

组播技术在实时视频传输系统中的应用及其实现

Application and Implementation of Multicast Technology in Real-time Video Transfer System

20-24

单 喆 魏明亮

陈道蓄

谢 立

TN919.8

TP393.1

(南京大学软件新技术国家重点实验室 南京大学计算机科学与技术系 南京210093)

Abstract In this paper we study the key issues of the real-time video transfer system when applying multicast technology. First we introduce an application-level high-performance multicast transport protocol RTMTP to offer guarantees of real-time and stable video transmission. Second, we improve the management of flow control by adding the component Video Repeater, avoiding the traditional way in which centralized and inflexible methods are applied. Third, packet forwarding is achieved through hierarchical service control of Repeaters. Finally, the implementation of a solution is issued and the performance of a sample system based on it is tested.

Keywords Real-time video transfer, Multicast, Flow control, QoS

1. 引言

实时的视频数据传输具有数据量大、网络带宽要求高、延时敏感的特点。现有的网络一般不能够提供对诸如最小带宽、最大延时和丢包率等实时视频传输的至关重要的参数支持；不提供带宽预留这一实现稳定、优质视频服务的重要机制^[1,2]。所有这些不利因素，使得在当前网络上实时视频传输系统的设计和实现总是面临着众多棘手的问题。这些问题主要包括：①服务提供方的负载能力极大地受限于传输方式；②数据流量的失控；③QoS控制的困难。

组播构架(MBONE)技术的发展提高了Internet上的多点通信的可行性，并为分布式多媒体应用诸如视频和音频数据的传输提供了广阔的前景。

2. 实时视频传输的相关工作

2.1 实时视频传输方式

现有的基于IP协议的实时视频传输系统采用的基本数据传输方式有三种：IP单播(Unicast)，IP广播(Broadcast)和IP组播(Multicast)。IP单播传输方式将数据报文从一个发送者传送给单个接收者；IP广播将数据报文从一个发送者向整个子网广播；IP组播提供将数据报文从数据源向一组成员传送的服务，这组成员可以分散于不同子网。

早期的实时视频数据传输系统模型的数据传输方式采用了IP单播，这些系统使用了基于TCP/IP协议的点对点的可靠连接服务，但这种点对点连接的泛滥会带来高昂的代价：它们耗费了相当高的网络带宽和

发送方的处理能力，因此这种方式已很少采用。IP广播由于无区分地广播数据带来的不灵活性，也不适合作为实时视频传输的方式。

现行的实时视频传输系统多采用组播传输方式或改进的单播方式。

联播(Simulcast)模型^[4]采用单播作为它的基本传输方式。图1显示了它的结构。此模型中将每个接收结点都加入了转发功能。整个系统是一棵二叉树，每个结点仅向它的两个直接后继转发数据。这种模型在每一对父子结点间都建立了可靠连结，流量控制、差错控制和QoS控制分布于系统的各个结点上，Server方开销不大。但多次转发，不仅增加了延时，而且浪费了网络带宽，组管理也很复杂。

Elan Amir提出的视频网关(Video Gateway)模型^[2]采用单播和组播结合的方式。它内嵌了RTP协议，用视频网关将会话连结起来，通过转发数据信息和控制信息的方法将不同应用联系在一起。在此模型中，一个视频的传输可以被视频网关分解为多个会话，以提供对多个应用的不同带宽要求的满足。视频网关仅负责建立分离的RTP会话的应用级连结和RTP协议的报文的加工和转发。视频网关模型在数据的会话之间的转换方面作了大量工作，图2显示了它的数据转换功能，即将不同的应用通过数据转换后相联系。但这种模型也存在一些问题：①视频网关模型的结构不够清晰；②流量控制由数据源集中完成，视频网关仅负责转发控制报文(RTCP)，这样就增加了控制的复杂性且容易产生系统瓶颈；③视频网关模型的流量控制仅在于报文的控制，缺乏对QoS的控制。视频网关中的组

件并不是独立的,在网关之间的联系是通过 TCP/IP 连结的,这样损害了系统的可扩充性和健壮性。

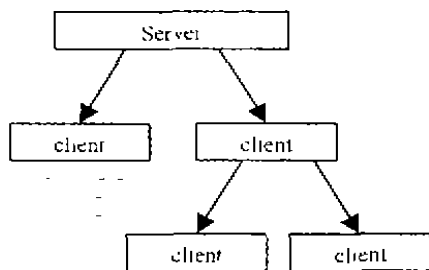


图1 Smulcast模型的结构联播

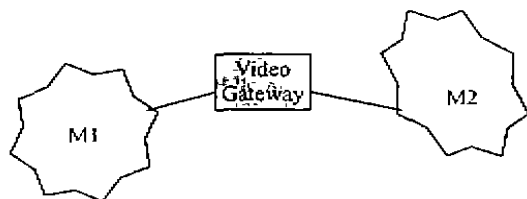


图2 两个 RTP 组播的组间之视频网关。组 M1 传输 JPEG 视频,组 M2 只能接收或传输 H.261

2.2 实时视频的传输协议 RTP

为了保证数据传输的正确性和高效性,必须设计针对实时数据传输的传输协议,RTP 是其中较有影响的一个。

RTP^[3,11]是一种应用级的满足多方多媒体传输需求的协议,它包括两个部分:数据传输协议 RTP 和控制传输协议 RTCP。RTCP 的控制机制包括数据分布监控、跨媒体同步和发送方的辨认,RTP 协议是较好的实时传输协议蓝本,但对视频传输的特定要求针对性不强,如差错控制。

我们引入了针对视频传输的协议 RTMTP,保证图像传输的有序性和实时性。

2.3 流量控制机制

流量控制是实时视频传输系统的一个重要问题。流量控制是一种公益性行为,但当所有数据源都进行流量控制时它也会带来个人利益^[1]。流量控制机制已经被广泛地采用在非实时的应用中^[5~9],这些机制通过有关网络状态的反馈信息调整视频数据的输出。著名的有 TCP 中的基于源的控制机制,根据网络的拥塞程度调整滑动窗口的大小^[10];CATV 根据缓冲区占用率调整视频数据的编码等。引入组播后,在流量控制方面主要研究的问题包括如何选择反馈信息的内容,如何选择接收结点来发送反馈信息,如何根据反馈来进行流量的调整等。

采用组播的实时视频传输系统中我们采用分层流量控制,并对由谁发送的反馈信息的问题进行了详细讨论,引入了反馈选择(feedback-election)算法,对不同参数进行了比较测试。

3. 实时视频传输系统中的组播关键技术

3.1 实时视频传输的组播协议 PTMTP

现有的 IP 组播仅提供了简单的组播功能。这种服务既不是无复本(duplicate-free),也不是有序的,为了弥补这些缺陷,我们引入了保证有序和无复本的 PTMTP(实时组播传输协议)^[11],作为视频传输的协议。我们对 IP 协议层进行了扩展,在系统中加入了一个实时组播传输层,它介于 IP 层与上层之间,对上层提供一个无复本和有序的组播服务。

3.2 组播转发问题

IP 组播跨子网的转发,需要路由器的支持,普通的路由器不具备合适的流量控制设施。我们设计了视频复播器(Video Repeater)(图3)解决了带流量控制的跨子网的 IP 组播转发问题。

视频复播器的结构是发送者和接收者的结合,它所联系的两个 IP 层可能分属不同子网,也可能属于同一子网。对于不同子网,视频复播器实现了将视频数据经过处理以后向各子网转发,方便了流量控制和 QoS 管理,对于同一子网,通过将发送到下游的视频数据联系另一个组播地址,视频复播器可以将处理后的数据向不同组转发,有利于 QoS 的分级。

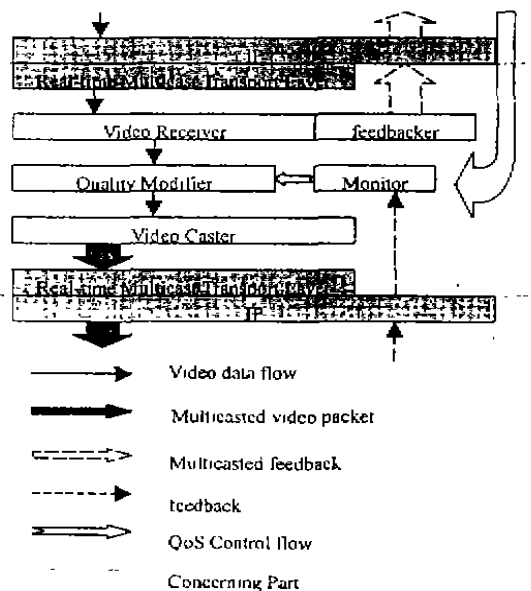


图3 视频复播器结构

视频复播器的结构可以有变种,比如图中对应于 Server 的部分可以有多个,从而集成了多个复播器的

功能。

通常,实现转发的复播器运行在具有2张或更多网卡的计算机上,可以实现一到一或一到多的转发。需要指出的是,若使用视频复播器的转发功能,则必须将发送的报文设定为仅存在于本子上网,以防止可能的路由器的报文转发而造成 QoS 和流量控制的困难。这种设定可以通过把组播报文的 TTL(Time-to-live, 存活时间)选项设置为1的方法实现。

3.3 组播数据报文转发的透明性

视频复播器对数据报文的转发对其它机器是透明的。系统中,各个组件都是独立的,发送结点并不知到它的接收结点在网络的何处,接收结点也不知它的发送结点是哪个物理机器,独立性决定了这种透明性,在其他结点看来,视频复播器只是一个普通的接收者,尽管它在下游子网或组中充当了发送者的角色,它的数据转发是完全透明的。

3.4 流量控制和网络负载的自适应

视频复播器转发数据的目的之一是实现对不同子网的流量控制和网络负载的自适应。不同子网意味着不同的网络性能和状况,如网络的速度和负载状况。发送者的设计一定要有流量控制机制,这样才不会由于流量的失控给网络带来灾难性的后果。反馈调整机制很好地解决了这一问题。

反馈调整(feedback-adjust, FA)方法是一种基于数据源的控制机制,发送者收集反馈信息,根据它来进行流量的调整。对于递归结构的 CRR 模型,每个子层的流量控制都由它的发送结点负责,而不是交由顶层结点完成。这种模型不需了解全局信息就可作出决策,从而分布了流量控制的负载,简化了流量控制的管理。

反馈信息是由接收结点(Video Client 或复播器)发出的。接收结点向组内组播这一信息,用于发送结点和其它接收结点对本结点状况的了解。这一信息包括包的丢失率、包的传输速度等。由于发送结点的处理能力有限和网络带宽的限制,所以同一时刻不适合有多个接收结点同时向它反馈信息。一个子网内的单个结点的反馈信息在一定程度上能够反映整个子网的负载状况,因此某一时刻仅需一个结点来发送这种反馈,为了能够给每个结点均衡的机会来发送这一信息,需要有一个算法来选择接收结点发送反馈信息。我们引入了反馈选择算法解决这个问题,算法如下:

①发送结点定期地向组内成员组播 QoF(反馈查询)信息,这一信息用于启动一次 FA 反馈调整周期。

②每一个组内的接收结点收到 QoF 后,启动一个定时器 T_p ,这个定时器的初值是从0到某一自然数 S 之间的随机值。

③当定时器 T_p 超时,这个接收结点向组内组播反馈信息,然后启动另一个定时器 T_w ,它的初值是一个常数,在从 T_w 启动到超时的时间段内,此结点不接收任何 QoF 和反馈信息。

④当组内其它接收结点接收到反馈信息时,取消自己的 T_p 定时器和它超时所引起的在③中所描述的动作。

⑤发送结点接收到反馈信息,根据一定的策略进行流量调整。随后发送结点的发送数据流量发生变化,一次 FA 周期结束。

其中,定时器 T_p 的初值范围 S 的选择是需要慎重考虑的,太大的 S 会造成过久的响应时间,太小的 S 会造成反馈冲突(feedback-conflict)。反馈冲突指同一时刻有多个接收结点同时发送反馈信息。我们做了一系列测试来权衡 S 的取值,这些测试将在4.2节详细阐述。定时器 T_w 的作用是使各个接收结点轮流发送反馈信息,它的值是查询周期相关的,比如可以是周期的线性函数。

负责流量控制的结点收到反馈以后,根据一定时间段内的统计结果,在一定策略的指导下,设置监视器对质量修正器发出流量控制指令,以调整系统的流量。

调整策略可以有多种,我们的流量控制机制,用反馈信息来估算网络的负载。反馈信息包括接收结点的丢包率等。当网络负载重时适当降低发送 QoS 的最大值 Max-QoS ,负载轻时适当提高发送 QoS 的最大值 Max-QoS ,这样就完成了不同子网的流量控制和对网络负载状况的自适应。

4. 组播的实时视频传输系统的设计和实现

4.1 系统概述

我们设计的系统呈一个层次结构,跨越多个子网或组。所谓组,就是接收同一发送结点数据、具有相同 QoS 特性的接收结点的集合。Server 是视频服务的提供者,位于系统的最顶层;Client 是接收视频服务的客户,是层次图的终端结点;复播器是服务的中继者,是中间结点。系统的结构图见图4。

系统内的组件是相互独立的,Server、Client、Repeater 的运行并不互相依赖。它们之间的位置是透明的。

整个系统的流程是:Server S 按照 QoS 设定开始组播视频数据到 $CA_1, \dots, CA_n, RA_1, \dots, RA_n$ 。接收结点收到数据后使用或转发,同时产生一个反馈,组播给组内成员。发送结点根据所收到的反馈信息进行流量调整。

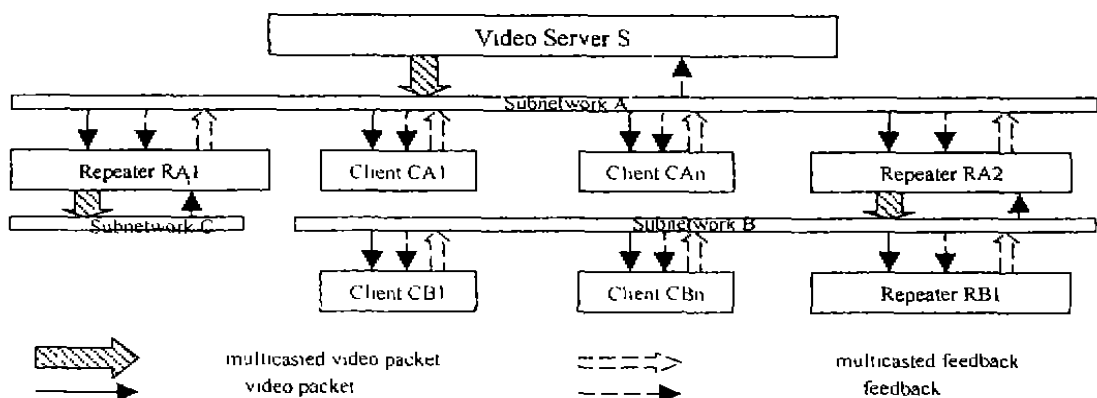


图4 CRR模型的结构

4.2 组播的实时视频传输的实例系统

基于4.1节的模型,我们开发了JavaV.1.1分布式多媒体工具箱(DMDTK)。DMDTK是开发分布式多媒体的软件包,整个实现大部分用Java完成,具有较好的跨平台性,在跨Ethernet和有LAN模拟的ATM网络环境下运行良好。

我们的系统运行在Ethernet局域网的PC和有LAN模拟的ATM网的RS6000上,在异构网络下视频复播器的实现中我们解决了一系列具体问题。①跨Ethernet和ATM的Video复播器的组播地址与网卡的绑定问题,原有的Java的MulticastSocket类会将组播地址与不能组播的网卡相联系,我们改写了MulticastSocket类,保证Multihome的主机上组播地址的绑定的正确性,②Loopback选项的设置问题,Loopback选项是设置一个组播报文是否会被发送者自身收到的开关。它的缺省设置是Enable,这时组内每个进程发出的组播报文,都会被自己收到并处理,这样做浪费了大量的处理时间,所以当组内成员发送组播报文时,这一选项应为Disable,遗憾的是,Java不开放这种用户级的设置功能。我们针对这一问题,扩充了MulticastSocket类,增加了设置这一选项的方法。

我们在上述的网络上对基于DMDTK的应用

Virtual Lab(一种视频会议系统)进行了两种测试,第一种是定时器 T_r 的初值范围 S 的取值测试,第二种是反馈调整机制的效能测试。

4.2.1 定时器 T_r 初值范围 S 的测试 我们在有LAN模拟的ATM子网上测试了不同数目客户机下定时器 T_r 初值的不同取值范围 S 对响应时间和冲突率的影响,见图8和图9。RT(Response Time)是平均响应时间,它是发送结点发送200个QoF对应的200个响应时间的平均值。响应时间是指从发送结点发出QoF到收到第一个反馈信息的时间。 S 是 T_r 的初值范围。CR(冲突率)是发送结点发送200个QoF期间的冲突率。冲突指发送结点发出一个QoF,得到多个反馈的情况。测试时我们采取的冲突解决策略是选取最先到达发送结点的反馈信息。

从图5可以看出随 S 变大,RT呈上升趋势。在同样的 S 下响应时间RT随组内成员数目的增加而降低,因此如果系统在较小组下的RT可以接受,那么在组增大时的RT的状况只会更好。对响应时间要求不严格的系统, S 的取值可以较宽。在我们的Virtual Lab系统中RT的取值为500ms,这时从图中可以看出, S 的值可以很大,超过500ms。

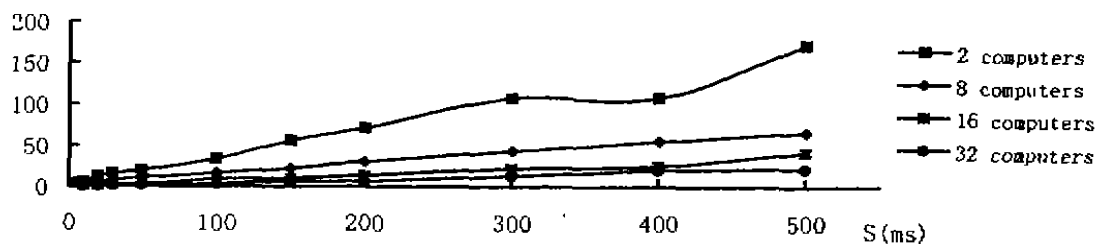


图5 定时器范围与平均响应时间

图6显示了CR随 S 变化的情况。相同的 S 下组越大CR越大,CR随 S 的增大而减小。如果规定CR不超过10%,则对于不大的组 S 的取值也要在500ms左

右。而当组的成员数为几十个时, S 值要在500ms以上。

综合图5、图6的信息,我们可以看出,根据

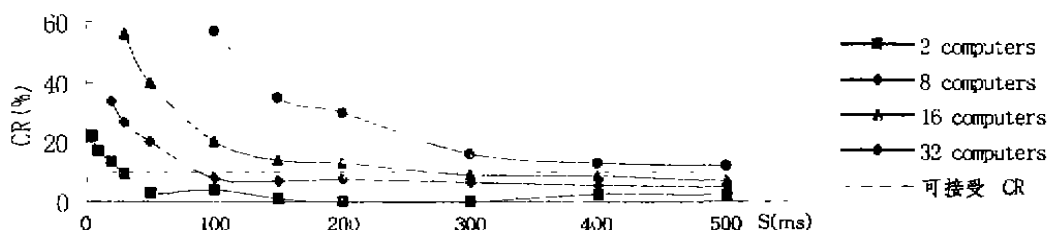


图6 定时器范围与冲突率

TSART(定时器范围与平均响应时间)曲线,通过RT的最大允许值可以确定S的上界;根据TSCR(定时器范围与冲突率)曲线,通过CR的最大允许值可以确定S的下界,从而得到S的取值范围。从本测试的数据看,S的取值范围主要受CR的要求限制而受RT的限制并不大。特别地,当组中成员数目达到数十时,几乎只由CR决定。

4.2.2 反馈调整机制效果的测试 我们测试了复播器在ATM网上的8台客户机连结下的流量控制功能。图7显示了Max_QoS随丢失率的变化情况,测

试中S的取值是100ms, T_w 的初值是10ms, QoF的发送周期是10s。我们的调整策略是若丢失率低于2%,则上调Max_QoS,直到某一最大值(30f/s);若丢失率高于5%,则下降Max_QoS,直到某一最小值(5f/s)。

Max_QoS以帧频表示,单位是10帧,丢失率的曲线是放大的,它的实际值是图示的1/10(纵坐标上的1此时表示100%)。丢失率是最近10秒内反馈的丢失率报告的平均值。图中表明,这种调整有效地降低了丢失率,缓解了网络阻塞,控制了流量。

结论与今后的工作 在今后进一步的工作中,我

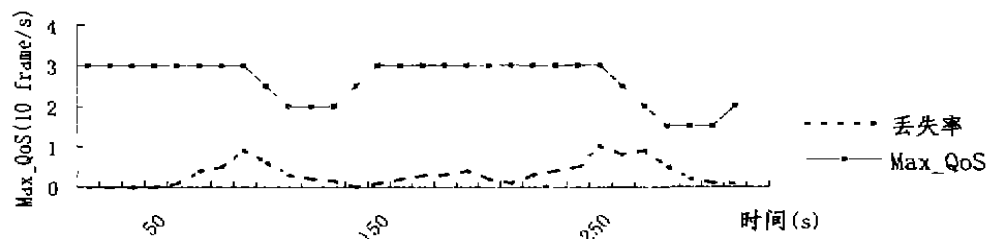


图7 Max_QoS 与时间

们将在以下几个方面做进一步的研究。首先是组播协议的完善。在RTMTP中,丢失报文是不被重传的,这对某些应用来说可靠性不够,因此需要设计一个更为完善的组播协议,在保证实时性的前提下允许一定限度内的重传。其次,现有的根据反馈进行的流量控制在决策机制上还不具备一个成熟的模型,有待深入研究。再次,差错控制与视频的压缩算法的协调也有待进一步讨论,例如采用MPEG算法时,一个报文的丢失会影响到邻近的若干个报文的解码,从而导致连续多帧的图像异常,这一模型在音频和其它多媒体领域的推广也是我们将要研究的方向。

致谢 本文的写作得到了何丹、詹永照、李成锴、李冀、付培荣的建议,在此表示感谢。

参考文献

- 1 Bolot J-C, Turelletti T. Experience with Control Mechanisms for Packet Video in the Internet. ACM Computer Communication Review, Jan. 1998
- 2 Amur E, McCanne S. An Application Level Video Gateway. ACM Multimedia, Nov. 1995
- 3 Turelletti T, Huitema C. IVS Videoconferencing in the In-

- ternet. IEEE/ACM Trans. Networking, 1996, 4(3): 340~351
- 4 Furht B, et al. Multimedia Broadcasting over the Internet, Part I. IEEE Multimedia, Oct.-Dec. 1998
- 5 Jeffay K, et al. Adaptive, best-effort delivery of digital audio and video across packet-switched networks. In: Proc. NOSSDAV'92. San Diego, CA, 1992
- 6 Wakeman J. Packetized video-options for interaction between the user, the network and the codec. The Computer Journal, 1993, 36(1)
- 7 Kanakia H, et al. An adaptive congestion control scheme for real-time packet video transport. In: Proc. ACM Sigcomm'93. San Francisco, CA, 1993. 20~31
- 8 Bolot J-C, Turelletti T. A rate control for packet video in the Internet. In: Proc. IEEE Infocomm'94. Toronto, Canada, pp. 1216~1223
- 9 Delfner B B, Schulzrinne H. Dynamic QoS control of multimedia applications based on RTP. Computer Communications, 1989, 17(June): 1~14
- 10 Jacobson V. Congestion avoidance and control. In: Proc. ACM Sigcomm'88. Stanford, CA, 1988. 317~329
- 11 McCanne S, Jacobson V. vlc: a flexible framework for packet video. In: Proc. ACM Multimedia'95. San Francisco, CA, 1995
- 12 杨晓辉, 王凤先. 局域网环境中的视频会议系统. 小型微型计算机系统, 1998(11)
- 13 魏明亮, 付培荣. 一个分层的实时视频传输系统模型及其实现. 电子学报, 已录用