

基于 SRM 的电子白板系统的研究与实现^{*}

The Research and Implementation of SRM-Based Electronic Whiteboard System

聂树瑄 吴文峻 卢 剑 刘英智

(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 In this paper, we describe our design and implementation of a reliable multicast based shared whiteboard system. The application uses the Scalable and Reliable Multicast protocol(SRM2.0) to transmit data over the network. Our whiteboard uses a separate SRM framework library and customizes it to achieve the application level semantics. It also uses SNAP to realize the new naming scheme that exposes the structure of application data to the transport layer, thereby enhancing the expression of application's reliability and ordering semantics. We improve its usability and provide increased awareness of remote participants. The application is also extremely flexible.

Keywords Multicast, Scalable and Reliable Multicast, WhiteBoard, CSCW

1. 引言

基于传统互联网的应用往往是建立在两个用户(两台主机)之间的,随着先进网络体系结构的不断发展和普及,一种新的技术,IP 组播(IP multicast),使得大规模多用户间的交互成为可能。组播技术非常适合那些需要某种协同关系的松散耦合的网络分布式应用系统,如视频会议、远程教学、分布交互式仿真等等。

网络带宽、计算机性能以及 IP 组播技术的高速发展为分布式应用的产生铺平了道路,同时也促进了计算机支持的协同工作(CSCW)的发展。当协同工作中分布式的视频、音频应用得到广泛发展时,作为协同工作的另一个要素,分布式电子白板系统的发展却相对比较缓慢^[1]。例如,在当前的很多网络会议中,由于没有适用的会议工具,管理者都是把电子文档传真或者发电子邮件给会议的参加者。在本文中,我们将介绍协同工作中分布式电子白板系统的设计与实现,用户可以在分布式的电子白板上展示文档、图像以及其他电子资料,实现交互。

2. 可靠组播技术简介

IP 组播使用 UDP 协议传输数据,其本身没有提供数据传输的可靠性,这就要求设计实现可靠组播协议来保证许多基于组播应用中数据传输的可靠性。对可靠组播协议的研究比过去对 TCP 可靠传输机制要困难得多,根本的原因是基于可靠组播协议的应用程序对可靠性的要求差异很大,如果一个完全满足所有可靠组播应用要求的服务模型来设计可靠组播协议,最终只会导致协议性能根本无法满足应用的要求,特别是不能适用于大规模组播通信的情况。所以在可靠组播研究中,涌现了大量的可靠组播协议^[9]。每一种协议往往都是针对一个或一类型的可靠组播应用而设计的。

本文着重讨论的是一种适合于电子白板应用的可扩展可靠组播协议 SRM(Scalable and Reliable Multicast)^[5]。SRM 的思想最早由 S. Floyd 等人于1995年提出,经过这几年的发展已近于成熟,目前该协议的版本是 2.0。SRM 协议较好地解

决了在组播传输中的可靠性和可扩展性问题。该协议是目前较为成熟的可靠组播协议,有许多广泛使用的组播应用都是基于 SRM 的思想实现的,例如 UCL 的 WBD^[10]和 UCB 的 MB^[11]。

SRM 协议的主要特点是应用层成帧 ALF 技术、基于接收方的错误恢复技术和层次化的数据命名机制 SNAP。

1) 应用层成帧技术

1990年,Clark 和 Tennenhouse 提出了一个新的称为应用级成帧(ALF)^[8]的协议。ALF 的基本思想是:为了提高协议的性能,将一部分本应由协议完成的功能开放给应用程序进行处理,使得应用程序能够知道或者操纵传输中的报文。具体做法是将数据打包(成帧)的任务在应用级完成,大块的数据在应用层就被分割成应用数据单元 ADU,并保证 ADU < 最大传输单元 MTU,这样 ADU 到达网络层时不会被再次分割。并且应用层应该能够接收没有按照发送顺序到达的 ADU,而不强求 ADU 的按序到达,以达到节省时间的目的。ALF 的另一个优点是极大地减少了为恢复丢失数据而发送的修复报文的数目。

ALF 认为满足不同需求的最好的方法是应用留出尽可能多的功能和灵活性的空间。SRM 被设计为只满足可靠组播的最基本的定义,例如,实现到所有组成员的所有数据的最终到达,而不强迫任何特殊的顺序。如果应用程序有自身的特殊需要的话,可以通过 SRM 协议中的回调机制实现自身特定的传输机制。同时,不同的应用可以根据其自身情况对 SRM 进行不同的扩展。

2) 基于接收方的错误恢复技术

在 SRM 中丢失的检测是由接收者负责的。SRM 协议首先要求参与组播通信的每个成员以一定时间间隔组播 Session Message, Session Message 一方面可以使数据发送者通知其他成员当前它所发出的报文的最新序列号;另一方面,利用简化的 NTP 协议,校准每个成员的时钟,并计算出自己和其他成员之间的 Round Trip Time(RTT)。

丢失发生时,Loss-Requester-Set 中的每个成员都准备向所有其他成员组播 NACK,请求重发。而 Loss-helper-Set 中

^{*} 本项研究受中国高速互连研究实验网项目 NSFCNet 和 973 海量信息系统项目的资助。聂树瑄 硕士生,主要研究方向为电子白板,可靠组播。吴文峻 博士生,主要研究方向为可靠组播,拥塞控制算法。卢 剑 博士生,主要研究方向为组播多媒体技术研究。

的每个成员接收到 NACK 报文后,都准备向其他所有成员组播所需要的报文。如果让 Loss-Requester-Set 中的每个成员都发出 NACK,会出现冗余的 NACK;而当这个集合元素数目很多时,必然会引发 NACK implosion。SRM 引入 NACK Suppress 机制来解决这个问题,它让 Loss-Requester-Set 中的成员先随机等待一定时间,如果在这个时间里,收到了其他成员发出的相同的 NACK,则把自己的 NACK 进行指数后退。如果收到所需要的报文,就撤销 NACK 的超时器。

3) 层次化的数据命名机制(SNAP: Scalable Naming and Announcement Protocol)

SNAP 是基于 ALF 的思想提出来的,它可以将应用程序的数据有效映射到传输的报文中。因此,SNAP 能够更好地支持 ALF 的思想,以提高协议的可扩展性。SNAP 实现了应用层数据和传输层报文之间的映射关系,增强了应用程序可靠性的表达和对报文排序的语义。这个数据命名机制被应用到可靠组播协议框架中来实现基于接收者的可靠性,增强了协议的可扩展性。

SNAP 命名机制使用了层次化的结构来表示和命名应用程序的数据。层次化的命名允许独立地处理应用程序中不同对象的数据传输。从应用层结构到 SNAP 命名机制的映射是灵活的并且由应用程序控制,并为应用程序提供了高效且丰富的结构,例如它适合 whiteboard、webcast 应用等。这种新的命名机制由于提供了应用层和传输层之间数据的映射关系,因此可以用来实现基于接收者的可靠性。

3. 基于可靠组播协议的电子白板系统的设计

基于可扩展的可靠组播协议的电子白板系统是一个分布式的、交互式协作应用,为远程用户提供了一个共享的工作空间。其总体目标是能够让多个分布式的参加者在 Mbone 上通过共享画图空间来实现有效的协同工作。为了实现总体目标,我们定义了多个子目标。首先,应用程序应当足够灵活以便它能够在不同的会议场景中采用不同的使用模式;其次,在可扩展的方式下,在网络发生丢失报文的情况下,它应该能够维护系统的可靠性;最后,要让用户使用电子白板系统进行远程协同工作,以达到面对面会议的效果。

1) 采用组播技术的电子白板系统的优点

电子白板是网络会议系统的必备工具之一,它为会议参加者提供了使用文字和图形等方式在一块虚拟的写字板上互相交流的手段。

电子白板系统主要分为两大类:一是基于点对点传输机制的电子白板系统;二是基于组播传输机制的电子白板系统。这两类电子白板系统之间在设计思想、传输机制以及对带宽的需求方面都有着显著差异。

采用单播方式的白板系统的基本组成如图1所示。电子白板应用具有较强的协同性,每个参加白板的节点都是数据的发送者,且各个节点产生的数据之间具有一定的顺序性。简要说,参加白板的客户端接收本地和服务器发来的白板操作请求,完成本地的绘图及文字处理功能,同时不断地把本地的操作动作发送给白板服务器。服务器根据动作的前后顺序,将其发送给参加会议的所有客户。在这种方式下,服务器的性能就会成为制约应用系统可扩展性的主要因素。

如果使用 IP 组播方式,电子白板系统可以完全采用分布式的方式,不再设置电子白板服务器,参与会议的客户自己负责处理来自本地和远程的操作请求,并直接以组播方式把本

地操作组播给其它客户。

组播不但提高了系统的可扩展性,而且由于电子白板的操作动作是由动作的发出者直接传给动作的接收者,避免了由服务器定序转发的延迟,从而提高了电子白板应用的交互性。

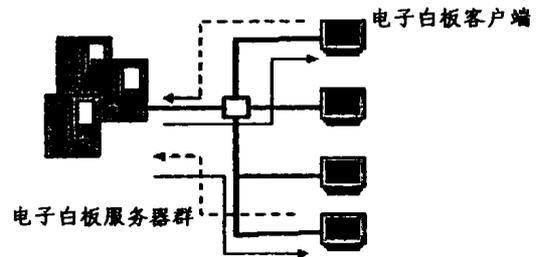


图1 基于单播的电子白板系统基本构成

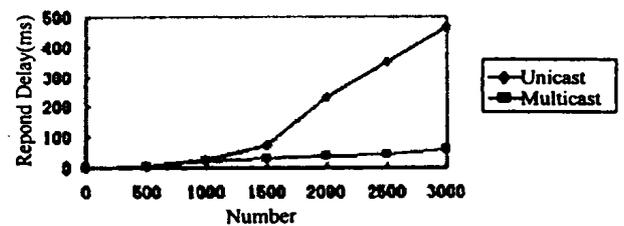


图2 电子白板系统响应时间对比

对白板系统性能的定量分析结果如图2所示。随着参与白板人数的增多,操作动作的平均延迟将增加,应用性能下降。在参加人数较少时,如小于一千人,使用单播的白板性能与组播方式差距不大;而当数目增加到一定程度,二者的性能差距就非常明显。

通过上述实例分析可以看出,随着 Internet 各种应用的发展,应用规模的不断扩大,传统的单播通信模式很难与应用的要求相适应。而 IP 组播技术为提高应用系统的可扩展性,提供了崭新的思路。

2) 共享数据的可靠传输

由于组播传输机制本身不提供数据传输的可靠性,而基于组播的电子白板应用需要数据的可靠传输,因此我们采用基于组播的可靠组播协议来保证电子白板的可靠性。

电子白板系统对数据传输的可靠性有其自身的特点。它不要求严格的一致性,因为短暂的非一致性状态是可以容忍的。电子白板可靠性的目标是最后的一致性(eventual consistency),即在给定的时间内,所有的应用都达到相同的状态^[2]。采用这样的设计目标,可以降低电子白板系统对带宽的需求,因为在 Internet 的报文发送模型中,存在报文的丢失和重新排序的问题。如果采用可靠有序的发送与接收模型,很可能出现下面的情况:一个已经接收到的报文不能立即送到应用层直到接收到在它之前的所有报文。因此,当丢失的报文与所接收到的报文相互独立时,就产生了不必要的延迟。

我们采用了基于应用层成帧思想(ALF)设计的可扩展的可靠组播协议(SRM2.0),因为 SRM2.0 正好可以提供电子白板系统所需的这种可靠性保证。在 SRM 协议中,报文接收后立即送交应用层处理,应用层的语义信息决定是否立即处理报文或者应该延迟处理报文。同时,检测到丢失报文,也由应用层的语义信息判断是否请求恢复丢失报文^[3]。

3) 共享数据的有效管理

电子白板需要处理的数据类型包括文本、图像(如直线、矩形等)、gif 文件和 jpeg 文件、ps 文件等以及对这些数据各种编辑操作。每一个参加者都可以同时创建或者编辑这些数据。这些数据之间根据创建或者编辑时间的不同在显示上也有着不同的显示层次(相互覆盖关系),我们为每一个数据对象增加了时间戳来保证显示层次的一致性。同时为了保存完整的历史数据和便于为其他参与者恢复丢失数据,我们采用了全局唯一标识的方法对这些数据进行组织和管理,具体内容如下:

共享画图空间的组织 是电子白板系统设计的一个重要问题。在电子白板中,我们以页的形式来组织共享的画图空间。这种组织形式允许用户根据多个讨论题目从逻辑上划分共享画图空间,同时也有效地支持用户在不同的页中导入其他格式的文件。

在每一页中,我们采取了多层次的概念,在同一页面中导入多个文件,允许多个分布式的工作组一起比较他们的工作结果。这克服了现有电子白板系统(例如 U. C. Berkeley 大学的 Mash 研究小组开发的基于组播的电子白板系统—Media-Board)中共享画图空间局限于两层(导入的 ps 文件作背景,其他的图像对象作前景),不能同时比较多个工作组文件的缺点。

图像表示法 有两种方式可以表示电子白板中的图像:位图和结构化对象。在电子白板中,我们使用了结构化对象的模式,因为结构化对象同位图相比,可以提供给用户更丰富的功能,并且有相对较低的带宽需求。例如,一个与会者在电子白板的某页中创建了一个圆,如果采用结构化对象的表示方法,应用程序只需要将圆的圆心坐标、半径、边的宽度、颜色、填充颜色等多种属性发送给其他与会者。同时其他与会者也可以进一步修改该对象的各种属性;与之相反,如果采用位图的方式表示图像,不但增加传输的数据量,而且其他用户也不能对其进行再编辑。

数据对象表示法 当用户通过共享电子白板系统进行交互时,对共享数据的操作需要通过网络发送给组内的所有用户。如何有效而正确地发送这些操作不但依赖底层的可靠传输协议,也依赖电子白板的数据模型。我们决定使用一种永久不变的数据模型,数据一旦被创建就不会被删除或者替代。当用户在共享的画图空间进行一些操作时,动作的序列被翻译成一系列的共享电子白板描述符。每一个描述符都有一个全局唯一的标识符号 UID,由用户的源标识符(Source ID)、页面标识符(Page ID)以及页面中唯一的序列号组成。每一个描述符定义了画图空间的一个新对象。用户动作的效果由计算这些描述符的值来实现。这样三元组的表示方法使得每一用户的每个操作都有一个全局唯一的标识符,避免了数据同名标识的冲突。同时,电子白板系统保留了所有操作的历史记录,它使得后来参加会议的用户可以看到以前的数据;并且有助于实现电子白板数据的存档和回放工具。

共享数据的一致性 在电子白板系统中,相互覆盖的共享媒体对象存在显示顺序的一致性问题。当在同一时间段内,我们在电子白板中创建了两个或者多个数据对象时,我们希望以精确的相同的顺序把这些数据呈现给所有用户。然而,为了达到这样的目的,我们要对某一时刻甚至是全部时间内的数据进行排序,这在大量同步信息的情况下代价是非常昂贵的。

为此,我们的电子白板系统使用了简单的一致性保持策

略来达到较高的应用效率。使用假设已经同步的本地时间戳来排序对象。由于在本地时间之间仍可能存在一些偏离,因此该策略使用了可靠组播协议(SRM2.0)中的延迟估计来减少非一致性问题。

4) 协同工作环境的构造

电子白板系统作为一种计算机支持的全新的通讯工具,极大地方便人们之间的信息交流和交互,进而促进和支持群体中的人们协同工作。

在多种会议模式下使用 电子白板系统的功能应该足够灵活,简单易用的用户界面可以配置,使其能够应用在一对多或者多对多的组会议场景中。此外,当会议的参加者增多时,网络带宽需求的增加不应该迅速降低整体性能,因为参加者的显示设备和网络性能都有所不同,电子白板必须通过内置的支持或者外部机制适应异构环境。

工作空间和注释 现有的电子白板严格遵守 WYSIWIS (What You See Is What I See)的模式,所有用户都只有一个共享工作空间。而在现实情况中,用户在参加会议的同时,可能需要进行自己的工作,如当他在听别人发言时,可以查询相关但未在共享空间中的资源,为自己的发言做准备或者进行别的工作。这些就构成了用户自己的工作空间——私人空间,不被其它与会者共享。用户可以将共享空间中的分量拷贝到自己的私人空间中进行操作,也可把私人空间中的分量放入共享空间中让大家共享。这样做的好处在于与会者可以最大限度地共享并发资源并提高了效率。例如对一段文本,一个与会者虽没获得操作权,此时有一些想法需要在文本上作编辑、修改和标注等,可将该文本拷贝到私人空间中进行操作,然后再放入共享空间中去,就好像在会议资料上作记录而后在适当时机表达出来。会议系统应提供共享会议空间与私人空间之间的沟通手段,实现私人空间元素向共享空间元素的转换。

共享空间元素(共享资源)与私人空间元素之间的差别在于:1)并发控制。共享对象都有其特定的并发策略并实现并发操作与控制,而私人空间元素无需并发控制;2)输出。共享对象的输出指向所有与会者,而私人空间元素只指向拥有者主机;3)共享对象的操作权。分布共享方式中与会议结点处的共享对象拷贝在该与会者拥有操作权时属于共享空间,否则,它属于私人空间。

在传统的教学和会议中,在资料上做注释或做笔记是一个基本要素。注释实际上是对电子材料实现了个性化操作,提高了学习及工作效率。然而在今天电子材料的注释没有得到广泛应用;它们要么做起来很困难,要么就根本不支持这一功能。我们相信这是大多数用户宁愿在阅读材料之前将其打印出来的最主要的原因。因此,我们的共享电子白板提供了能让用户对共享数据和私有数据增加注释,实现个性化操作的功能。

群体感知 就是通过手势、表情以及对资源的共同操作等动作营造一种现场感。会议的参与者要知道这次会议中有哪些人参加,什么时候加入什么时候退出,以及某一时刻其它与会者的状态,发言者要知道其它与会者的反应等等,这些都是群体感知的内容。感知内容可以层次化,简单地说可以大致分成三层,即会议概况、资源使用状况和操作结果,最粗略的是知道与会者及他们的身份位置等,精细一点是会议过程中哪个与会者在发言、哪个与会者在操作哪个资源等等,再精细一点就是发言内容、操作的结果以及各与会者的表情等。

群体感知有两个部分,一是所有与会者的视频图像与发

言者的语音,这是视音频交互信道的功能,另一部分是会议空间中的与会者及他们的操作,如某时刻某用户正在操作某资源等。

由于屏幕的限制与人的感知能力,与会者可以建立自己的显示界面,只显示感兴趣的资源内容,其它的资源图标化(iconify)。对于图标要动态显示当前状态,当状态变化时,以某种方式提醒用户,如铃声或闪烁等,这样可以实现群体注意。在桌面上,显示出来的资源对象表现为共享窗口,应支持远程指针,使所有用户都能够感知当前正在操作的对象;支持发言权控制,在非自由讨论模式下,限制某些人的写权限。

4. 电子白板工具的实现

我们的共享电子白板整个系统采用一种层次化的实际思想,便于系统的扩展。整个系统划分为三个层次,底层为可靠组播层,负责数据信息和控制信息的可靠组播传输。中间层是管理层,负责用户数据和用户权限的管理。用户数据管理主要是负责对底层数据的解析、存储和对顶层信息的封装和项底层进行传递。权限管理是负责通过设置主席或是主席团对整个白板共享空间进行管理,以及参与者所创建空间的权限管理。顶层是绘制层,负责文本和图像信息的显示、编辑、输入绘制。整个系统的层次结构如图3所示。

整个程序全部采用 C++ 语言进行开发,便于模块化的设计和分布开发,也便于整个系统的调试,提升系统的鲁棒性。

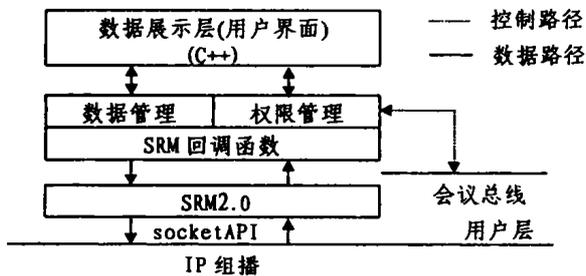


图3 电子白板系统层次结构

1) 数据展示层

数据展示层也就是共享电子白板的用户界面,主要功能是信息的编辑、显示和共享,如图4所示。数据展示层的特点可以概括为以下几点:

- 支持多种绘制对象的输入:直线、曲线、箭头、椭圆(填充和非填充模式)、矩形(填充和非填充模式)、多边形等对象。
- 支持多种格式的文件或图片的插入:ps、txt、bmp、gif、jpeg等多种文件格式。
- 支持文字编辑:参与者可以在白板空间内进行多种文字的编辑。
- 缩略图:所有的白板空间都拥有自身的缩略图,用户可以通过缩略图为指引进行空间的转换,并得到当前别的空间的内容概要。
- 支持对象的二次编辑:拥有权限的用户可以对共享的对象或者自己的私有对象进行移动、缩放、改变对象属性、删除等操作。
- 权限管理:主席可以控制(授予或者撤消)用户的写权限。
- 私有会谈:用户可以创建属于自己的私有讨论空间,而不会受到别人的“打扰”。
- 支持多种模式的应用:电子白板可以设置跟随模式或是

非跟随模式。跟随模式主要是用于报告或是授课等需要全体成员听一个发言者或是授课者指挥的模式,所有人的空间将与授课者或是发言者的空间保持一致。当发言者或是授课者新创了一个空间时,所有其他人都会自动转换到新创的空间。非跟随模式主要是用于自由研讨的方式,每个人的空间转换受自己的支配。

·灵活的空间布局:使用者可以自由地将缩略图、工具条收起,增大白板的可视空间,也可以随时恢复显示工具条和缩略图。

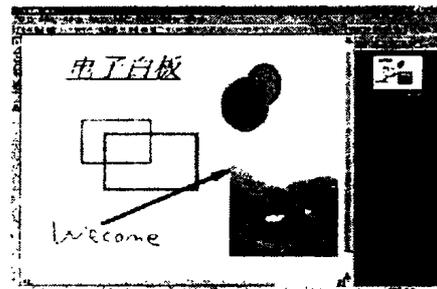


图4 电子白板用户界面

2) 中间管理层

中间管理层如图5所示,可分为两个部分:数据管理模块和权限管理模块。

A. 数据管理模块 主要完成以下功能:接收底层数据,将其解析成数据展示层可识别的模式;将收到的数据按不同的空间进行组织;封装数据展示层的数据报文,提供给底层传输。

共享电子白板中所有数据以一种层次化的结构进行管理,最顶层是共享电子白板中所有页面创建者的列表,下一层即每个创建者所创建的所有页面列表。最底层是每个页面中所创建的对象列表,如图6所示。

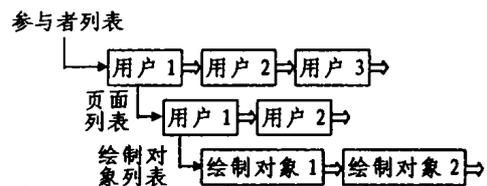


图5 中间层的数据组织结构

因此任何一个绘制对象都可以表示为一个三元组的描述符:(源标识符,页面标识符,页面中绘制对象序列号),这种层次化标识数据对象的好处是保证了所有的绘制对象都有一个全局唯一的标示,以防止数据同名的冲突。

B. 权限管理模块 主要是对不同参与者在不同页面中的可写权限进行管理。当电子白板以主席模式运行时,主席负责可写权限的设置和分配,所以权限管理模块就要根据主席控制消息进行相应的控制,以限制当前的某个参与者是否可以创建某一个页面或是否可以在某一个页面有写权限。

当电子白板单独运行时,用户可以选择是否设置权限管理,如果没有权限管理,则所有人都可以自由地出入各个空间并在每个空间进行绘制。这比较适合小规模的应用。如果要用于大规模的或是有安全性保障的应用之中,则要启动权限管理模块,这时第一个参与者也就是会议的创建者将成为主席,他将负责整个电子白板的权限管理,而且每页面的创建者将

成为空间的管理者。

与获得可创建电子白板中的页面或是对某一页面的可写权限相对应的是对这些权限的申请,会议管理者接收到申请并做出是否批准申请的指示。权限管理模块使用会议总线进行传输。

3)可靠传输层

电子白板系统使用 IP 组播方式,完全采用分布式的方式,不再设置白板服务器,参与会议的客户自己负责处理来自本地和远程的操作请求,并直接以组播方式把本地操作组播给其它客户。如果采用单播方式,服务器的性能就会成为制约应用系统可扩展性的主要因素。而 IP 组播不但提高系统的可扩展性,而且由于白板的操作动作可以直接由动作的发出者传给动作的接收者,减少了由服务器定序转发的延迟,提高了白板应用的交互性。

IP 组播并不支持数据传输的可靠性,为了确保电子白板的可靠性,底层采用了最新的提供回调机制的可扩展的可靠组播协议,SRM2.0(Scalable and Reliable Multicast Protocol)协议。

SRM2.0协议是基于应用层成帧思想设计的,将原来由协议完成的部分功能通过回调机制提交给应用层来完成,尽可能让不同的应用程序都获得最佳性能^[6]。

基于应用层成帧方式的优点之一是应用程序可以很容易地实现可选择的可靠性,从而减少了带宽需求。在可见页面中,电子白板要求更高层次的可靠性。当用户转换到一个新的页面时,电子白板向 SRM2.0协议请求恢复新页面中的丢失数据并将先前可见页面的丢失数据恢复优先权降低。然后 SRM2.0协议为新页面的丢失数据安排恢复请求并将不可见页面和先前的可见页面的优先权降低。可选择的可靠性的优点是可以极大地降低网络上的请求和恢复报文,降低网络流量,尤其是当一个新的用户参加到一个正在进行的会议中时。并在 SRM2.0协议定期发送的会晤报文中增加了用户信息,向应用程序提供自动更新的用户列表。

5. 同现有系统的比较

现有的共享电子白板工具包括 ClearBoard, GroupDraw, GroupSketch, VideoDraw, TeamSorkStation, Commune 和 WhiteBoard 等等。它们和我们的电子白板有很多不同的地方。

首先,它们的设计思想不同。基于点对点传输机制的电子白板系统(如 Microsoft NetMeeting, ClearBoard, 和 VideoDraw 等)主要是针对局域网进行设计的,在实现上采用了传统的客户/服务器模式,在用户量急剧增多时会引发服务器瓶颈问题。而基于组播传输机制的电子白板系统是针对广域网设计的,在实现上采用了分布式的模式,避免了服务器的瓶颈问题,有效地节约了网络带宽。

其次,它们的传输机制不同。前者采用点对点通信(unicast communication)来传输数据,而后者使用了 IP Multicast 作为网络传输机制。组播的使用能够有效地节省网络带宽,同时还使用了可靠组播协议来实现数据传输的可靠性。

第三,它们对带宽的需求不同。前者应用于局域网,对带宽需求不是很大,同时参加者的规模较小。而后者是针对广域网设计,有较高的带宽需求和众多的参加者。

我们在这里还要特别指出 MediaBoard 和我们的电子白板系统的区别。

U. C. Berkeley 大学的 Mash 研究小组开发的电子白板系统—MediaBoard 也是基于组播传输的,我们在设计和实现自己的电子白板系统时,借鉴了 MB 的一些优点,同时也注意克服了 MB 中存在的不足。

MediaBoard 系统的一个重大问题就是整个系统的层次结构不够清晰,底层采用了早期的 SRM 协议,可靠组播协议的编程和数据管理部分混合在一起,所有的功能模块没有一个比较明确的层次划分,这所带来的缺点就是不便于系统的扩展,而且白板的绘制部分大多采用脚本语言,极不利于整个系统的调试。

我们在设计电子白板系统时注重克服了这些缺陷,首先整个系统采用一种层次化的设计思想,将整个系统划分为三个层次,底层为可靠组播层,采用了最新的 SRM2.0协议,负责数据信息和控制信息的可靠组播传输;顶层是数据展示层,负责文本和图像信息的显示、编辑、输入绘制。中间层是管理层,主要是进行数据和权限的管理。具体参见本文的第4部分。

其次,在具体的功能实现上,相对于 MB 系统,我们的电子白板系统增加了更多类型的媒体的使用和处理;提供了可配置的、更简单易用的友好的用户界面,使得电子白板可以在多种会议模式下使用;同时增加了共享工作空间和私有工作空间的概念,提供了注释和群体感知的功能,更加有效地实现协同工作,使得参与者通过协同工作达到面对面会议的效果。

结论和展望 本文介绍了分布式电子白板系统的设计和原型系统的实现,具体介绍了底层的通信协议,白板数据的表示与管理以及它的用户界面。具体分析了电子白板中组织协同工作的问题,以及我们解决该问题所采用的体系结构。

电子白板系统采用了 IP 组播和基于应用层成帧思想设计的可扩展的可靠组播协议(SRM2.0)向 Mbone 上的其他参与者传播信息。通过原型系统的反馈可以表明传输机制是鲁棒的。电子白板的设计遵循了应用层成帧的原则,和大多数现有的基于应用层成帧的应用都将底层网络通信协议的编码和应用程序的编码合在一起不同,我们的电子白板系统将网络组件独立出来,作为一个独立的、可重用的由应用程序定制的层次。为了更好地使用 SRM2.0协议,我们根据电子白板自身特定的需求定制了 SRM2.0协议的回调机制,力图达到应用程序的最优化。为了保证灵活性和实用性,电子白板的用户界面是可以配置的,以适应不同会议场景的需要,增加了共享工作空间、私有工作空间、注释、群体感知等功能,以更好地支持用户的协同工作,并增加了向后来参加会议的用户提供历史信息的机制。

目前基于可扩展的可靠组播协议的电子白板系统已经集成在下一代因特网公共服务环境 Admire 系统中,并部署在国家自然科学基金委资助建设的中国高速互连实验网 NF-SCNet 的12个节点上。

正如文[7]描述的那样,支持协同工作的工具的设计与研究的方法是一个反复的过程,主要由观察、理解和支持这三个步骤组成。只有通过多次反复才能逐步改进我们的系统,最终实现让用户使用电子白板系统进行远程协同工作达到面对面会议的效果。

在本原型系统的工作基础之上,系统也还有很多可改进和扩充之处。主要包括:

- 电子白板数据的同步录制和回放。
- 电子白板数据的多级存储。

(下转第53页)

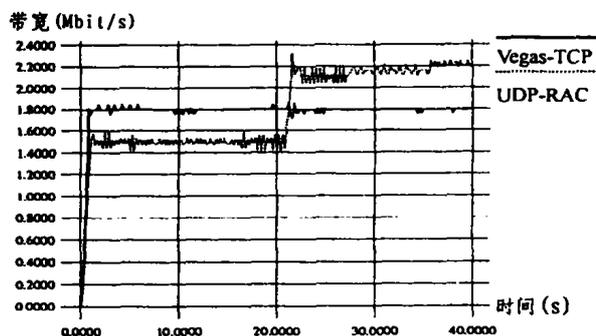


图5 RBC与Vegas TCP共存

图4是测试了RBC与NewReno TCP共存时,TCP流量与RBC流量带宽的占用情况。纵坐标表示带宽,横坐标表示时间。实线代表TCP流量,虚线代表RBC流量。从这个图可以看出,RBC的带宽利用率较TCP要高,而且并没有太多抢占TCP的带宽。也看出RBC带宽波动比较大,不如TCP稳定;而且启动过程比TCP慢,这一点可以在以后的研究中改进。

图5比较的是另一个TCP协议,Vegas TCP^[12]协议。Vegas比Reno TCP更及时地决定重传丢失的数据包,并能预测拥塞。在这次仿真中,RBC的带宽波动更大。开始阶段,RBC的带宽低于TCP带宽;经过20秒钟后线性上升,最后达到稳定状态。这里RBC带宽上升是因为RTT(Round-Trip Time)在连续几秒内降低所致,达到一个最低点后趋于稳定。

从上面的仿真结果看出,RBC也不是极其TCP友好的实现算法,而只是部分TCP友好。带宽占用的不公平性主要有下面原因:1. TCP的内部性能限制;2. 实现时的参数配置;3. RBC抢占了部分带宽。TCP存在性能限制。特别在一个窗口里同时多个数据包丢失或者窗口小于4时,TCP或者等待重传超时或者进入慢启动状态。当然,RBC在实现时还是能控制带宽抢占,不是不负责任的实现算法。虽然我们没能对RAP协议进行仿真,但从文献资料结果来看,我们的改进方法确实起到预期作用,带宽利用率高,而且比之稳定,能快速恢复。

结束语 在早期的网络中,由于TCP协议中没有拥塞避免和控制机制,过度重发、抢占资源等因素使得网络利用率很低,这促使了网络控制机制的研究。发送多媒体包的RTP协

议底层通过UDP传播,也没有任何控制。为了提高语音的QoS,我们在RTP协议上加了一个流量控制。基于速率控制的RBC算法在一定程度上要优于基于窗口控制的算法。加上RBC的RTP是一个负责的传输协议,对于目前网络流量绝大部分是基于TCP的情况,RBC基本上还是一个TCP友好的实现方法。同时RBC也不失UDP的优点,能够提供实时的多媒体传输。

当然,我们的工作还需要进一步改进,RBC还无法处理多个响应包同时丢失的情况。而且RBC还不够稳定,带宽波动比较大。为了更好地提高接收端的语音和图像质量,可以在接收方加上队列缓冲,降低传输延迟带来的延迟抖动和语音图像间隙。采用好的算法对丢包情况进行恢复,使得语音图像能够更平滑、自然地播放。

参考文献

- 1 ITU INTERNET REPORTS 2001: IP TELEPHONY. <http://www.itu.int/ti/index.htm>
- 2 IP Telephone Design and Implementation. <http://www.ti.com/>
- 3 ITU-T RECOMMENDATION H. 323 Packet-based Multimedia Communications Systems
- 4 舒华英,赖平璋,等编著. IP电话技术及其应用. 人民邮电出版社,1999
- 5 糜正琨编著. IP网络电话技术. 人民邮电出版社,2000
- 6 ITU-T RECOMMENDATION H. 225 Media Stream Packetization and Synchronization on Non-Guaranteed Quality of Service LANs. ITU-T. May 1996
- 7 Schulzrinne H, et al. RTP: a Transport Protocol for Real-Time Applications. IETF RFC1889, Jan. 1996
- 8 Rejaie R, Handley M, Estrin D. RAP: An End-to-end Rate-based Congestion Control Mechanism for Realtime Stream in the Internet. Proc. IEEE Infocom, March 1999
- 9 Jacobson V, Karels M J. Congestion avoidance and control. In ACM SIGCOMM '88, 1988
- 10 The Network Simulator - ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- 11 Floyd S, Henderson A T. RFC2582 The NewReno Modification to TCP's Fast Recovery Algorithm. U. C. Berkeley. April 1990
- 12 Brakmo L, Peterson L. TCP Vegas: End to End Congestion Avoidance on a Global Internet. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1995, 13(8): 1465~1480

(上接第46页)

·电子白板数据的同步反馈,从而更好地支持底层可靠组播协议拥塞控制的实现。

·增加新的媒体类型,如动画、视频、XML文档等。

我们将在今后的工作中逐步改进现有系统,增加新的功能,从而更好地支持基于组播的协同工作。

参考文献

- 1 Prakash A, et al. Data Management Issues and Tradeoffs in CSCW Systems. 1987
- 2 McCanne S. A Distributed Whiteboard for Network Conferencing. May. 1992
- 3 Tung T-L. MediaBoard: A Shared WhiteBoard Application for the Mbone
- 4 Raman S, McCanne S. Scalable Data Naming for Application Level

Framing in Reliable Multicast, 1998

- 5 Floyd S, et al. A Reliable Multicast Framework for Light-Weight Sessions and Application Level Framing. In: Proc. of ACM Sigcomm' 95. 342~356
- 6 Liu Ching-Gung. A Scalable Reliable Multicast Protocol: [Ph. D]. Dissertation Proposal, 1995
- 7 Tang J C. Findings from observational studies of collaborative work. International Journal of ManMachine Studies, 1991, 34: 143~160
- 8 Clark D, Tennenhouse D. Architectural Considerations for a New Generation of Protocols. In: Proc. of ACM SIGCOMM '90, Sep. 1990. 201~208
- 9 吴文峻,等. 可靠组播研究综述. 计算机科学, 2001(2)
- 10 UCL MICE project <http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/>
- 11 UCB Mash project <http://www-mash.cs.ucb.edu/>