

组播中层次化视频的传输^{*}

Layered Video Transfer in Multicast

金 天 卢 剑

(北京航空航天大学计算机系 国家软件开发环境重点实验室 北京100083)

Abstract Due to the heterogeneity of Internet, video transfer in multicast has its own problem-how to let one sender's data satisfy the diverse receivers. In this paper, layered method will be introduced to solve this problem.

Keywords Layered video, IP multicast, Adaptive algorithm

1. 简介

由于 Internet 网络本身的限制,使多点通信成为一个相对较复杂的问题。因为各个组播对象的条件不同,使发送者无法通过发送固定带宽数据的方法来满足不同接收者的要求。为了达到尽可能地利用已有网络资源的目的,就需要对视频组播的速率进行控制。针对这个问题,有两种解决方法:由发送者进行控制^[2],或是由接收者进行控制^[6]。在由发送者进行控制的网络中,发送者运用组播的方法发送一个视频流,通过接收者对质量的反馈来调整发送的视频质量。而在由接收者进行控制的网络中,视频数据则是采用层次化编码的方式。发送者通过不同的组播组,发送一个视频数据的不同层次的视频流;包括一个基本的层次和几个增强的层次。接收者则可根据自己的实际条件,选择性地接收一个或者几个层次的视频数据。这就是层次化的压缩算法和层次化的传输方案^[3]。如果网络负载轻,接收者就可以加入新的视频层次,提高数据流量,反之,如果网络负载重,接收者可以退出视频层次,降低数据流量。

尽管在发送者进行控制的网络中,发送者能够根据网络的状况对视频质量进行调整,但仍然无法适应每个异构的接收者。相比之下,接收者进行控制的层次化视频方法就有效得多。在这种方法中,发送者把视频数据流分解为很多更小的数据流,让这些小的数据流按照不同的组播地址(如 224.8.8.1 和 224.8.8.2)传送。接收者只要加入相应的组播组,就可以选择不同层次的数据流,而不需要知道其他的组成员信息。

层次化的模型有两种:积累型和独立型,这与视频

使用的具体压缩算法有关。在积累型的层次化模型中,每个层次的数据的处理都依赖于低层次的数据,所以如果接收者一旦加入了最高的层次,就必须接收所有的层次。而后者一般叫做联播,原始信号在每个层次上采用不同的速率(不同的质量)播放,每个层次之间相互独立,没有任何依赖关系。

本文将主要讨论积累型的层次模型,因为这种方法带宽利用率高,适合在带宽宝贵的 Internet 上使用。这个模型的拓扑结构,如图1所示。下面我们将概要地介绍组播中的层次视频的网络模型和主要技术,及其评价标准。

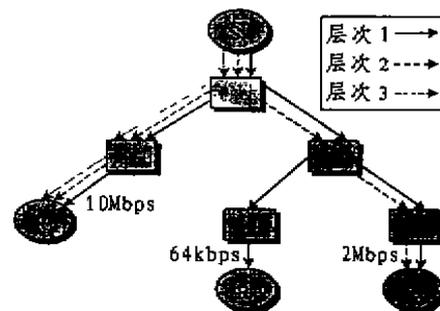


图1 层次化的视频

2. 网络模型

本文工作所基于的网络模型是现行的 IP 网络模型,并没有引入新的机制,这种网络模型的前提是:①在网络中只有尽力型和多点报文传送机制,没有报文顺序的保证,没有带宽预留的保证,②当前 IP 组播的模型,面向组的通讯;发送者并不知道接收者的具体信

^{*} 本项研究得到中国高速互连研究实验网项目 NSFCNet 和 937 海量信息系统项目的资助。金 天 博士生,主要研究方向为组播多媒体技术研究。卢 剑 博士生,主要研究方向为组播多媒体技术研究。

息,接收者随时可以加入或者离开一个组播组。

由于在 IP 组播服务模型中,无法获得路由的信息,尽管对应每个组播地址的组播树是相同的,但是我们无法保证不同层次上的接收者的组播树是相同的。虽然本文讨论的模型是按照相同组播树考虑的,但是,由于这并不是层次视频传输的一个必要条件,故而也不会对本文讨论的方法产生根本性的影响。

对于层次化的视频传输模型,最好的报文传送方式并非尽力型模式,而是选择性的报文丢弃。对于后者,当网络拥塞发生时,路由器会丢弃一些相对不重要的报文(例如,低优先级的报文),而不是随机丢弃一些报文。在层次化模型中,如果采用随机丢失报文,那么每个层次的数据都有可能被丢弃,从而影响了整体的视频质量。如果采用带有优先级的报文丢弃机制,而且提高底层数据的优先级,那么丢弃的报文仅仅是增强层次的视频数据,不会影响优先级高的底层视频的质量。如图2所示,采用随机丢弃报文的方法,视频质量在网络瓶颈的地方达到最高值,而采用随机丢弃报文的方法会使视频质量逐渐趋于平衡。事实上,为了防止某些用户申请的数据量过大,而出现网络拥塞,往往可以采用带有优先级的报文传送机制。但是,在这种路由器还没有大规模部署以前,当前的 IP 网络模型仍然是本文讨论的基本模型。

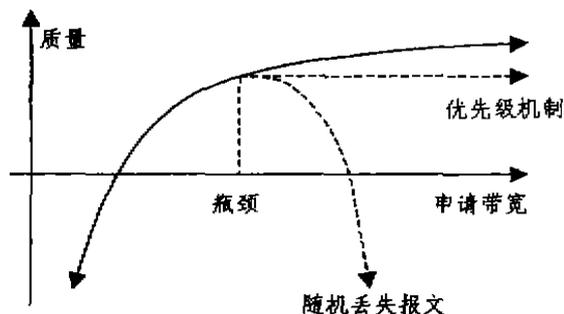


图2 随机报文丢失与优先级机制

3. 层次化视频编码方案

视频编码方案已经有很多了,MPEG,H.261等编码方式已经成功地应用于网络视频的传输。但是,层次化视频编码的方案仍然处于研究状态。研究的工作分为以下几类:

·图像质量 在这种层次编码方案中,每个层次的数据都包括对图像质量更精细的描述。随着接收者层次的增加,视频图像的质量也会有所提高。例如,在最底层采用灰度图像,而在高层次采用更多颜色的图像;在最底层采用更大的宏块,而在高层次采用更小的宏块,最终使用户在高层次上获得更高的视频质量。

·视频采样速率 如果每个层次的数据都包括不同的图像帧,那么将这些图像层次综合起来就形成了非常连贯的视频图像。接收者层次的变化,会引起视频速率的变化,而不会引起质量的改变。例如,采用基于MPEG,H.261的编码方法,可以在最底层传送I-帧数据,而在第二层传送奇数的P-帧,在第三层传送偶数的P-帧。

·图像大小 在不同的层次上发送不同大小的图像,也是一种层次视频编码的解决方案,接收者在不同的层次上,会收到不同大小的视频图像数据。在接收者的具体实现中,为了避免图像大小的变化,可以采用伸缩的方法保证图像大小的稳定。

上述各种实现方案都各有千秋,第一种方案对网络的带宽利用率最高,而且也最难实现。第二、三种方案的实现十分简单,但是保持固定的视频质量会降低层次视频对带宽需求的可调性,影响协议的自适应能力。

4. 层次化视频传输

4.1 分类

从具体的应用角度考虑,把层次化的视频传输分为两类:实时的层次化视频传输和非实时的层次化视频传输。前者可以应用于远程教学、现场直播等等,而非实时的视频传输可以应用于视频点播。由于实时应用的需要,除了基本的网络延时以外,视频图像的播放延时往往要求不高于0.5秒,而非实时的应用可以达到几秒钟。这就使处理这两种不同的视频的方法出现了差异。

从组播技术角度考虑,也把层次化的视频传输分为两类:基于平面结构的视频传输和基于树结构的视频传输。这种分类方法与可靠组播是相同的,基于平面结构的视频传输实现起来相对较简单,同时各个接收者之间的独立性使系统的稳定性较强,而在基于树结构的视频传输中,需要由接收者对整个组播树信息进行了解,使得这种方法有助于提高所有会晤成员的视频质量。

目前,针对不同的应用,已经有一些不同的处于试验性的协议。

·RLM(Receiver-driven Layered Multicast)协议^[1]用于基于平面结构的实时应用。相互之间没有隶属关系的接收者通过相互之间的学习来了解对方的信息,从而调整自己的状态。

·SRMTP(Smart Reliable Multicast Transport Protocol)协议^[10]用于基于树结构的实时应用。由于SRMTP的前身是可靠组播协议,所以在对实时要求不严格的时候,可以考虑采用重传机制,提高图像质

量。

·RAP(Rate Adaptation Protocol)协议^[5]用于基于平面结构的非实时应用。由于这种应用没有非常严格的实时要求,可以利用视频播放的延时间隙对视频数据进行缓存和重传,从而进一步提高图像的质量。

·目前还没有一个用于基于树结构的非实时应用的协议,但在SRMTP协议上增加针对非实时应用的机制,是可以满足这种需求的。

由图3可以看出,随着允许视频播放点延时的增加,接收者也就有足够的时间来采用相应提高视频质量的方法。

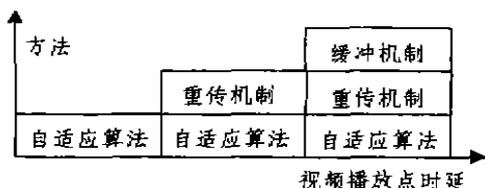


图3 应用需求对层次视频处理方法的影响

4.2 自适应算法

为了保证异构的接收者都能够收到最好质量的视频,接收者应该根据自己不同的条件,选择不同的层次,从而适应当前网络条件和网络条件的变化。这种选择层次的算法称为自适应算法。按照不同的应用要求和具体实现方法,自适应算法会稍有变化。

·加入视频层次 通常而言,如果当前网络的可用带宽超过要加入的下一个视频层次所需要的带宽,就应该立刻加入这个新的层次来接收更高质量的图像。但是在当前的网络模型中,我们无法知道网络可用带宽的情况。因此,我们通过定期做一些加入层次的实验,如果在试验中遇到了拥塞,就说明当前网络的可用带宽并不充裕,应该放弃加入这个层次。而如果实验成功了,就说明加入层次是正确的。

·退出视频层次 如果当前网络传输的报文丢失率高于一定的数值,或者网络出现拥塞,就说明我们对网络的条件估计得过于乐观。此时,接收者应该退出一些层次,保证所有底层数据的正常,避免由于超过网络瓶颈以后,引起视频质量的骤减。

·学习 由于加入层次的测试实验会使网络产生拥塞,降低网络传输能力,影响其他接收者的测试结果,所以尽量避免频繁地进行这种测试。解决问题的方法是学习:在基于平面的组播系统中,接收者在进行加入层次的实验之前,首先需要广播一个报文,用来说明它要加入的层次。通过这种方式,其他的接收者就可以知道其加入层次的实验是否成功。例如,一个接收者收到了其他接收者进行实验的消息,并且检测到了

拥塞,就说明可能有一个接收者进行了加入层次的测试,而且失败了,那么,这个接收者也会暂时放弃加入层次的实验。反之,如果没有检测到拥塞,则说明加入层次的实验可能成功了,那么这个接收者就可以准备进行相同的实验。因此,并不是要求所有的接收者都通过自己的实验来检测网络状况,而是可以通过其他接收者的成败信息来调整自己的层次。

在基于树结构的组播系统中,每个接收者除了在本地进行上述的学习方法以外,还可以通过本地的组播,向组播树上的父节点进行学习,确定接收者能够加入的最高层次,这样就可以大幅度减少测试的次数。

·状态机 下图说明了自适应算法的状态机。S表示稳定状态,A表示加入层次状态,D表示退出层次状态。系统处于A和D状态的时间是由接收者所在的网络决定的,是一般的拥塞检测的时间(从发送请求到遇到拥塞的时间),这个时间可以根据网络的状态动态改变。其余的时间,系统处于S状态,表示视频质量稳定。

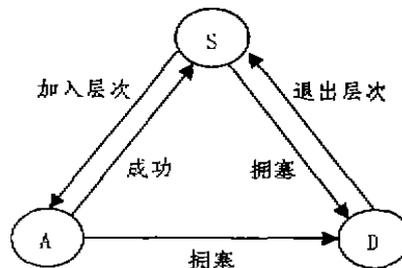


图4 自适应算法的状态机

4.3 重传机制

人眼对视频的要求精度并不高,所以很多视频应用程序不需要对视频数据进行重传。但是在层次视频中,一个底层报文的丢失,会影响整个层次的视频质量。因此,采用重传机制能够进一步提高视频的质量。考虑到在基于平面结构的组播中报文重传的延时较长^[7],所以,层次化视频的重传机制必须采用基于树结构的组播方式,结合可靠组播的技术,在传统组播机制的基础上,增加对组播树信息的纪录,就可以实现基于树结构的组播中的数据重传^[1]。

根据组播的特点,一条链路的报文丢失可能导致一个子树的报文丢失,所以,对丢失报文的恢复重传是采用组播方式进行的,这样可以尽量修复其他链路的报文丢失。

由于视频应用有一定的实时要求,因此,与可靠组播不同,并不是每一个丢失的报文都要进行重传和恢复。考虑到报文在链路上的时间开销,在重传请求发出以前,要计算在回放点到来之前,是否有足够的时间(RTT时间)来接收重传数据。如果时间不够,就不必

发送这个重传请求了,但仍然可以等待其他接收者发出的重传报文。

4.4 缓冲机制

前面讨论的机制的目的都是使视频质量与网络带宽保持一致,视频的质量通过自适应算法来适应网络有效带宽的变化,这使得接收者会受到网络抖动的直接影响,引起视频层次的变化,从而导致视频质量抖动,但是,对视频而言,用户可能更喜欢稳定质量的视频,哪怕图像的质量会稍微差一些。

在应用对实时的要求不是很严格的时候(如视频点播),就可以引入一些延时来对视频数据进行缓冲,将层次的调整过程分为两个步骤:第一步是结合自适应算法的思想,调整数据的接收层次;第二步是按照缓冲数据量,调整播放的视频质量,从而避免网络抖动对图像质量的直接影响。在缓冲机制的影响下,视频层次调整的标准就不完全是基于当前网络的可用带宽,而是基于当前缓存的数据量。因此,与原来的自适应算法不同,接收者接收数据的层次与当前视频正在播放的层次并不一定相同。在缓冲机制中,视频播放会消耗该层次的缓冲区,而接收数据会增加该层的缓冲区。随着网络的抖动,接收的层次在播放层次的周围摆动,但最多只会比当前播放的层次高一层。

采用缓冲机制,并不影响重传机制的使用,两个机制同时使用,可以更有效地进行缓冲。与自适应算法类似,引入缓冲机制后,视频质量调整的状态机如图5所示。

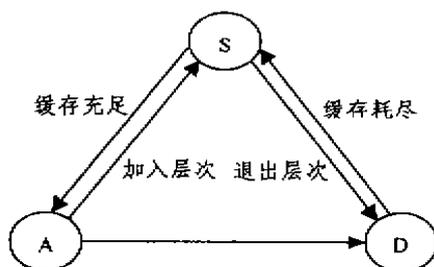


图5 引入缓冲机制后的视频质量调整状态机

·缓存机制下的层次加入 如果当前的网络可用带宽超过当前的层次所需要的带宽加上新层次的带宽,就立刻接收新层次的数据,来填充新层次的缓冲区。如果当前的缓冲区的数据多于一次网络拥塞可能丢失的数据时,就可以开始播放这个层次的视频数据。这种方法可以保证图像的质量不受拥塞控制、带宽的变化和网络抖动的直接影响。

·缓存机制下的层次退出 如果遇到了网络拥塞或者报文丢失,使当前正在播放的层次的缓冲区中的数据不够用来恢复一次网络拥塞丢失的数据,那么就要接收者退出当前接收的最高层次(但并不降低播放

图像的质量),如果当前播放缓冲区中的数据被耗尽了,那么就退出这个播放的层次。

·缓存的分配 由于层次化的视频编码方式的限制,每个层次都需要所有的底层数据,这使得我们需要考虑缓存的分配方法,以避免底层的缓冲先被耗尽,从而导致上层数据的浪费。因此,缓存机制不仅仅要考虑如何增加整个缓冲区的数据,还要考虑如何保证各层次缓存数量的均衡。为此,需要向靠近底层的数据提供更多的缓存数据,这样做不仅仅是为了保证该层次的数据,还有助于提高整个缓冲区的有效利用率,避免放弃本不必要放弃的层次。

4.5 其他的问题

·组成员的一致性 所有的接收者必须在整个会话中保持一个一致的状态,比如都采用相同的协议进行层次的控制。如果有的成员采用其他的办法,而且总是造成网络拥塞,这就会大大影响其他接收者的视频质量,尽管上述的协议对于不确定的网络拥塞有一定的处理能力,但是,它无法完全消除这种影响。因此,为了提高网络的带宽利用率,就必须要保证组成员的一致性。

·组成员维护 对于协议的效率影响非常大,但是组成员维护的具体工作是由IGMP(Internet Group Management Protocol)协议^[9]进行的。如果接收者发出退出组播组的请求后,需要很长的时间才能够退出该组播,那么,在这段时间内,路由器仍然会转发该组播组的报文,因而会影响层次视频协议的正常工作。同样,对于加入组播组也是一样的。

尽管组播的组成员管理协议不是本文讨论的内容,但是它的性能却是影响层次化视频传输协议性能的一个重要因素。

·多数据源之间的公平性 在多个发送者存在的条件下,就存在了公平性的问题:在带宽有限的条件下,如何使多发送者都达到尽可能好的视频质量,而不是良莠不齐,这与TCP/IP的问题相似,原来的TCP/IP也无法保证网络之间各个数据源的公平性。随着RED(Random Early Detection)^[6]技术和FQ(Fair Queue)^[11]技术的引入,公平性的问题有所改进。参考TCP/IP协议的解决方案,如果引入优先级机制,并制定相应的优先级设定标准,就能够从根本上解决多数据源之间的公平性问题。

5. 评价标准

本文讨论的协议是应用层协议,因此,很多常用的协议评价标准并不能适用于层次化视频传输协议。例如,报文丢失率、网络延时等性能参数就不能很好地说明协议的效率。由于层次化视频传输协议的目的是

保证异构的接收者都获得尽可能好的图像质量,所以,关于这个协议的评价标准都是围绕接收者收到的视频质量进行的。

·图像质量收敛时间 在自适应算法中,接收者希望接收的视频能够尽快地收敛到最好的视频质量状态,因此,图像质量达到收敛状态的时间,以及在该状态停留的时间就成为评价算法的标准。影响该标准的因素包括:进行加入层次实验的时间间隔和对网络拥塞的检测,前者反映了实验进行的频率,而后者反映了层次变化的频率。只有合理地选择上述两个参数,才能够保证接收者能够尽快达到最好的视频质量,而且不会频繁地造成网络拥塞。

·有效重传率 在引入重传机制以后,接收者希望能够收到更多的数据报文,而避免报文丢失对层次视频质量的影响。因此,在视频播放的间隙中进行重传的效率就成为重传机制的主要问题。如果当前的重传有效率很低,则需要考虑增加播放延时来提高重传有效率,否则就必须放弃重传机制,避免将带宽浪费在无效的重传上。

·缓冲有效性 在接收端加入缓冲机制以后,接收者希望能够避免网络抖动对视频播放的直接影响,所以接收者需要综合考虑图像质量的收敛时间和质量的平滑性,而不是要求图像质量与当前网络的可用带宽一致。因此,缓冲机制对避免图像质量抖动的有效性就成了缓冲机制的核心问题。如果采用缓冲机制以后,图像质量的抖动仍然存在,那么就要增加缓冲区的容量,减少图像质量受网络抖动的影响。

结论 本文首先分析了基于组播的视频应用存在的普遍问题,并引出了层次化视频的基本概念。接着说明了层次化视频的网络模型以及其编码方案。其后,对层次化视频的传输进行了分类,并按照类别的不同,引入三种算法和机制(自适应算法,重传机制和缓冲机

制),对协议进行优化。本文着重介绍了这三种方法的关系,并对每种机制进行详尽的分析。最后,根据不同的机制,介绍了相应的评价标准。

感谢李未老师给我们指定了论文的研究方向,并在研究方法方面给予了指导。

参考文献

- 1 Demers A, Keshav S, Shenker S. Analysis and simulation of a fair queueing algorithm. *Internetworking: Research and Experience*, 1990(1): 3~26
- 2 Bolot J-C, Turtelli T, Wakeman I. Scalable feedback control for multicast video distribution in the Internet. In: *Proc. of SIGCOMM'94* (University College London, London, U. K., sept. 1994), ACM
- 3 Shacham N. Multipoint communication by hierarchically encoded data. In: *Proc. IEEE Infocom'92*. 1992. 2107~2114
- 4 Rejaie R, Handley M, Estrin D. RAP: An end-to end rate-based congestion control mechanism for realtime streams in the internet. In: *Proc. IEEE Infocom'99*. March 1999
- 5 Rejaie R, Handley M, Estrin D. Quality Adaptation for Congestion Controlled Video Playback over the Internet. In: *Proc. of ACM SIGCOMM'99*. Cambridge, September 1999
- 6 Floyd S, Jacobson V. Random early detection getways for congestion avoidance. *IEEE/ACM Transactions on Network*, 1993, 1(4): 397~413
- 7 Floyd S, et al. A Reliable Multicast Framework for Lightweight Sessions and Application Level Framing, Scalable Reliable Multicast(SRM). *ACM SIGCOMM'95*
- 8 McCanne S, Jacobson V. Receiver-Driven Layered Multicast. In: *Proc. of ACM SIGCOMM'96*. October 1996
- 9 Fenner W. Internet Group Management Protocol, version 2. Internet Engineering Task Force, Inter-Domain Multicast Routing Working Group, Feb. 1996. Internet Draft expires 8/31/1996
- 10 Li X, Ammar M, Paul S. Layered video multicast with retransmission (LVMR): Evaluation of hierarchical rate control. In: *Proc. IEEE Infocom'98*, March 1998
- 11 Li X, Paul S, Pancha P, Ammar M. Layered Video Multicast with Rerransmission (LVMR): Evaluation of Error Recovery Schemes. In: *Proc. of NOSSDAV'97*, St. Louis, MO, May 1997

(上接第39页)

程度取决于所需要的数量、质量和再工程,以及在系统开发和维护过程中现有构件对新需求的应用程度。

主要过程包括:配置管理;组织过程要点;组织过程定义;内聚的公共组织领域体系结构的建立;重用度量初步;软件集成管理;培训计划;不同部门间的协作;同级评审;软件产品工程。

第四层:管理层,指软件重用投资回报管理(ROI),用第三层建立的度量作为基准来测量构件库实际使用成功率。这一层首先要考虑的是ROI的管理的控制,这一层中的所有事件都是由费用、系统、子领域、领域形式化以及更新程度来驱动。从这个模型可以看出,经过每个连续的环节,所获得的重用演进,预示

着投入费用的增加,再工程和更新率也是费用驱动的。

主要过程包括:软件重用过程量化管理;ROI的管理和控制。

第五层:优化层。优化所有软件重用过程,这将是软件重用连续的过程改善。主要活动包括:错误预防;技术更新管理;重用过程更新管理。

参考文献

- 1 Paulk M C, et al. Capability Maturity model, Version 1.1. *IEEE Software*, 1993, 10(4)
- 2 Norman R J. 面向对象系统分析与设计(影印版). 清华大学出版社, 1998
- 3 Paulk M C. How ISO 9001 compares with The CMM. *IEEE Software*, 1995(Jan.)