

一种面向 CSCW 的多对多多媒体通信模型及实现^{*}

A CSCW-Specific Multiple-to-Multiple Multimedia Communication Model and Implementation

倪小东 李人厚

(西安交通大学系统工程研究所 西安710049)

Abstract This paper suggests a multiple-to-multiple multimedia communication model for implementing CSCW over Internet or Intranet. We describe some key implement techniques, including implementing multicast over current network environment, multimedia stream process mechanism based on multi-thread, and QoS management policy. At last, an application and conclusion will be proposed.

Keywords CSCW, Multimedia communication, Multicast

1 引言

CSCW 是当前研究的热点之一^[1],其目标之一是为协作成员建立一个你见即我见的交互环境(WYSIWIS)。多媒体技术,特别是多媒体通信技术^[2]的发展为 CSCW 的实现提供了可能。

在已有的计算机网络中,一对一的单播(Unicast)、一对多的广播(Broadcast)和组播(Multicast)是目前计算机网络的主要通信模型,大多数 CSCW、视频会议、远程教学等系统都建立在这些通信模型基础上,如:Thierry Turetti 的 Internet 上视频会议系统^[3],KAZUO WATABE 的远程协同教学系统 CODELESS^[4]。但是,在计算机协同工作时,为满足大量地点分布的人们进行实时交互的要求,要进行多对多(Multiple-to-Multiple)多媒体通信,而且它必须适应群组在协作过程中的动态行为。在这种多对多多媒体通信支持下,参与协作的各个成员工作站(或称为节点、终端)能够相互交换信息,使得每个节点上的成员都可以看到和听到来自其它节点的视频和音频信息。

在本文中,我们首先说明了面向 CSCW 的多对多多媒体通信模型的主要设计思想,然后提出了一种多对多多媒体通信模型。接着我们重点研究了实现该模型的一些关键问题,包括多对多多媒体通信的实现、基于多线程的多媒体信息处理、以及满足协同工作要求的 QoS 管理策略等问题,最后给出了应用实例和结论。

2 面向 CSCW 的多对多多媒体通信模型

2.1 主要设计思想

本模型的提出基于以下的出发点:

(1)支持协同工作中多对多的信息传输,以满足成员进行多对多的面对面交互(音频、视频、电子白板和 CHAT 等)的需要。由于系统中有多道实时的音频、视频流和可靠的数据流同时在传输,因此必须对这些媒体流进行有效的处理,包括视频、音频流的采集、传输、组播、接收和回放等。

(2)可用于 Intranet 和 Internet。在支持 Intranet (同一网段,不跨路由器)上的大量用户参与协作的同时,又支持一定数量的远程用户通过 Internet 参与协作。针对目前多数路由器不支持组播的现状,我们通过 CSCW 通信服务器(MCU)实现 Internet 上的多对多信息传输。

(3)采用满足协同工作要求的 QoS 管理策略,使得在当前有限带宽的网络环境(如 Internet)下,也能保证多个协作成员正常工作。

2.2 模型描述

该模型如图1所示,它由一个中心化的 CSCW 通信服务器(MCU)、若干个同处一个本地内的本地节点和若干个处于远程网上的远程节点组成。网络协议统一采用 TCP/IP 协议。本地网基于 Intranet,采用高速的 LAN,网络本身支持组播或广播,可连接大量的协作节点,MCU 位于本地网中,可看作一个特殊的本地节点,它是信息转发中心。本地节点不需要通过 MCU 就可以将视频、音频等信息通过组播方式与其它本地

^{*} 本项目得到国家自然科学基金(69773004)和西安交通大学研究生博士论文资金资助,倪小东 博士研究生,主要研究领域为 CSCW 和多媒体技术,李人厚 博士导师,主要研究领域为 CSCW 和智能控制。

节点交换。远程网络则建立在 Internet 基础上,它通过路由器和本地网络相连,远程节点需要通过 MCU 与其它节点以单播(Unicast)的方式交换视频、音频等信息。

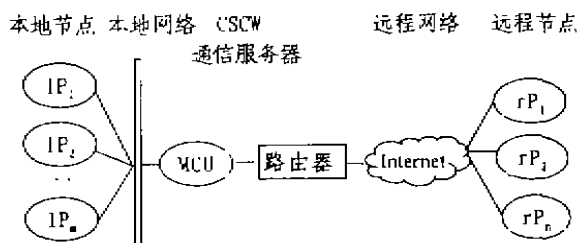


图1 多对多通信模型

2.3 系统结构

如图2所示,多对多通信是由两大部件完成的,即节点通信代理和组播通信代理。

(1)节点通信代理 是实现 CSCW 交互环境的重要部件,它在多对多多媒体通信中的主要作用是:实时捕获本地节点的音频、视频信息,进行编码,打成 RTP 包播发出去;接受来自网上的各路音频、视频的 RTP 信包,成帧后进行解码、同步、合成和回放。

(2)组播通信代理 主要功能是:提供组播的各种服务,在本地节点和远程节点之间、远程节点和远程节点之间转发 RTP 信包。它是实现 MCU 的主要部件。



图2 系统总体结构

3 模型实现的关键问题

3.1 多对多多媒体通信实现

我们可以将多对多通信转换为 IP Multicast 加以实现,分为两种情况考虑:1)在本地网内(一个网段、不跨路由器),IP Multicast 得到了较好的支持,可以直接使用网络所提供的功能。2)当需要在 Internet 上传递信息时,由于大多数路由器不支持 Multicast,我们通过 MCU 对信息的转发来实现组播。

(1)信息转发过程 设当前系统中,本地节点的集合 $LNODE = \{lp_i | i=1, \dots, nl, nl \text{ 是本地节点数}\}$;远程节点的集合 $RNODE = \{rp_i | i=1, \dots, nr, nr \text{ 是远程节点数}\}$;mcu 为通信服务器, wkg 为本地网络上的一个 Multicast 组, $p \rightarrow q$ 表示信息由节点 p 转发到节点 q ,则组播可分为以下四种情况:

1)本地节点到本地节点 $lp_i \rightarrow lp_j$:给本地节点分配一个多目地址(D 类地址, 224. 0. 0. 0~239. 255. 255. 255),建立一个多目组 wkg ,在协作时,所有本地节点和 mcu 加入到这个多目组中,按照 IP Multicast 协议,则 $lp_i \rightarrow lp_j$ 的过程等同于 $lp_i \rightarrow wkg \rightarrow lp_j$;

2)本地节点到远程节点 $lp_i \rightarrow rp_j$: $lp_i \rightarrow rp_j$ 的过程等同于 $lp_i \rightarrow wkg \rightarrow mcu \rightarrow rp_j$;

3)远程节点到本地节点 $rp_i \rightarrow lp_j$: $rp_i \rightarrow lp_j$ 的过程等同于 $rp_i \rightarrow mcu \rightarrow wkg \rightarrow lp_j$;

4)远程节点到远程节点 $rp_i \rightarrow rp_j$: $rp_i \rightarrow rp_j$ 的过程等同于 $rp_i \rightarrow mcu \rightarrow rp_j$ 。

(2)协作组管理协议 协作组是 Multicast 多目组概念的延伸,我们规定处于一个协作组中的节点可以进行多对多的通信。在 MCU 中实现了协作组管理协议,它将远程节点和本地节点统一考虑,为用户提供了透明的通信服务:

CreateCoopGroup (D_IP, GroupName, Group-ID):以 D 类地址 D_IP 建立多目组,并将 MCU 加入其中,并建立协作组,完成通信初始化工作,GroupName 为协作组名,GroupID 为组的唯一编号。

JoinCoopGroup (GroupID, ClientIP, ClientName, ClientID, ClientQoS):节点(本地或远程)加入已建立的协作组中,其中 ClientQoS 定义了转发的 QoS 参数,它包括视频、音频和数据申请带宽,是否进行转发等。

LeaveCoopGroup (ClientID):节点离开协作组,即结束协作。

SetCoopGroup (ClientID, ClientQoS):设置 QoS 参数。

(3)MCU 的组播通信部件 MCU 中完成组播通信的关键部件如下:

•DTM:数据流转发部件。其主要功能是:接受本地节点的数据流,再定向(一对一)转发给其它远程节点;或接收某一远程节点的信息,再组播给所有本地节点或定向(一对一)转发给其它远程节点。

•ATM:音频流转发部件。同 DTM 类似,完成节点间的音频流转发。

•VTM:视频流转发部件,同 DTM 类似,完成节点间的视频流转发。

•GQOSP:全局 QoS 的管理机制,管理整个协作网络的 QoS。

每当一个节点加入到协作组中 (JoinCoopGroup), MCU 建立一组转发对象 (DTM、ATM 和 VTM) 用于在远程节点和本地节点之间转发 RTP 信包。当节点退出 (LeaveCoopGroup), MCU 就释放这些对象。

(4)通信过程中有序性和实时性的保证 多对多多媒体通信过程中采用实时传输协议 RTP 来保证数

据传输的实时性和有序性。RTP 信包中包含了传送实时多媒体数据所要求的信息,如 RTP 包头的顺序号可用于记载视频数据包的顺序,这样就允许检测包的丢失或确定视频帧在图像中的位置。

RTP 包头的时戳可用于控制系统的实时性,对于连续的媒体(如 PCM 音频)而言,数据流能通过顺序号同步,但非连续数据(如 MPEG 压缩视频)就需要利用时戳,它有助于控制不同的实时数据实时性和同步(例如对音频和视频实现唇音同步)。

3.2 基于多线程的多媒体信息流并行处理

多对多多媒体通信过程中,由于系统中可能同时传送和接收多道视频流、音频流和其它媒体流,如何有效地接收和发送媒体流是一个需要认真考虑的问题。我们采用多线程机制来并行处理多媒体数据,以简化处理的复杂性并取得较高的系统性能。

节点的媒体流的处理可以分为两部分,即本机多媒体信息的采集与发送机制(MSM)和外部结点多媒体信息的接收与回放机制(MRM),下面我们描述了MRM,MSM与之类似,它主要完成多媒体信息流的

采集、压缩、成帧和发送。

MRM 主要完成多媒体信息流的接收、解压、同步和回放。它主要由数据流接收部件(DRM)、音频流接收部件(ARM)和视频流接收部件(VRM)组成。为接收本结点外的每一个结点信息,系统都生成一个 DRM(必需的)、ARM(可选的)和 VRM(可选的)对象,分别完成该节点的数据流、音频流和视频流的接收和处理,主要包括数据、视频和音频的接收线程、接收队列和回放线程。图3描述了视频流和音频流处理过程,其中在“节点接收代理表(PCA)”中,存放每一个外部节点的媒体描述信息。同一时刻,系统中可能存在多套并行工作的数据、视频和音频接收回放机制。系统可同时回放多个接收的视频流,在屏幕上以多个窗口显示视频图像。而在音频接收回放机制中,系统将来自多个节点的音频信息混合播放或仅选择一个音频流进行回放。在媒体流的接收过程中,“QoS 管理”提供了接收端的服务质量服务。“媒体控制”则提供了所回放的视频流和音频流之间的同步控制。“视频回放线程”在回放视频前,对视频帧解压并和音频同步。

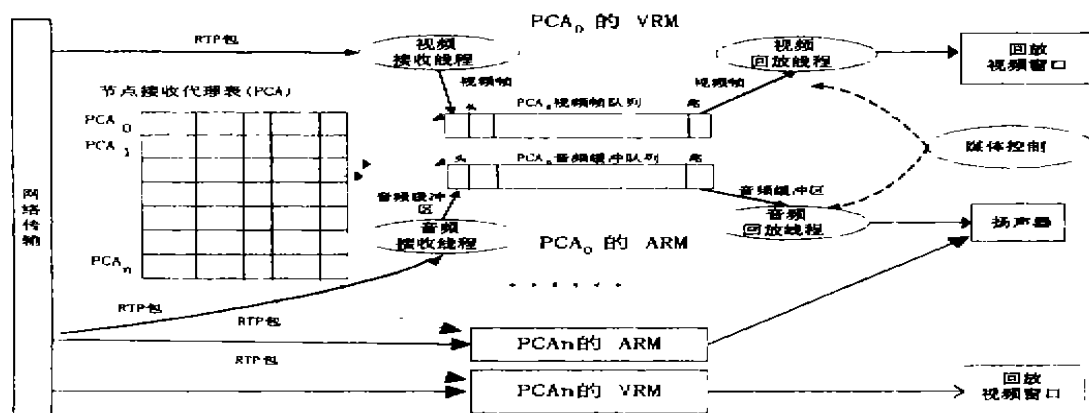


图3 多线程的多媒体信息接收与回放

MCU 中的多媒体信息流的处理类似于节点,区别在于它没有媒体数据采集和回放功能,而是完成本地节点和远程节点之间的数据转发。也可将多个节点数据进行处理(如音频混合),再转发出去。

3.3 QoS 管理策略

在多对多多媒体通信过程中,如果不对各节点的音频、视频和数据的吞吐量进行有效的管理,在协作节点增大到一定数量时,就会使网络超负荷运转,引起网络拥塞,而增加导致系统崩溃的概率。对本模型而言,最突出的问题是网络带宽的限制,我们作如下的分析:

设本地网带宽为 B ,本地节点数为 n ;远程节点数为 m ,对连接每个远程节点与 MCU 的远程网络取平均带宽 C ;并且设每个节点 i 的音频、视频和数据的每

秒数据量为 $BwAudio_i, BwVideo_i, BwData_i$,要使网络资源不超载使用,则以下公式成立。

$$B \geq \sum_{i=1}^{n+m} (BwAudio_i + BwVideo_i + BwData_i) \quad (1)$$

$$C \geq \sum_{i=1}^{n+m} (BwAudio_i + BwVideo_i + BwData_i) \quad (2)$$

实验表明,在一般情况下,采用高效的压缩和缓冲等技术后,每秒音频、视频、数据的吞吐量($BwAudio_i + BwVideo_i + BwData_i$)的峰值也在 1Mb/s 以上^[4]。由于 B 的范围在 5M (10M base-T 实测带宽) $\sim 30\text{M}$ (100M base-T 实测带宽),而 C 的范围在 $128\text{kb/s} \sim 1\text{Mb/s}$ (DDN、ISDN 等 WAN 带宽),显然 $B > C$ 。当处于 LAN 中,问题还不突出,如果不考虑远程节点,

采用100M base-T作为本地网络,可使 $n > 20$,而在涉及远程网络时,上述条件很难满足。

事实上,在计算机协同工作过程中,为适应群组中各成员的动态行为,多媒体信息是根据协作需要而有选择地传送的,对媒体的信息传送要求也不相同,因此,我们采用以下QoS管理策略来优化网络带宽的使用:

(1) CSCW环境下,对各种媒体流进行不同的协调策略,在网络带宽不足时,对数据和音频分配足够的带宽,以保证其QoS,而允许视频的QoS降级。

(2) 要考虑协作过程中群组成员的动态行为(如打开或关闭媒体流、动态加入或退出等),系统应能够根据当前状态动态调整带宽的分配,以充分利用网络带宽。

(3) 和上层协调策略相结合,优先保证焦点的服务质量,对焦点的视频QoS原则上不降级,在协作中,协作成员有不同的级别和权限,我们定义取得令牌或发言权^[7]的协作成员为焦点,如某一会议中当前发言者。焦点具有较高的权限,因此需分配给它较多的资源。当带宽不足时,可关闭非焦点视频传输或降低其传输率。

应用与总结 在设计“基于Intranet/Internet的多层次多群体CSCW系统(NetCoop)”时(已通过有关部门的鉴定),我们遵循了本文所叙述的系统模型。系统由一台服务器和四台工作站组成。服务器上运行MCU,作为MCU的试验环境。我们选用100M快速以太网将服务器和二个工作站连接成支持组播或广播的子网,作为本地节点的试验环境。此外通过路由器和校园网和一个远程工作站连接,作为远程节点的试验环境。操作系统为Windows NT Server和Windows 98,开发语言为Visual C++。

该系统建立在本文所叙述的模型基础上,利用多

对多媒体通信功能,为用户提供以下服务:

(1) 提供多对多的实时视频传输功能,视频窗口可任意缩放、打开和关闭,可实现多对多的视频会议功能;

(2) 提供全双工的多点音频传输功能,提供高质量的语音效果;

(3) 提供丰富的协作工具(CHAT、应用程序共享、远程文件传输),以帮助人们实现协作设计、合作会诊、协同编辑、远程合作教学等协作。

总之,在Internet上实现CSCW依然是一个挑战,其关键问题之一是如何在现有网络环境下有效地实现多对多多媒体通信。本文所叙述的模型为实现这类系统提供了一个成功的尝试。当然,该模型还可以进一步扩展,使得能够用多个MCU通过Internet连接多个分布的本地网络,以支持更大规模的协同工作。

参考文献

- 1 Reinhard W, et al. CSCW Tools: Concepts and Architectures. IEEE Computer, May 1994
- 2 Chwan-Hwa. Multimedia and Multimedia Communication: A Tutorial. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1998, 45(1): 4~14
- 3 Turletti T, Huitema C. Videoconferencing on the Internet. IEEE/ACM Transaction on Networking, 1996, 4(3): 340~351
- 4 Watabe K. An Internet Base Collaborative Distance Learning System. CODILESS Computer Education, 1995, 24(3): 141~155
- 5 Lawton G. Multicasting will it transform the Internet?. IEEE Computer, 1998, 31(7): 13~15
- 6 Microsoft. Netmeeting Resource Kit, 81~130. Available at <http://www.microsoft.com/netmeeting>
- 7 Demmel H P. Floor control for multimedia conferencing and collaboration. Springer-Verlag, Multimedia Systems, 1997, 5: 23~38
- 8 Journal of Human and Computer Studies, 1997b, 46(3/4): 293~310
- 9 Uschold M, Gruninger M. 1996. Ontologies: Principles, methods and applications. The Knowledge Engineering Review, 11(2). (Also available as AIAI-TR-191 from AIAI, The University of Edinburgh)
- 10 Uschold M, Ed. Knowledge level modeling: concepts and terminology. The Knowledge Engineering Review, 1998, 13(1): 5~29
- 11 Krulwich B, Burkoy C. The InfoFinder Agent: Learning user interests through heuristic phrase extraction. IEEE Expert, 1997, 12(5): 22~27
- 12 Guarino N. Ontoseek: Content-Based Access to the Web. IEEE Intelligent Systems, May/June, 1999, 70~80
- 13 Decker S, Erdmann M, Fensel D, Studer R. Ontobroder: The Very High Idea. In: R. Meersman et al., eds. Semantics Issues in Multimedia Systems. Kluwer, 1999
- 14 Lai H, Yang T. A system architecture for intelligent browsing on the Web. Decision Support Systems, 2000, 28: 219~239
- 15 Bauer M, Dengler D. TriAs: Trainable Information Assistants for Cooperative Problem Solving. Agents, 1999, 260~267
- 16 Benjamins R, Fensel D, Perez G. A. Knowledge Management Through Ontologies. In: Proc. of the Second Int. Conf. on Practical Aspects of Knowledge Management (PAKM'98), Basel, Schweiz, Oktober 1998, 29~30
- 17 Odubiyi J, et al. SAIRE-A Scalable Agent-Based Information Retrieval Engine. In: The Proc. of the First Int. Conf. on Autonomous Agents, California, 1997, 5~8
- 18 Guarino N, Welty C. Towards a methodology for ontology-based model engineering. In: Bezzvin J, Ernst J, eds. Proc. of the ECOOP-2000 Workshop on Model Engineering, June 2000
- 19 Fensel D, Rousset M-C, Decker S. Workshop on Comparing Description and Frame Logics, Data and Knowledge Engineering (DKE), 1998, 25(3): 347~352
- 20 Fensel D, Motta E, Decker S, Zdrahal Z. Using Ontologies For Defining Tasks, Problem-Solving Methods and Their Mapping. In: E. Plaza et al. (Hrsg.), Knowledge Acquisition, Modeling and Management, Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI), 1319, Springer-Verlag, Berlin, 1997, 113~128

(上接第26页)

Journal of Human and Computer Studies, 1997b, 46(3/4): 293~310

- 3 Uschold M, Gruninger M. 1996. Ontologies: Principles, methods and applications. The Knowledge Engineering Review, 11(2). (Also available as AIAI-TR-191 from AIAI, The University of Edinburgh)
- 4 Uschold M, Ed. Knowledge level modeling: concepts and terminology. The Knowledge Engineering Review, 1998, 13(1): 5~29
- 5 Krulwich B, Burkoy C. The InfoFinder Agent: Learning user interests through heuristic phrase extraction. IEEE Expert, 1997, 12(5): 22~27
- 6 Guarino N. Ontoseek: Content-Based Access to the Web. IEEE Intelligent Systems, May/June, 1999, 70~80
- 7 Decker S, Erdmann M, Fensel D, Studer R. Ontobroder: The Very High Idea. In: R. Meersman et al., eds. Semantics Issues in Multimedia Systems. Kluwer, 1999
- 8 Lai H, Yang T. A system architecture for intelligent browsing on the Web. Decision Support Systems, 2000, 28: 219~239
- 9 Bauer M, Dengler D. TriAs: Trainable Information Assis-