

基于 AVS-M 的 3G 视频流媒体传输与差错控制^{*}

杨 猛, 孙艳丰, 李 铎, 苏海斌

(北京工业大学 北京市多媒体与智能软件技术重点实验室, 北京 100022)

摘 要: 分析了以 RTP 包传输视频数据, 并以 RTCP 包进行控制的传输机制。根据 3GPP 规范和相关协议, 设计实现了针对 AVS-M 码流的负载包、重传包和六种不同的 RTCP 包, 包括引入的 FB 包。建立了一个包传输和控制系统。在立即反馈的基础上提出了一种基于分层重传的差错控制机制。

关键词: RTP/RTCP; 包格式; 传输和控制系统; 差错控制机制

中图法分类号: TP393 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2006)09-0234-03

3G Video Streaming Transmission and Error Control Based on AVS-M

YANG Meng, SUN Yan-feng, LI Xin, SU Hai-bin

(Beijing Municipal Multimedia & Intelligent Software Key Laboratory, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: This paper analyzes the transmission mechanism which uses RTP packet to transmit video media data and uses RTCP packet to control the transmission. In accordance with the 3GPP specification and related protocols, we design payload packet, retransmission packet and six different RTCP packets including FB packet for AVS-M. We set up a system for packet transmission and transmission control, and propose a layered retransmission error control mechanism based on immediate feed-back.

Key words: RTP/RTCP; Packet Format; Transmission and Control System; Error Control

随着 3G 移动技术的不断发展和成熟, 无线网络的带宽已经能够满足视频信息的要求, 而视频流媒体也成为未来的应用热点之一。我们参考 3GPP 相关技术规范, 在中国移动视频标准 AVS-M 技术的基础上建立了一个 3G 视频流媒体点播系统。而在实际应用中, 3G 流媒体系统应提供一个相对完善的 QoS 机制。QoS 机制包括拥塞控制和差错控制两个方面。本文在拥塞控制的基础上, 建立了一个适用于差错控制的基于 AVS-M 码流的 RTP/RTCP 包传输和控制系统。我们设计了传输 AVS-M 视频数据的 RTP 包和传输控制信息的 RTCP 包, 在系统中实现了打包和解包功能。根据实际需要, 在系统中采用立即反馈机制进行 RTCP 控制, 并提出了一个适用的基于分层重传的应用层差错控制机制。另外, 该文考虑了由差错控制引起的拥塞控制, 并给出了解决方案。

1 3G 流媒体系统结构

在前期工作中, 我们根据 3GPP 相关规范^[1] 和中国视频标准 AVS-M^[2] 建立了 3G 视频流媒体系统。其结构如图 1 所示, 主要包括四大部分, 即视频编/解码器、AVS-M 码流的 3GP 文件生成、流媒体服务器和客户端。3G 流媒体系统在应用过程中需要完成会话建立、管理和媒体传输。因此, 流媒体服务可以分为会话层和传输层。在应用过程中, 系统通过 RTSP/SDP 协议实现会话的建立和管理; 通过 RTP/RTCP 协议实现媒体

数据的传输和控制。本文重点讨论媒体数据的传输及差错控制。

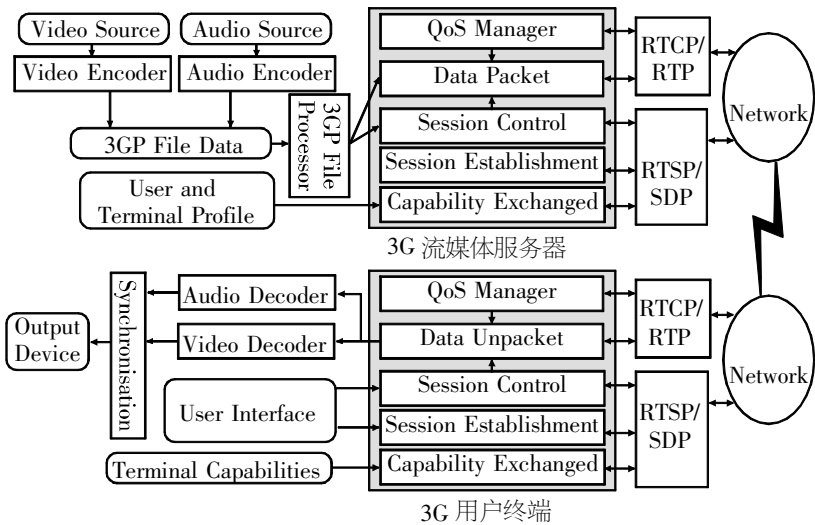


图 1 3G 流媒体服务系统框架图

2 RTP/RTCP 和系统中使用的包

实时传输协议(Real-time Transport Protocol, RTP)^[3] 是针对多媒体数据流的一个传输协议, 其目的是提供时间信息和实现流同步。RTP 本身只提供实时数据的传输, 并不保证 QoS 或可靠性传输, 也不提供流量控制或拥塞控制。它依靠 RTCP 来提供这些服务。

实时传输控制协议(Real-time Transport Control Protocol, RTCP)^[3] 负责管理传输质量在当前应用进程之间交换控制信息。在 RTP 会话期间, 各参与者周期性地传送 RTCP 包, 包中含有已发送的数据包数量、丢失的数据包数量等统计资料。因此, 服务器可以利用这些信息动态地改变传输速率, 甚至改变负载类型。RTCP 主要有四个功能^[4]:

收稿日期: 2005-05-03; 修返日期: 2005-10-14
基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(40410031); 多媒体与智能软件技术北京市重点实验室资助项目(KB102-00584); 北京工业大学研究生科技基金资助项目(YKJ-2004-52)

(1) QoS 反馈。反馈信息包括发送方和接收方报告, 其中包含的信息有丢包率、丢包数、延迟和抖动。这些反馈可以用来进行拥塞控制, 也可以用来监视网络和诊断网络中的问题。

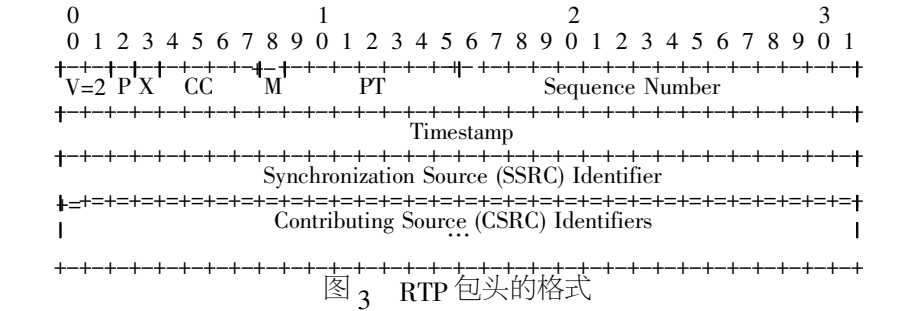
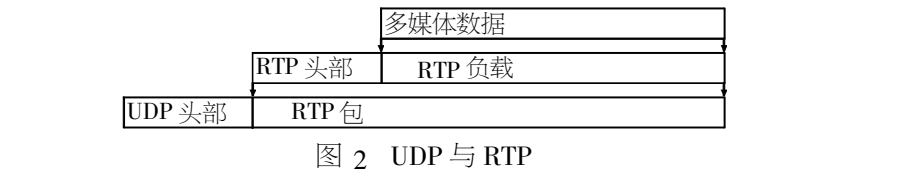
(2) 参与者识别。提供全局唯一的信源描述信息, 包括姓名、电话号码等。

(3) 调整 RTCP 包的发送率。

(4) 媒体间同步。发送方报告中含有实时指示和相应的 RTP 时间戳, 这些信息用于同步。

RTP 包包括包头和负载两部分, 图 2 是 RTP 包头的格式。其中 PT 长度为七位, 表示 RTP 包负载的类型, 如 31 表示 H. 261 类型的负载; Sequence Number 长度为 16 位, 表示包的序号, 用于判定包的丢失, 如接收端收到序列号为 86 和 89 的包, 则可判断丢失了 87, 88; Timestamp 长度为 32 位, 用于提供包内第一个字节的采样时间, 可以为播放提供同步功能; SSRC 同步源标志符, 表示包的来源。

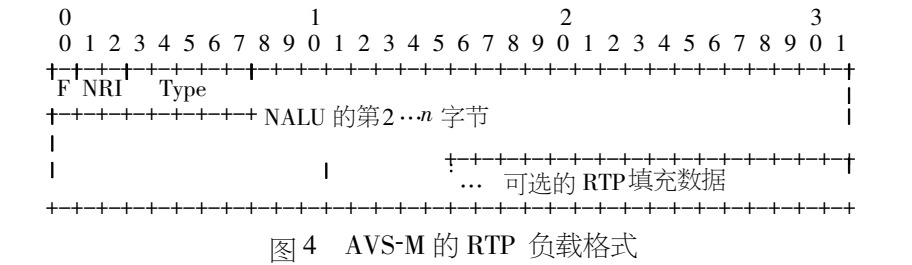
RTP/RTCP 包的传输是在 UDP 和 TCP 之上的, 如图 2 所示。在实际应用中使用相邻的两个端口号。RTP 包头的格式如图 3 所示。



RTP 负载格式依赖于具体的编/解码器, 我们的系统依赖于 AVS-M 编/解码器, 并采用其中的 NAL 机制进行打包。

2.1 AVS-M 码流及其 RTP 负载格式

AVS-M 码流按照编码方式分为 I 帧和 P 帧, 每帧由连续的条带组成, 条带又由宏块组成。本文参考文献[5] 实现了 AVS-M 码流 RTP 包格式。AVS-M 码流可以用单包、复合包、分裂包来传送 NAL 单元, 如对单包模式, 即每个包必须只包含一个 NAL 单元, 其负载格式如图 4 所示。



F 值占一位, 值 0 表示 NALU 中不宜包含比特错误或其他语法错误。值 1 表示 NALU 头和净载中可能包含比特错误或其他语法错误。解码器最简单的操作是将其丢弃, 然后进行错误掩盖。

NRI 值占两位, 除了必须符合 AVS-M 视频标准中的规定之外, NRI 表示相对传输优先级。我们可以利用这个信息更好地保护更重要的 NAL 单元。优先级由高到低的 NRI 值依次为 11b, 10b, 01b, 00b。序列参数集、图像参数集和 IDR 图像对应

的 NALU 中的 NRI 值宜为 11b。

Type 表示净载的格式类型, 包括单包、复合包和分裂单元, 相应类型可参考文献[5]。

根据文献[6], 我们设计并实现了 AVS-M 码流的重传包。重传包的格式与原始包的格式相同, 只是在负载的头部加上了 16 位 OSN 标志域用于表示要重传的原始序列号。OSN 用于接收端判断该包所在码流的位置。

2.2 RTCP 包及其应用

我们设计并实现了 SR, RR, SDES, BYE, APP 五种 RTCP 包, 并且根据实际需要设计了立即反馈包 FB^[5]。这几种包可以单独作为 RTCP 报告包, 也可以组成复合包。SR 和 RR 分别传送发送方报告和接收方报告; SDES 用于表述源的信息, 其中的 CNAME 选项必不可少; BYE 用于传输会话结束时的控制信息; APP 则用于传输相应的应用数据。我们采用 RTCP 复合包来传输上述五种包的信息。

SR 包是发送方报告, 用于报告发送数据的信息, 包括包数、时间戳、发送的 NTP 时间等, 这些信息可用于客户端判断网络情况, 或者计算 RTT 时间。

RR 包作为接收方的反馈报告, 在我们的系统中主要用于反馈客户端接收包的信息, 包括丢包比例、丢包总数、最高序列号、上一个 SR 包到达时的时间和延迟。其中的 NTP 时间也可以用来计算 RTT。根据 3GPP 规范^[1], 我们引入 RLE 丢包报告块, 以游程编码的方式报告丢包。

APP 包用于在流服务的过程中及时传输应用数据的控制包, 如我们需要服务器进行码率调整时及时通知客户端码流的信息, 我们还通过反馈客户端缓冲区的状况使服务器及时地做出码率调整以避免上溢或下溢。图 5 是 OBSN APP 块的格式。其中 SSRC 为同步源标识符, OBSN 指缓冲区内最久的包的序列号, Play Out Delay 是该包到播放时间的延迟。



FB 包用于立即反馈^[7], 在出现丢包时, 为克服网络延迟, 我们需要及时反馈客户端的信息, 以便服务器及时作出决定以恢复错误, 如重传。反馈信息包括丢失包的序列号和在此序列号后边连续 16 个包的丢包二进制掩码。

3 RTP/RTCP 包传输和控制系统及其差错控制机制

基于上述理论及各种包格式, 我们建立了一个包系统来完成视频媒体流的传输和控制。其中实现了立即反馈机制和提出的分层重传差错控制机制, 并解决了由重传引起的拥塞控制问题。实验结果表明, 该系统能够有效地降低丢包率并提高视频质量。

3.1 包传输和控制系统结构

图 6 是我们的包传输和控制系统, 其中服务器端包括系统管理器线程、会话管理器线程、RTP/RTCP 处理器和重传缓冲区线程; 客户端包括解包线程、会话管理线程和丢包监视器线程。客户端将接收到的媒体数据放入流媒体系统的解码前缓冲区以用于解码。我们用一个实时监控器线程来检查丢包。

RTPProcessor 用于在服务器端将 AVS-M 码流打包成 RTP 包和在客户端解包; RTCPProcessor 用于 RTCP 信息的打包和解包。Session 1 用于原始码流的传输, Session 2 用于重传码流。

当 3G 视频流系统通过 RTSP 协议建立连接后, 管理器首先应根据网络状况在 3GP 文件中选择适用码率的码流, 然后通过会话管理器建立端口以发送 RTP 和接收 RTCP 信息。在此我们建立两个会话, 分别用于原始码流和重传码流传输与控制。在会话 1 中, 服务器用 RTP 包向客户端传输视频码流并且将发送过的数据放入重传缓冲区中; 客户端则由此会话返回 RTCP 信息, 包括网络信息、丢包号等。服务器要根据 RTCP 信息进行网络状况估计以判断采取何种措施, 当它采用重传策略时建立会话 2。会话 2 根据管理器的要求在重传缓冲区中分层重传相应的媒体数据。客户端在接收到重传数据后, 根据序列号和时间戳解包, 并将数据放入解码前缓冲区。

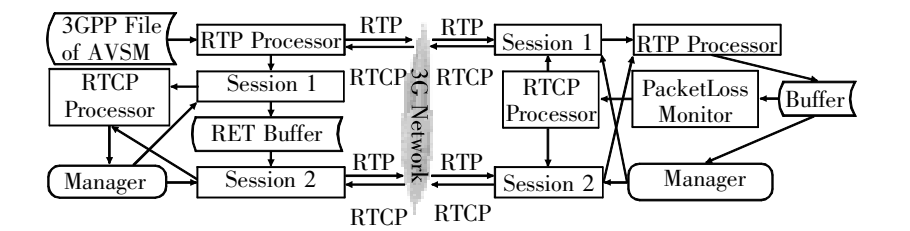


图 6 传输控制系统结构

3.2 立即反馈和分层差错控制机制

我们的包系统采用基于立即反馈^[7]和分层重传的差错控制机制。立即反馈要求当客户端发现丢包时, 及时向服务器发送包含反馈信息的 FB 包。因此, FB 包可能在规定时间之前发送。为了不增加 RTCP 可获得的带宽, 即 RTP 带宽的 5%, 发送立即反馈包后的下一个 RTCP 包就不能按正常计算的时间考虑, 应作出调整。设 t_n 是下一个包的发包时间, t_p 是上一个包的发包时间, T_e 是根据网络情况计算出的下一个 RTCP 发包间隔。那么当发生立即反馈时, 即反馈时间 $T < T_e$, 下一个包的时间从 $t_n = t_p + T_e$ 提前至 $t_n = t_p + T$ 。系统采用的 RTCP 发包时间调整算法如下:

```
计算到下一个正规发包时间的间隔  $T_e$ ;  
if( 在  $T_e$  的间隔内时间 T 发生丢包并需立即反馈)  
{ 发送反馈包;  
 调整下一个发包时间  $T_p = t_n + 2 * T_e$ ;  
 更新上一个发包时间为  $T_n = T$ ;  
} else{  
 在  $T_n$  时间到达时, 发送正规 RTCP 包;  
 更新  $T_p = T_n$ ;  
 计算下一个正规发包时间  $T_e$ ;  
 下一个发包时间仍为  $T_n = T_p + T_e$ ;  
}
```

我们在丢包检查器线程中使用的算法如下:

```
while( 1 ) {  
  if( 发现丢包 ) {  
    获得当前 RTT( 由 NTP 时间戳得到 );  
    if( RTT < 解码时间 - 当前时间 - 处理延迟 ) {  
      通知会话发送立即反馈;  
      调整下一个 RTCP 的时间;  
    } else{  
      通知此包丢失( 以便于解码器进行错误掩盖或恢复 );  
    }  
  }  
}
```

当丢包率变大时, 重传对带宽的要求变高。基于选择性重传算法^[4], 我们提出分层重传机制, 即按照不同的包优先级, 根据网络带宽分层传输重传包。在服务器端建立不同优先级重传缓冲区, RTP 包的重要性是不同的, 可以将包分为三个

优先级别: 含 I 帧帧头和 P 帧帧头的包具有最高重传优先级, 含条带头的包为次优先级, 其他包为第三优先级。当没有足够的冗余带宽重传所有丢包时, 系统按照不同的优先级来传输这些数据信息。

3.3 拥塞控制考虑

重传无疑会增大系统使用的带宽, 因此系统的拥塞控制机制应尽可能地不增大要使用的带宽。在这个拥塞控制中, 网络的包率和比特率应包括原始会话和重传会话。为使占用的总带宽不变, 我们可以进行调整以传输低码率的码流。拥塞控制机制还要保证丢包率在一个范围内, 当丢包率超出这个范围时, 系统及时调整传输码率或在多码流间进行码流切换。

$$R = R_o \times (1 + 5\%) + R_e \leq B$$

其中 R_o 是原始 RTP 流所占带宽, 5% 表示 RTCP 带宽占 RTP 带宽的比例, R_e 表示重传所需带宽, B 表示可获得的带宽。上式表示使用的带宽必须满足可获得的带宽, 若不满足上述约束, 则根据 AVS-M 文件转换成的 3GP 文件进行码率调整。

$$R_o = (R - R_e) / (1 + 5\%)$$

当 R_e 要求变高时, 相应的 R_o 变小, 我们就要调整到对应较低码率的码流, 反之则调整到高码率的码流。

3.4 性能比较

流媒体系统使用差错控制后, 系统的视频质量比使用前有明显提高。在使用前, 视频除了有如图 7 所示的劣化, 还有由丢帧引起的帧跳跃。而使用差错控制方法后, 视频质量得到了提高, 并且丢帧减少。



(a) 使用差错控制前 (b) 使用差错控制后

图 7 视频质量对比

4 结论

在拥塞控制的基础上建立了一个相对完善的差错控制机制。在 RTP/RTCP 协议的基础上, 实现了适用于 AVS-M 的包传输和控制系统, 其中引入的应用层差错控制机制能够很好地解决由于丢包、延迟等原因引起的丢帧问题, 提高了视频画面质量。

视频流媒体应用层 QoS 包括拥塞控制和差错控制两个方面。本文仅考虑不增大拥塞风险的解决方案。在以后的工作中, 我们将在系统中设计完善的拥塞控制机制。

参考文献:

[1] 3GPP TS 26.234 v6.0.0. Protocols and Codecs[S].
[2] 信息技术先进音/视频编码(第 2 部分): 视频[S]. 中华人民共和国国家标准. GB/T20090.2-2006, 2006.
[3] RTP: A Transport Protocol for Real-time Applications[S]. IETF RFC 3550.
[4] Yao Wang, Jorn Ostermann, Ya-Qin Zhang. Video Processing and Communications[M]. Beijing: PHEI, 2003. 402-403, 414-416.
[5] 信息技术先进音视/频编码(第 x 部分): 移动视频 RTP 净载格式(草案)[S]. 中华人民共和国国家标准. (下转第 239 页)

需要在管理中心端利用串口通信捕获路由器端返回信息。管理中心守护进程利用 Java 技术来开发, 其中串口通信进程通过 Java 来实现与串口的全双工通信, 实现的功能是打开串口 COM, 对其进行初始化, 从串口读取信息并进行处理后将处理结果发送到串口。主要包括 SerialBean.java (与其他应用程序的接口), SerialBuffer.java(用来保存从串口所接收数据的缓冲区), ReadSerial.java(从串口读取数据的程序)。

4.2 多用户并发访问问题的解决

图 1 所示的拓扑结构只有两台 CE, 因此, 如何支持大规模的教学实验已成为需首要考虑的技术难点。为此, 我们利用虚拟站点技术来解决这一问题。在 MPLS VPN 网络中, 一个 CE 设备常被视为在一个单独的站点上。因此有多个站点时, 需要多个 CE 设备。但在本系统中, 为了简化环境、节约成本, 希望一个站点分成几个虚拟站点。每个虚拟站点属于不同的 VPN 的成员。为了实现这一特点, 需要在网卡上绑定多个隶属于不同网段的私有 IP 地址, 由此创建了多个虚拟网卡设备, 即将接口分成多个子接口, 每个虚拟子接口对应一个虚拟站点, 并根据包到达的子接口将包指定到一个 VPN 中。

4.3 实验系统的可扩展性

(1) 为了与 IPSec VPN 教学实验相兼容, 可以在两个 CE 路由器之间建立 IPSec VPN 隧道。用户两端通过 VPN 嵌套来接入 MPLS VPN 核心网, 这样就形成了两层的 VPN 网络: 用户的 VPN 接入网和 MPLS VPN 核心网。这样不但可以进行 MPLS VPN 实验, 也可以进行 IPSec VPN 教学实验, 同时保证管理的独立性和安全性。

(2) 扩展 MPLS 相关应用实验, 如 QoS、流量工程等实验。MPLS VPN 可以直接利用 MPLS 的流量工程 TE 和 QoS 能力, 对于具有不同的 QoS 要求的业务, 可以使用不同的技术组合来提供实现。通过这些实验能更好地理解 MPLS。

5 系统实验流程

本实验系统以 Web 方式进行在线实验, 现以 MPLS VPN 配置实验为例, 该实验流程如图 3 所示。

提供 VPN 服务的前提是 MPLS 的核心网络必须启用标签交换功能, 即将图 1 中路由器 PE₁, PE₂ 配置成 MPLS, 并使用 Tag 在路由器之间分发标签绑定。MPLS 配置完成后进行 VPN 配置, 其中 PE 路由器的配置将通过定义并且配置 VRF, RD, 定义 RT 并且配置导入/导出策略, 配置连接 CE 的接口并将该接口与前面定义的 VRF 联系起来, 配置 MP-BGP 协议以及 PE 到 CE 的路由协议来完成。

接下来要完成路由器 CE 的配置, 即将用户前缀 (从路由器 CE 到 PE 的路由) 加到 VRF 中。这可通过它们之间运行

OSPF 协议来实现。

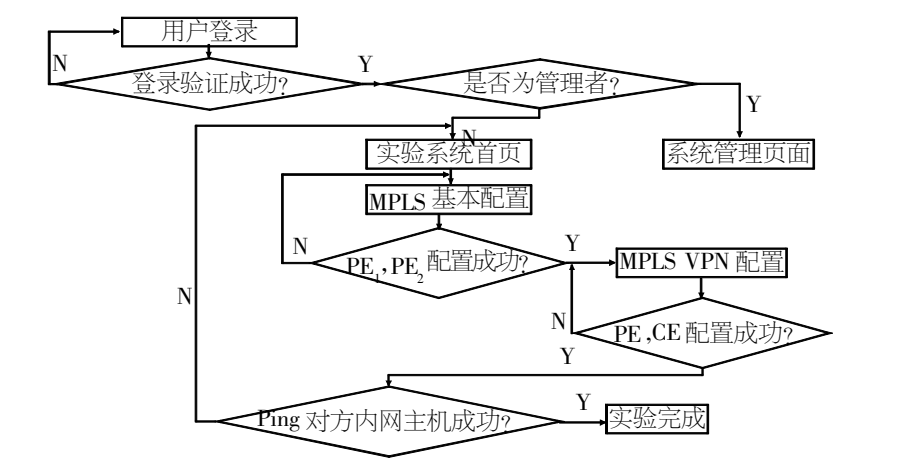


图 3 系统实验流程

配置完成后 PE 路由器上的 VRF 表如表 1 所示, 最后通过相关指令和 Ping 对方内网主机等来验证 MPLS VPN 的正确性。

表 1 PE₁ 路由器上的 VRF 表

VRF 名称	RED(可以任意取名)
VRF 中的 RD	100 :1
VRF 中的 RT	导出 RT = 100 :1, 导入 RT = 100 :1
学习到的路由	10.1.1.0/32(CE ₁ 网段), 10.1.2.0/32(CE ₂ 网段)
对应的接口	S0/0 :1(虚拟站点 1 接口)
VPN 标签	28

6 结论

本文研究并设计了一种面向大规模多用户在线实验的 MPLS VPN 系统。提出了新的体系结构和功能框图, 通过虚拟站点等技术使得该系统具有大规模、交互性以及集中式管理的特点, 同时具有很好的可扩展性。本文在关键技术讨论之后给出了系统的实验流程, 从而可以帮助教师、学生以及网络工程师通过在线实验更好地理解和掌握 MPLS VPN 技术。

参考文献:

[1] GP/MPLS VPNs[S] . RFC2547, 1999.

[2] 张天俊, 邬家炜, 陈志涛. 基于 MPLS 的 VPN 中 QoS 的实现分析[J] . 现代计算机, 2004, (10) : 44-47.

[3] 郑刚, 周源远, 张福炎. 一种集成 IPSec 和 MPLS 技术的 VPN 方案[J] . 计算机应用研究, 2003, 20(10) : 95-97.

[4] Multiprotocol Label Switching Architecture[S] . RFC3031, 2001.

[5] Ivan Pepelnjak, et al. MPLS 和 VPN 体系结构[M] . 赵斌, 等. 北京: 人民邮电出版社, 2003.

作者简介:

赖德新(1975-), 男, 研究生, 主要研究方向为网络与信息安全; 陆松年, 男, 教授, 博导, 主要研究方向为数据通信与计算机通信网、信息安全; 杨树堂, 男, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为计算机通信网、网络与信息安全。

(上接第 236 页)

[6] TP Retransmission Payload Format[EB/OL] . <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-avt-rtp-retransmission-10.txt>, 2004.

[7] Extended RTP Profile for RTCP-based Feedback (RTP/AVPF) [EB/OL] . <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-avt-rtcp-feedback-08.txt>, 2004-01.

[8] 白钢, 杨猛, 等. 3G 无线网络视频流媒体服务系统研究[J] . 计算

机工程与应用, 2005, 41(24) : 138-140, 150.

作者简介:

杨猛(1982-), 男, 河北沧州人, 硕士研究生, 研究方向为多媒体技术; 孙艳丰(1964-), 女, 北京人, 教授, 博士, 研究方向为模式识别、图像处理、运筹学、视频编码; 李铎(1974-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 博士研究生, 研究方向为视频和图像编码传输; 苏海斌(1977-), 男, 山东莱芜人, 硕士研究生, 研究方向为多媒体技术。