长数据包(64~1518Byte). 因此,一个 VoD 组播组业务流的下行带宽是一个统计复用带宽,可以用发送的总时长表示:

$$t^x = \frac{(w_a^x)}{W^{\text{vod}}} T_{\text{all}}^{\text{vod}} \quad (6)$$

其中, t^x 和 $T_{\text{all}}^{\text{vod}}$ 表示单位时间内分配给新组播业务流 x 和所有已在线 VoD 组播组业务流的发送时间.

2.4 低时延抖动执行结构

在 OLT 侧,通过实例化多个多点 MAC 控制实体来实现上层的多个 MAC 控制客户端同下层的多个 MAC 之间的接口. 在 ONU 侧,仅使用一个 MAC 实体同 OLT 的一个 MAC 实体进行通信. MAC 控制客户端同 MAC 实体的通信要经过 OAM (Operation, Administration & Management) 管理.

为了减少时延抖动,针对抖动产生的原因^[3-4],对变长无序的下行以太网帧进行如图 3 所示的改进.

播组数据包. Internet 数据包放在 VoD 的后面,可以是变长的. 高优先级级别的数据包大,传输带宽高,在业务体积相同的情况下,最早传输完毕. 采用倒序,可以保证帧结构稳定性.

VoD 一般是持续业务流,以上改进,可保证 VoD 数据包具有比较小的时延抖动. 当下行带宽求大于供时,各个组播组业务流的压缩编码率增加,数据包减少,从而时延抖动增加. 新的组播组的产生和组播用户数的动态变化会改变 QoS 优先级,帧中数据包顺序随之改变,从而引发时延抖动增加. 增加的时延抖动可表示为

$$(j^x)_{n_1}^{n_2} = \left(\sum_{i=n_2}^n S_x^i - \sum_{i=n_1}^n S_x^i \right) \times 8/10^9 \quad (8)$$

其中, $(j^x)_{n_1}^{n_2}$ 表示在两个连续帧中,组播组 x 的 QoS 优先级从第 n_1 级变成 n_2 级别时的时延抖动,等于在

一个帧中,发送优先级低于 n_2 的所有数据包和优先级低于 n_1 的所有数据包的时间差。

VoD 是具有 time stamp 的流式媒体,时延抖动对视频质量的影响较大,所以对于价值越高的 VoD 组播组,其时延抖动应尽量地小。在定帧长和定数据包大小的 Ethernet 帧中,优先级比较高的 VoD 组播组的业务流具有比较大的数据包,因此受其它 VoD 数据包的影响比较小,其时延抖动的变化较小。所有在线的 VoD 业务数据包采用倒序排列,整个 VoD 业务的时延具有较大的统计稳定性。因此,机制实现了 VoD 组播组业务流数据包的时延抖动基于效用的优化。

3 仿真和讨论

为了检验本文提出机制的性能,实现了仿真系统,如图 4。

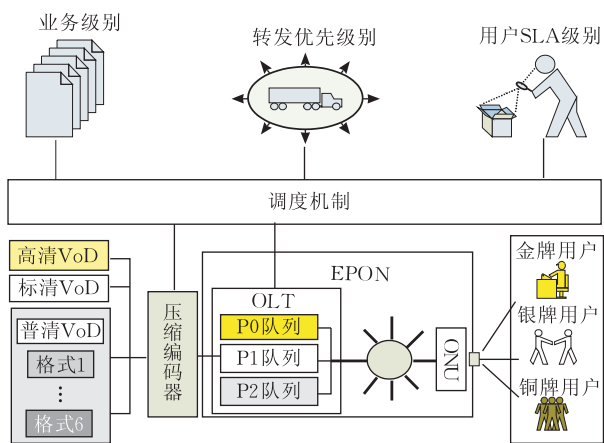


图 4 仿真网络环境

仿真网络:具有 16 个 ONU,用户到 ONU 的接入链路速率是 100Mbps,OLT 到 ONU 的距离是 10km。上行最大的周期是 $T_{MAX} = 2ms$ 。分离两个连续的发送窗口的保证时间是 $5\mu s$,下行帧的大小为 $L = 1518Bytes$ 。OLT 中定义了 3 个优先级队列 P0、P1 和 P2,缓存大小都是 8Mbytes,3 个优先级保证的最大带宽分别为 100Mbps、600Mbps、300Mbps。EPON 使用 P1 优先级,即 $W^{vod} = 600Mbps$ 。单位带宽的价格 $R = 0.06yuan/Mbps$ 。VoD 的组播组的组建周期 $T_{cmgs} = 120s$ 。单位时间(1s)分配给 VoD 的发送时间 $T_{all}^{vod} = 480ms$, $k_p = k_c = 0.5$ 。

用户级别:定义了 3 个用户级别,即 $J = 3$,金牌用户 100 个,银牌用户 300 个,铜牌用户为 600 个,分别共享相同的 200Mbps VoD 最大带宽。 $W_{max}^1 = W_{max}^2 = W_{max}^3 = 200Mbps$ 。

VoD 业务:定义了 300 个 VoD 业务(组播),播放时长都为 1 小时。格式为

(1) 高清 HD(High Definition): 8Mbps, 30F/s, 1920×1080 , 宽高比 16 : 9, 价格为 5 元/次,总数 50 个。

(2) 标清 SD(Standard Definition): 2Mbps, 30F/s, 640×480 格式, 宽高比 4 : 3, 价格为 3 元/次,总数 50 个。

(3) 普通清晰度 LD(Lower Definition): 包括 6 种格式:① 32kbps、10F/s 和 QCIF(Quarter Common Intermediate Format)(176×144), 0.5 元/次,总数 50 个;② 64kbps、15F/s 和 QCIF, 0.6 元/次,总数 50 个;③ 128kbps、15F/s 和 CIF(Common Intermediate Format)(352×288), 0.7 元/次,总数 50 个;④ 256kbps、15F/s 和 QCIF, 0.8 元/次,总数 50 个;⑤ 512kbps、30F/s 和 CIF, 0.9 元/次,总数 50 个;⑥ 1024kbps、30F/s 和 CIF, 1 元/次,总数 50 个。

实验结果及讨论:产生一个 0~999 的随机数,对应一个用户,该随机数模 3 的余数表示用户的级别,0 表示金牌,1 表示银牌,2 表示铜牌。产生一个 0~300 之间的随机数,表示用户选择的组播组,该随机数模 50 的商表示组播组的 VoD 格式。

带宽的效益:不同接入率下本机制和未改进的机制的 VoD 带宽的总价值比较,如表 1 所示。

表 1 本机制和未改进机制在不同接入率下 VoD 带宽总价值比较

接入率/%	带宽总价/元		接入率/%	带宽总价/元	
	本机制	未改进机制		本机制	未改进机制
1	0.71	0.71	50	882.61	869.35
5	61.39	61.39	55	984.08	968.75
10	143.76	143.76	60	1059.97	1044.45
15	249.56	249.56	65	1148.30	1132.09
20	326.83	326.83	70	1235.11	1218.10
25	425.22	425.22	75	1312.79	1295.10
30	523.01	523.01	80	1403.49	1385.10
35	620.29	620.29	85	1472.45	1453.85
36.3	645.33	633.95	90	1537.90	1518.70
40	709.39	697.85	95	1617.49	1598.10
45	809.30	796.45	100	1690.93	1670.80

网络带宽的总价值的计算公式为

$$V = \sum_x ((N^x \times w_a^x \times R) + C^x) \quad (9)$$

其中, V 表示所有 VoD 带宽的总价值, X 表示总的组播数(300)。

未改进机制采用传统的编码压缩率公式:

$$r^x = \frac{W^{vod}}{\sum_i w_n^i}$$

即所有的组播组使用统一的压缩率,压缩率带宽的调度机制仍采用式(5).

在接入率为 36% 时,带宽被用完,此前,两种机制的带宽总价值一样,因为两个都按照需求来提供带宽.之后,本机制的 VoD 总带宽价值始终要大于未改进机制,而且随着接入率增加快速增加.

随着压缩率的增加,视频质量会降低,视频质量和压缩率之间的关系可以用图 5 所示.

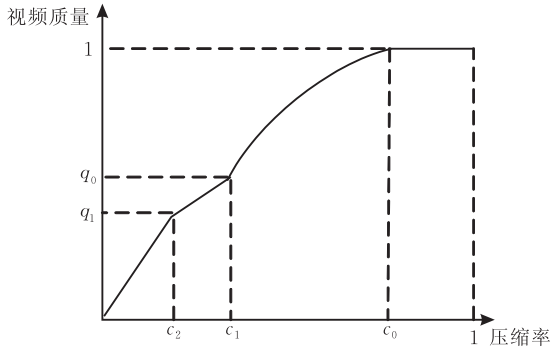


图 5 视频质量和压缩率之间的关系

在 $[c_0, 1]$ 为无损压缩, c_0 表示无损点. $[c_1, c_0]$ 为预测压缩, c_1 为预测点, 对应的视频质量 q_0 为临界清晰度, 也就是用户可以接受的最差的画面质量. 在 $[c_2, c_1]$ 为帧速率压缩, c_2 点为裁员点, 对应的视频质量 q_1 为临界动画质量, 也就是用户可以接收的最差的帧速率, 在 $[0, c_2]$ 为帧体积压缩.

本文提出的机制使价值最大的组播组业务流具有比较大的压缩率(压缩最少), 因此, 视频的质量比较好. 视频质量直接影响到收视率, 这样网络资源的价值就加速增加. 在另外的关于收视率实验中, 在 1 个小时内 (VoD 业务的平均时长为 1 个小时), 本文的机制比没有改进的机制的价值平均要高大约 15~20 倍.

丢包率比较: 本机制和未压缩情况下的丢包率对比, 如图 6 所示.

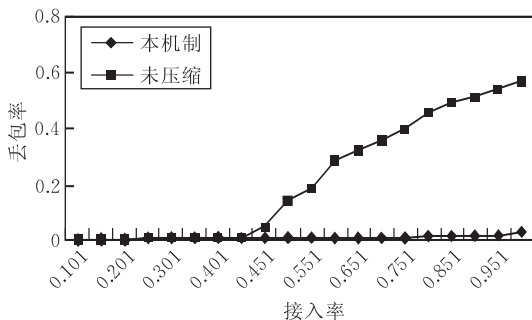


图 6 丢包率特征

在接入率为 0.42 时, VoD 带宽被用尽, 未压缩的情况下丢包率开始急剧增加, 但使用本机制, 丢

包率一直维持很小.

时延抖动: 在不同接入率下第一个组播组时延抖动情况, 如图 7 所示.

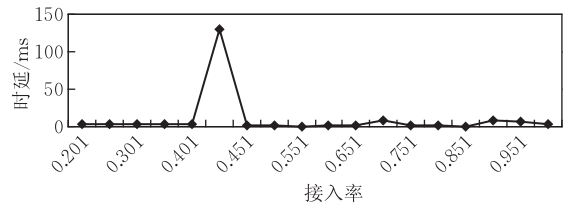


图 7 时延抖动情况

当接入率为 0.42 时带宽被用完, 此时发生大的时延抖动, 但很快抖动就趋于平稳.

实验结果显示: 本机制可以提高带宽的效益, 能够维持小的丢包率和小的时延抖动.

4 结 论

随着宽带接入技术的发展和普及, VoD 业务得到了迅猛的发展, 多播是最适合 VoD 特点的传输技术. EPON 作为公认的新一代接入网络技术正得到广泛的应用, 但在 EPON 中开展多播还存在时延抖动过大, 带宽提供能力、包丢失率过高、“轻负载惩罚”、“低资源效益”等问题.

本文提出了一个基于效用的 EPON VoD QoS 组播实现机制. 在业务应用定义模块, 通过为组播组实例化一个组播 MAC 和 LLID, 并启动发现过程对申请用户进行组播注册, 从而充分利用 EPON 的数据链路层提供的便利机制容易地实现了组播. 在业务类定义模块, 在综合了业务的市场特性、网络特性和用户群特性的基础上, 提出了一个基于效用的组播组 QoS 优先级(效用优先级)算法, 通过资源调度模块在拥塞发生时基于效用优先级对编码压缩率和资源分配计划进行调度, 不但节省了带宽需求, 减少了丢包率, 而且通过将资源汇聚到高价值 VoD 业务和高级别的组播群用户上, 提高了带宽的使用价值, 较好地解决了“资源低效益”问题. 在执行机构模块, 通过对 EPON 无序、变长的下行以太广播帧进行了有序、定帧长和定组播包包长的改进, 有效减少了 VoD 业务流数据包的时延抖动. 仿真实验结果显示, 在网络拥塞的时候, 本机制可以提高带宽的效益, 保持低的丢包率和低的时延抖动.

参 考 文 献

- [1] Chen Jie, Ao Li, Liu Qian et al. Requirement analysis for the management interface of Ethernet passive optical network

- (EPON). YD/T 1475, 2007(in Chinese)
(陈杰, 敖立, 刘谦等. 接入网络技术要求-基于以太网方式的无源光网络(EPON). YD/T 1475, March 2007)
- [2] Wang Ying, Meng Luo-Ming, Qiu Xue-Song et al. Requirements and analysis for the management interface of Ethernet Passive Optical Network (EPON). ITU-T Recommendation Q. 838.1, Oct 2004
- [3] Zheng J, Mouftah H T. Media access control for Ethernet passive optical networks: An overview. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(2): 145-150
- [4] Chang Kai-Chien, Liao Wanjiun. On the throughput and fairness performance of TCP over Ethernet passive optical networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(12): 3-12
- [5] Lallukka S, Raatikainen P. Link utilization and comparison of EPON and GPON access network cost//Proceedings of the GLOBECOM 2005, St. Louis, Missouri, USA, 2005; 5
- [6] Sherif Sherif R, Hadjiantonis Antonis, Ellinas Georgios et al. A novel decentralized ethernet-based PON access architecture for provisioning differentiated QoS. Journal of Lightwave Technology, 2004, 22(11): 2483-2497
- [7] Chen Biao, Chen Jiajia, He Sailing. Efficient and fine scheduling algorithm for bandwidth allocation in ethernet passive optical networks. IEEE Journal of Volume Selected Topics in Quantum Electronics, 2006, 12(4): 653-660
- [8] Kramer G, Mukherjee B, Pesavento G. IPACT: A dynamic protocol for an ethernet PON (EPON). IEEE Communication Magazine, 2002, 40(2): 74-80
- [9] Shami A, Bai Xiaofeng, Assi C et al. Quality of service in two-stage Ethernet passive optical access networks//Proceedings of the 13th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN 2004). Chicago, IL, USA, 2004; 352-357
- [10] Zhang Jin-Yu, Meng Luo-Ming, Qiu Xue-Song et al. An optimal adaptive resource pricing mechanism for IP-DiffServ network. Journal of Software, 2005, 16(8): 1456-1464 (in Chinese)
(张晋豫, 孟洛明, 邱雪松等. 一个优化的 IP-DiffServ 动态资源定价机制. 软件学报, 2005, 16(8): 1456-1464)
- [11] Zhang Jin-Yu, Liu Li, Meng Luo-Ming et al. Quantitative QoS management implement mechanism in IP-DiffServ. Journal of Computer Science and Technology, 2005, 20(6): 831-835
- [12] Zhang Jin-Yu, Meng Luo-Ming, Liu Feng et al. Research on a multi-policy-based traffic engineer implementing mechanism in IP-DiffServ network. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(7): 1194-1198 (in Chinese)
(张晋豫, 孟洛明, 刘峰等. 一个基于多策略的 IP-DiffServ 业务量工程实现机制研究. 电子学报, 2006, 34(7): 1194-1198)
- [13] Zhang Jin-Yu, Liu Li, Ge Hong-Hui. Research on implement mechanism on an active NGN service pricing decision support system. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(2): 256-260 (in Chinese)
(张晋豫, 刘犁, 葛洪慧. 一个动态 NGN 的价格决策支持系统实现机制研究. 电子学报, 2007, 35(2): 256-260)
- [14] Zhang Jin-Yu, Meng Luo-Ming, Qiu Xue-Song et al. A real time accounting management with constant price for IP-DiffServ network. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2005, 32(3): 66-70 (in Chinese)
(张晋豫, 孟洛明, 邱雪松等. 一个恒价的 IP 接入网实时计费管理机制. 北京邮电大学学报, 2005, 32(3): 66-70)
- [15] Zhang Jin-Yu, Meng Luo-Ming, Qiu Xue-Song et al. An SLS based edge-to-edge QoS management mechanism in access network. Journal of Electronics & Information Technology, 2005, 27(7): 1141-1146 (in Chinese)
(张晋豫, 孟洛明, 邱雪松等. 一个基于 SLS 的接入网边到变 QoS 管理机制. 电子与信息学报, 2005, 27(7): 1141-1146)
- [16] Zhang Jin-Yu, Liu Li. Research on an edge-to-edge IPTV QoS implement mechanism in wireless environment. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2007, 30(2): 93-97 (in Chinese)
(张晋豫, 刘犁. 在无线网络环境中 IPTV 端到端 QoS 的实现机制. 北京邮电大学学报, 2007, 30(2): 93-97)
- [17] Zhang Jin-Yu, Liu Li. Research on management architecture on IPTV based on multiple QoS mechanism. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2006, 29(12): 144-148 (in Chinese)
(张晋豫, 刘犁. 多 QoS 机制的 IPTV 管理构架研究. 北京邮电大学学报, 2006, 29(12): 144-148)



ZHANG Jin-Yu, born in 1967, Ph.D., associate professor. His research interests include bandwidth network technology and network management.

LIU Li, born in 1982, Ph.D. candidate. Her research interests include network protocol and network management.

YANG Wei, born in 1964, Ph.D., professor. His research interests include wireless network technology.

Background

Although EPON can provide many bandwidths, it is pre-requisite to VoD service, but it is not enough to meet with the requirement of the market scale development. Its scheduler mechanism can not provide delay and delay jitter assurance, and can not resolve the low benefit during congestion. Now, they have become hotspot in academic and industrial areas all over the world, many mechanism, such as IPACT(interleaved polling with adaptive cycle time), M-SFQ(Modified start-time fair queuing), D-CRED(dynamic credit distribution), etc. is proposed, but because they are not involved into MAC and protocol, the question still exist.

Multicast is desirable technology to delivery the VoD service, it can save bandwidth requirement through transport convergence, especially, the mechanism of EPON downward broadcast MAC provides convenience for multicast implementation.

Fine scheduler mechanism is recognized as the primary technology for resolving the QoS non-guarantee problem and low benefit problem, but it need to build a buffer for each SLA class in each forward buffer. Along with the SLA class number and service application size increasing, the mechanism become too complex and computing burden become too heavy. So it can not support the large users scale and the large service size, the scalability is low.

This paper presents a QoS-aware multicast mechanism on EPON, it allocates bandwidth for a multicast group to meet the VoD requirement when network is not busy, it re-allocates bandwidth, forward time and re-configures the compression ratio of media coder among the exiting multicast group according their utility priority during congestion, be-

cause utility priority is function of VoD forward priority, total economy priority and statistical SLA priority of multicast group, it can not only provide bandwidth and forward time to meet the VoD service requirement which is equivalent to their utility priority, but also can induces network resource (bandwidth and forward time) and user to the higher value service, the low benefit problem is avoided. This paper proposes an orderly and constant-length Ethernet frame, it can reduce the delay jitter of the multicast packet.

This research is supported by National High Technology Research and Development Program (863 Program) of China under grant No.2001AA122021, the earmarked fund for Modern Agro-industry Technology Research System under grant No. KKFR09001531, Open Research Fund of National Mobile Communications Research Laboratory of Southeast University under grant No. W200816.

Supported by 863 Program and based on researches on key technologies in EPON, the EPON devices, network, EMS(Element Management System), as well as services are developed. It is also needed to propose the national standard suggestion of China for EPON technology and EPON network management.

Now, the authors have stipulate the technology standard of EPON for Ministry of Industry and Information Technology of People's Republic of China (YD/T 1745), and EMS of EPON for ITU-T(ITU-T Recommendation Q. 838.1).

EPON VoD QoS Multicast based on Utility is aimed to the key technology of EPON, it is regarded as a basic network protocol and basic network infrastructure in 863 project.