

广域网实时流媒体传输的质量控制

李桂香, 吴元保, 贺贵明

(武汉大学计算机学院, 武汉 430072)

摘 要: 研究了在广域 IP 网上实时传送媒体流的体系技术及传输中媒体流的质量控制措施, 面向全网建立多层转发体系, 在每个转发节点设置转发代理。系统对代理可实现派生、撤消或更换。转发代理完成对应媒体流的及时转发任务, 实现对所在网络分支的拥塞状况自动检测、自动向上级节点报告、自动控制转发流的大小, 达到对转发媒体流的质量控制。

关键词: 广域网; 流媒体; 传输质量; 分层控制

Quality Control of Real-time Stream Media Transport Based on WAN

LI Guixiang, WU Yuanbao, He Guiming

(School of Computer, Wuhan University, Wuhan 430072)

【Abstract】 This paper researches the technology and architecture of the real-time stream media transport in IP WAN, and quality control measure of media streams. A multi-layer transport architecture facing WWW is set up with agents in each transport note. Agents can be derived or canceled or changed in media streams system. In order to achieve the goal of transport stream media's quality control, transport agents estimate the information of congestion in itself subnet, report the information to higher notes, and control the rate of media streams transport as well as accomplish media streams transport.

【Key words】 Wide area network (WAN); Stream media; Transport quality; Layered control

1 广域媒体流实时传输概述

广域网上实时传输流媒体数据的应用类型很多, 其中以远程教育大范围实时授课最为典型。在广域网上实时培训讲课时, 从讲课教师到听课学生通过网络传送的是视频、音频、教师教案或电子文档等, 既然是在网上面向广域教育或培训, 一个教师可能面向成千上万的学生授课, 导致全网总的媒体流数据量很大; 尤其是有多个老师在不同地点同时面向全网讲课时 (图 1 示出 2 个媒体源, 形成 2 个实时媒体流, 其中实线为 A 流, 虚线表示 B 流), 数据流混杂, 如果组织得不好, 则或者网络拥塞, 或者数据不畅, 影响学生听课效果, 严重时可能导致网络瘫痪。

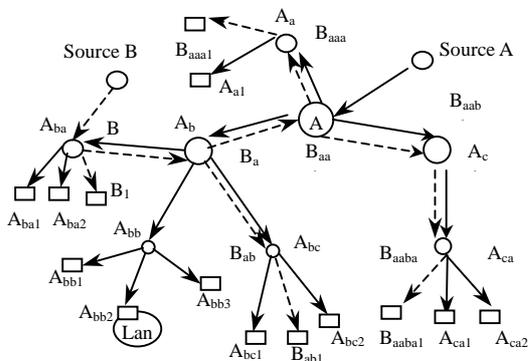


图 1 源 A、源 B 共网转发示意图

问题的症结是, 流媒体数据如何在网上传送和如何保证质量, 可用的传送技术归纳起来有点一点传送、广播传送、组播传送以及本系统研究的代理转发技术。其中, 点一点传

送简单实用, 也便于实现传输质量控制, 但如果听课学生成千上万, 则发送者实际完成不了逐一即时发送和质量控制; 广播方式在广域网上基本不能使用, 如果广播的数据充斥全网, 对网上其他业务会造成摧毁性的影响^[3]。因此, 本文采用组播传送和代理转发方式。

2 IP 组播模型

组播是同一数据源在相同时刻发出同一数据到多个目的站点, 这些目的站点组成组播组, 给定组播组地址; 组播时在网络的任何一条链路上只须传送单一的数据包。

组播模型包括定义组播地址、数据源按组地址发送分组、网络节点从源向目的点建立一棵分支传送树^[4]。

组成员协议 (Internet Group Member Protocol, IGMP) 专门用于组播模型。网络节点用 IGMP 向直接相连的主机申请组成员资格, 主机也用 IGMP 通知与其相连的组播节点, 告诉组播组接收地址, 节点与主机用查询消息和报告消息交换信息。

目前, 绝大部分多媒体 IP 组播使用 UDP 协议。UDP 是一种无拥塞控制的面向无连接的协议, 如果网络传输质量得不到保证, 多媒体传送效果就会很差, 而 IP 网仍是 “best-effort” 网络, 因此 IP 组播会面临许多问题。

为适应本文提出的大范围媒体流传输控制, 下面将探索代理技术。

作者简介: 李桂香(1963 -), 女, 硕士、高工, 主研方向: 多媒体通信及网络技术; 吴元保, 博士、副教授; 贺贵明, 硕士、教授、博导

收稿日期: 2006-06-26 **E-mail:** yuanbaowu@163.com

3 基于代理的媒体流转发体系

此处代理指agent,是一个软件实体,它可以从所在环境接收数据及指令,执行操作,产生影响。agent可以具有一定程度的智能,能自主执行任务,能适应环境条件、协调其他任务、理智地进行处理^[1]。功能相同或不同的agent在网上不同地点执行任务,构成分布式处理;在未来分布式系统中agent是一种主流计算模式^[5]。可在网上漫游的agent,则在一处执行完任务后移动到另一处执行任务,称为移动agent,其可以根据系统需要选择进行移动。

本系统中开发一种媒体流转发软件实体,由媒体源服务器根据系统转发需要将该实体派往转发树各个节点,软件实体实现前后节点联结、即时流转发和质量控制处理。本文对该软件实体按代理(agent)进行定义和构造。

3.1 转发体系

转发树如图1所示(仅以A树为例予以说明)。

图1中,sourceA为本系统的流媒体源,即远程教育系统中讲课教师,在讲课持续过程中,不停产生音视频流和教案类文本数据流;A为系统中心服务器,负责全网实时媒体流管理,负责生成agent转发代理,并管理好这些代理;A_i为第1级转发节点,A_{ii}为第2级转发节点,A_{iii}为第3级转发节点,如此类推;Lan表示最终处于同一局域网的群体最终用户,该处的代理对Lan群体用户只须实现最终组播。

3.2 转发代理功能

系统中每一级转发代理完成的任务是:(1)媒体流及数据转发任务——接收上一级父节点代理发送的媒体流数据,向转发树中本节点的各子节点逐一发送该数据流;(2)接收子节点反馈的网络性能参数,结合本节点接收数据的质量情况分析出本节点区域网络质量参数,并反馈到父节点,还可自适应地调整转发流量;(3)接收中心媒体服务器的指令,完成对本节点为根的子树中各分支节点的增加和删减管理;(4)由子节点反向向父节点转发最终用户电子举手及与教师交互时的视音频流和相关信息。

3.3 中心服务器的功能

中心媒体服务器完成的任务是:

(1)由用户管理服务器提交本次授课用户及其地址分布情况,生成本次授课对全部用户的媒体转发路径树,定义树中各级转发节点;

(2)根据树的分支结构定义各级节点转发代理的转发路径和转发处理任务的相关参数;

(3)授课行为启动时,中心服务器向全树所有节点派出对应的转发代理;

(4)授课结束,本树的中心服务器撤消所有代理,同时废除当前转发树;

(5)授课过程中还可根据用户换课的需要,适应性地调整转发树,相应地撤消和改接其中某些转发代理。

系统中用户管理服务器面向全网实现注册听课用户的地址和路径管理。

3.4 多转发树情况

多个媒体源转发树构成情况(图1所示的2个媒体源共网转发情况),对源A和源B分别定义树结构,树A构成对源A的媒体流转发体系,树B构成对源B的媒体流转发体系,2个体系建立在一套网络上共用部分网络节点;共用的节点同时转发2个媒体流,如A树的节点A_{ii}同时在树B中成为节点B_{ii}等,所以树图中的编号实为转发代理的编号。

4 转发代理及其实现

4.1 转发代理体系结构

转发代理体系结构如图2示意驻留在同一网络节点的多Agent的体系结构。

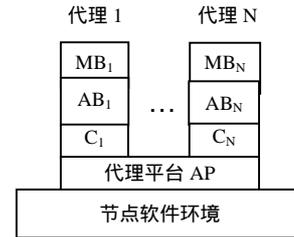


图2 Agent 体系结构

图2中示出该节点上具有1~N个代理,这是因为在一个较大的网络系统中可能同时进行若干场面向全网的较大规模授课,同时进行的各场授课教师不同,听课学生也不同,所以各场授课分别对应一套媒体流转发树,这些树在节点处不可避免会有交叉(如图1中2个树的交叉),形成一个节点上对应N棵树共有M个转发代理(M<N)的情况,每个转发代理忠实执行定义对应转发树时所赋予自己的功能职责。

本系统中使同一节点上多个代理共用一个代理平台AP(Agent Plant),AP对每个代理起到同等的支持作用。节点软件环境构成对代理平台和各个代理最基本的支持,如通信功能、存储功能、处理功能等的高速高性能支持。

每个代理的结构则包括:代理体Ab_i(Agent Body),数据邮箱Mb_i(MailBox),通信体C_i(Communicator)。数据邮箱设多缓冲区,缓存经代理转发的媒体流数据、经代理收集和计算的网路质量参数、前后节点地址等数据;通信体则实现该代理的通信处理和通信接口,同一节点上不同代理对外通信时使用节点中的不同端口,但共用该节点的IP地址;代理体AB_i则实现系统赋予该代理的各项功能。

4.2 相关定义与数据结构

本系统欲实现媒体流数据源对全网目标用户的应用,就要建立他们之间的数据传送和管理关系,所以应定义系统中相关数学模型和数据结构^[6]。

定义1 媒体流数据源集合 $set(\text{source}) = \{\text{source}_i | \text{source}_i \text{ user, 属于本系统网络用户}\}$, $i = a, b, c, \dots$, 标记不同的源。

对于远程教育系统,此数据源应是讲课教师的用户终端,它负责教师讲课的视音频流和电子文档的产生、压缩与发送以及人机交互,系统不使其构成网络节点。系统中此类数据源不是固定的,任一用户终端均可承担,系统中同一时刻可以具有多个这种数据源。

指定数据源的数据结构为

Source name	Source No.	IP	Create time	End time
-------------	------------	----	-------------	----------

其中指明数据源所在终端用户名、作为系统数据源的编号、对应IP地址、该数据源创建时间和结束时间。

定义2 媒体流转发中心服务器集合 $set(\text{server}) = \{\text{server}_i | \text{server}_i \text{ Node, } i = a, b, c, \dots\}$,任一服务器均属于本系统网络节点,转发中心服务器与媒体数据源一一对应,负责向对应流转发树各目标用户转发媒体流数据,负责生成和分派转发代理,负责该转发树有关管理工作。中心服务器同时是转发树的根节点。根节点拟选择网上最靠近媒体数据源的网络节点担任。

根节点的数据结构为

Server name	Root No.	Source No.	Node name	IP	user count
-------------	----------	------------	-----------	----	------------

其中指明根节点编号、对应数据源编号、所在节点名称、节点 IP 地址、所负责的目标用户数量。

定义 3 媒体转发树转发代理集合

$$set(A) = (A_a, \dots, A_i; A_{aa}, \dots, A_{ij}; A_{aaa}, \dots, A_{ijk}; \dots)$$

其中, A 表示 Agent; $i, j, k, \dots = a, b, c, \dots$; i 为 1 级转发代理编号; ij 为 2 级转发代理编号; ijk 为 3 级转发代理编号。

其余编号, 如此类推。此处编号同时指明了父子转发关系。

转发树结构如 3.4 节中举例。

转发代理数据结构:

Agent No	Root No.	IP	Port No
----------	----------	----	---------

其中指明该代理编号、对应转发树根节点编号、代理所在节点 IP 地址、代理所在端口号。

定义 4 转发树中节点转发分支集合

$$set(A_n) = (A_{na}, A_{nb}, \dots)$$

对于根节点, n 为空, 则下级节点为 A_a, A_b, \dots , 即一级节点;

对于一级节点, n 为 i , 则下级节点为 A_{ia}, A_{ib}, \dots ; 对于二级节点,

n 为 ij , 则下级节点为 A_{ija}, A_{ijb}, \dots ; 如此类推, 一般全国性大网中转发节点约 4~5 级。

4.3 代理体执行的处理

转发代理是本系统的关键, 代理体负责执行系统赋予代理的所有功能处理。

(1) 主数据收发处理

1) 接收来自上级节点的视音频数据, 校验后送入发送缓冲区; 从前述转发分支集合数据结构中读出转发分支节点地址, 逐一组织转发数据帧并逐一转发, 组帧中注意视音数据的重同步。

2) 接收上级节点来的准同步性教学文档或课件之类的数据, 如上重组帧转发。

准同步指不要求与实时视音频完全同步, 但要与讲课过程中分阶段文档使用同步。

(2) 用户逆向流数据收发

系统中允许学生用户在听课的同时向教师请求发言和交谈, 也有教师主邀学生回答问题或交谈, 这就产生了学生用户视音频流数据逆向教师端逐级转发的需求。此时原叶子节点成为数据源, 叶子上级收到后再转发到更上级节点, 直至最终到达教师端。

(3) 网络质量分析处理与数据收发

系统中对全网媒体流分级处理后, 单节点代理对数据转发主体上成了点一点发送, 这就方便引入质量控制措施。本系统 RTP 传送数据, 以 RTCP 方式进行质量控制, 主体使用 TCP 控制技术。本系统在每个分支转发接收端都计算自己接收分支网络的包丢失率 P_{loss} (计算周期 1~3s 可调) 和延时参数, 把参数返回到分支的发送端; 转发代理收到所有分支的这些参数, 统计出所在转发子网的质量情况, 决策对整个子网调整发送数据率还是只对丢失率较高的分支调整数据率; 逐级转发代理都可自主统计所在子网传输质量, 自主调节改变传输数据率。

(4) 适应用户变化的代理转接

一棵转发树的叶子用户终端可能中途终止先前的听课, 需要转接到另一棵转发树去听另一位教师讲课, 该用户经退

出原树和重新登录验证后, 用户管理服务器修理前、后 2 棵树的转发路径, 对前一棵树收回不再需要的转发代理, 修剪相应转发分支; 对后一棵树增加需要的转发分支和转发代理, 使媒体流转发到位。

5 效果与结论

5.1 效果说明

(1) 延时分析

数据传输中虽然增加了代理的转发时间, 但实际影响不大, 几乎可以忽略不计。

本文使用一套 3 级转发树实现仿真。转发树的根节点为 A , 1 级节点为 A_1, A_2 ; 2 级节点为 $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$; 叶子终端为 $A_{111}, A_{112}, A_{121}, A_{211}, A_{212}, A_{221}$ 。针对 CIF 规范的 MPEG-4 压缩视频码流, 帧率 15~25FPS, 码率控制在 50~150Kbps, 比较直接点一点发送与分级代理转发 2 种工作方式从根至叶的发—收延时如下表, 其中各叶子节点的接收延时是相对 1min 中所有帧的平均延时。

表 1 延时比较结果

	A_{111}	A_{112}	A_{121}	A_{211}	A_{212}	A_{221}	全部叶子平均延时
直接点一点发送	120.56	120.77	121.01	123.82	125.0	126.64	122.966
3 级代理转发	118.42	118.85	118.36	118.61	119.06	118.45	118.625

(2) 图像失真比较

失真比较是抽取一段长 100 帧的视频比较原始图像与接收后解码恢复图像的信噪比, 平均结果列表比较见表 2。

表 2 图像失真比较结果

	A_{111}	A_{112}	A_{121}	A_{211}	A_{212}	A_{221}	总体平均
直接点一点发送	36.21	35.67	38.05	37.34	36.31	37.56	36.856
3 级代理转发	40.08	39.40	41.65	40.26	39.17	40.72	40.213

5.2 研究结论

本文的研究在以下几个方面具有突出的意义:

- (1) 使过去几乎无法实现的广域网大量用户实时流媒体应用得以实现;
- (2) 采用多级转发代理机制较好地解决了大面积传输实时流媒体的质量控制问题;
- (3) 开发的转发代理容易操作, 便于实现;
- (4) 同一广域网可以建立多个转发树同时工作, 有利于网上众多业务同时开展, 更适合互联网应用需求。

参考文献

- 1 Jrpetrie C J. Agent-based Engineering[J]. The Web and Intelligence, IEEE Expert, 1996, 11(6).
- 2 Michael N, Huhas, Munindar P. Singh: Multi Agent Treatment of Agenthood[J]. Applied Artificial Intelligence, 1999, 13(1/2): 3-10.
- 3 Ndumu D T, Nwana H S. Research and Development Challenges for Agent-based System[J]. IEE/BCS Software Engineering Journal, 1997, 44(1): 2-10.
- 4 张明杰. 区分服务中分层视频组播报文测量和转发算法[J]. 软件学报, 2004, 15(3).
- 5 赵欣培. 一种基于 Agent 的自适应软件过程模型[J]. 软件学报, 2004, 15(3).
- 6 何炎祥. Agent 和多 Agent 系统的设计与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001-06.