

一种用于科研协同的电子白板系统的设计与实现

司慧勇

(北京航空航天大学 计算机学院 软件开发环境国家重点实验室, 北京 100083)

摘要:随着大规模网络协同技术的发展,科研协同日益成为重要和普遍关注的问题。它能够为科学工作者构建基于网络的科学研究与科研管理的虚拟环境,电子白板是科研协同环境中的重要支撑应用之一。文中从系统结构、冲突消除、一致性维护、并发控制等科研协同的关键问题进行讨论,然后提出一种混合模式的系统结构、半乐观的加锁策略和基于接收者因果保证机制解决并发性控制和一致性维护的问题,同时提出了一种基于分页的转发策略,并将其运用在原型系统的实现中,取得了良好一致性和实时性。

关键词:电子白板;一致性;并发控制;分页

中图分类号:TP311.5

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2006)10-0219-04

Design and Implementation of White Board in Scientific Research Collaboration Environment

SI Hui-yong

(National Key Laboratory of Software Development Environment, Department of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: With the development of large-scale collaboration network technology, the scientific research is increasingly becoming an attractive problem and will be more important. It can offer scientific workers a virtual environment for scientific research and management which based on network. White board is one of the most important support applications in scientific research collaboration environment. Some key issues such as system architecture, conflict elimination, consistency, concurrency control etc are discussed and their solutions are proposed respectively. The implementation of white board based on above mechanism is given.

Key words: white board; consistency; concurrency control; page division

0 前言

电子白板是科研协同工作的重要应用之一。它作为一种计算机支持的全新的共享通讯工具,极大地方便了人们之间的信息交流和交互,它在计算机屏幕上仿真实际的白纸或黑板,允许多个远程参与者观看或操作同一会议中的白板,并为他们提供了文字、图形和图片等非连续媒体的共同编辑和表现的功能,实现了参与者之间的资源共享。

计算机支持的协同工作(CSCW)是指地域分散的一个群体借助计算机及其网络技术,共同协调与协作来完成一项任务。它包括群体工作方式研究和支撑群体工作的相关技术的研究、应用系统的开发等部分。而电子白板系统旨在建立一个分布式的计算机协同工作环境,因此它属于CSCW的范畴,故在技术上面临CSCW的典型问题,如体系结构问题、分布式协同中的一致性、实时性等问题。

题。

文中将围绕这些技术难点展开讨论,提出并解决问题,最终简要给出一个原型系统实现。

1 相关技术及存在问题

从功能角度看,白板系统要求支持多角色用户对文字、图形的共同编辑以及白板的共享浏览;从性能的角度,白板系统需要保证数据的实时性和一致性。实时性指同一个用户的操作在本地应该得到立刻实现,并且尽可能快地通知其他节点作相应的改变;一致性是指对于任何一个用户在任何时刻共享对象必须具有相同的状态,处于相同位置,具有相同的属性。围绕上述的两个方面,电子白板需要解决系统的体系结构和协同问题两个基本问题。

1.1 体系结构问题

体系结构主要考虑分布式应用的组织问题;即如何利用网络通信实现共享,通常有两种策略:集中模式和复制模式^[1,2]。

(1)集中模式:由一台主机保留单一的数据副本,其它远程参与者均通过建立到该主机的通信信道来输入或输

收稿日期:2006-01-12

基金项目:“九七三”项目(G1999032711)

作者简介:司慧勇(1977-),男,江苏阜宁人,硕士研究生,主要研究领域为高速网络下的协同环境。

出数据。一般采用客户机-服务器结构。该模式对共享数据的同步控制简单,易于维护。但它的主要缺点是系统响应时间较慢,集中服务器的存在降低了系统的可靠性,服务器的故障会导致系统瘫痪。

(2)复制模式:交互空间中的每个参与者都复制了一个共享数据的副本,用户的输入能够直接从本地得到输出,但需要使用一定的手段来维护副本的一致性。与集中式相比,复制模式避免了集中服务器带来的可靠性问题,并提高了对本地用户的反应速度,但是由于需要维护所有副本的同步,而使系统的控制负载和维护同步的开销增大。

集中模式以其实现简单的优势,普遍运用在大量网络应用中。即使像白板这类数据交互频繁的系统,在用户数目不大的情况下,集中模式也能够较好地保证系统运行。但是,当数据量或用户数目激增的时候,中心服务器的处理会随之增加,成为系统的瓶颈,因此降低其工作负载是值得研究的课题。下文将介绍一种混合模式下的分页传输策略来降低服务器负载。

1.2 协同问题

协同问题是白板系统交互空间的构造问题,即如何实现资源共享和群体感知功能,该问题可以进一步细化为:一致性维护、冲突消除、并发控制。

(1)一致性维护^[3]:白板要求共享事件的发生顺序对于所有用户都必须是一致的,即事件的发生必须具有一致的前后因果关系,否则,不同顺序的事件组合会引起逻辑错误,造成感知的混乱。下面将提出并实现一种因果关系模型,能有效保证一致性。

(2)冲突消除:白板中的冲突主要是指共享资源的冲突,如数据命名的冲突^[4],或数据传输过程中引起的网络资源的冲突。前者是由数据的名字标识不唯一造成的,后者是由于通信带宽有限且交互数据具有明显的突发性而造成的。当同一时刻很多用户同时操作白板或者用户发送大批量数据时均很容易引发冲突,一旦冲突发生,便会引起网络拥塞和丢包,从而导致应用层数据出错。文中提出的基于全局标识的数据表示模型和分页的传输机制可以有效避免冲突。

(3)并发控制:主要用来解决不同用户对系统共享资源的访问控制,是 CSCW 的关键技术之一。经典的处理技术有:加锁法^[5]、时间戳法。加锁法是通过通过对共享数据加锁(Lock)或解锁(Unlock)达到互斥访问,使共享对象的访问得以串行化,实现简单,但加锁的粒度的大小会影响系统的执行效率;时间戳法是通过全局时间来决定事件发生的前后关系,但是全局时间很难实现。

综合上述两种控制策略,通过加锁方式来保证并发性,及通过控制对象的修改和访问的句柄,在某段时间里通过控制共享对象的修改和访问的句柄,在某一段时间内授予某一唯一的用户修改共享对象的权利,使对共享对象的访问得以串行化,从而保证数据的一致性。

2 系统总体结构模型

由 1.1 节可知,集中模式和复制模式是实现资源共享的主要方法,基于上面对这两种模式的研究和分析,文中采用一种混合的模式,该结构是集中模式和复制模式的综合,即节点维护一份本地的副本,来获得本地数据的最小响应时间,但动作是通过服务器转发给其他节点,并在这个过程中完成一致性的维护。这种结构是前两种结构的折中。下面将围绕冲突消除、一致性维护以及降低服务器压力等方面给出相应的解决方案。

白板系统需要实现的功能多且涉及到用户界面、控制策略和网络传输等多个方面的问题,故文中按照层次化的设计思想,将系统自上而下划分为相互独立透明的 3 个软件层(如图 1 所示):数据展示层、中间管理层、数据传输层。数据展示层的主要功能是将参与者在用户界面上的操作以及其他用户的操作在用户界面上显示出来;中间管理层主要功能是管理用户信息和白板数据,完成数据的存储以及展示层和传输层间的数据转化;数据传输层是负责数据的接收和发送。3 层结构可以较好地组织白板功能,使层与层之间的接口清晰明了,大大提高了系统的可扩展性。

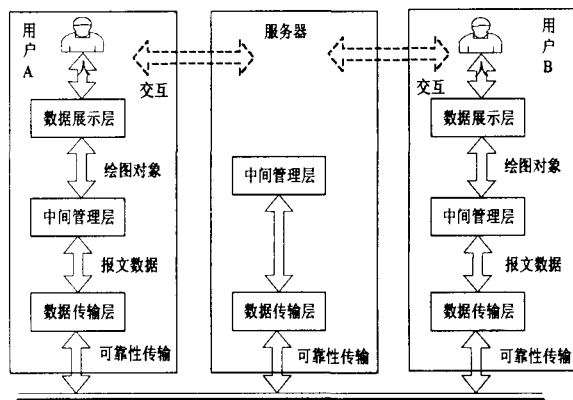


图 1 系统总体结构模型

3 系统的主要关键技术

3.1 基于全局标识的数据表示模型

用户的任何一个操作都需要及时准确地呈现给其他用户,所以每个用户的每个有效操作都必须进行处理。用户的操作可以描述为一个三元组(Operation, Type, Object),其中,Operation 为操作类型,可以为 New, Copy, Cut, Paste, Undo, Delete 中的任何一种操作;Type 为图元对象的类型,可以为 Line, Rectangle, Ellipse, Text, Picture 等中的一种;Object 为图元对象,可以表示为一个四元组描述符(UserID, PageID, ObjectNum, Attribute)。其中 UserID 是参与者描述符;PageID 是白板页面标识符;ObjectNum 是该参与者在这张页面上所绘图元的 ID,Attribute 是要修改的 Object 的属性。这种数据命名方法可以保证所有绘制对象都有一个全局唯一的表示,以防止并发操作引起的数据同名的冲突。当参与者每进行一次操作,白板系统

都会将该动作翻译成上述模型的数据。例如,用户 A 第 2 次在页面 1 上绘制了一个矩形框,则生成的数据实例为 (New, Rectangle, (A, 1, 2), 0), 若在同一时刻,用户 B 第 1 次在页面 1 上绘制了一个圆,则生成的数据实例为 (New, Circle, (B, 1, 1), 0)。使用如上的数据表示模型很好地抽象了白板系统中的各种类型的数据和交互动作,并建立两者之间的关联关系,从而为实现界面数据向白板数据的转化提供描述的手段。

3.2 基于分页的报文转发机制

白板服务器主要功能是转发报文,当数据量或用户数增大时,服务器的开销也会随之增大,最终会导致性能下降、网络资源的冲突。另外,白板还需要解决后加入者问题,即当用户在会议开始后进入仍可以获得历史数据,故白板服务器必须具备存储功能。显然,用户与会延迟,需要的历史数据就越多,这样势必造成历史数据抢占转发线程,延长了其他用户的响应时间。文中针对以上两种情况,提出了一种基于分页的转发机制来降低服务器的瞬时压力,并且降低了冲突发生的几率。

通常的白板都有白板页面的概念,即根据不同的讨论主题从逻辑上划分出多个共享画图空间。参与者可以创建页面,并在页面上进行图元的编辑。在某一时刻,用户关注的焦点只能是一张页面,而不可能也不需要感知到其他页面的变化,只有当浏览到其他页面时才需要感知。所以根据这一特点,文中提出了一种基于分页的转发策略,即什么时候看什么时候更新,服务器记录每个参与者的当前关注页面,并只为用户转发该页面上的事件报文,当用户切换至新页面时,为其恢复该页面上数据的更新。对于后加入者,服务器只在最初为其恢复所有的页面列表,而页面上的数据按照上述的方法更新。基于分页传输算法的描述如下:

输入:客户机的操作

输出:客户机和服务器的响应动作

```

set all page's timestamp = 0;
if (client operate an object in a page) {
    set this object's timestamp = this page's timestamp + 1;
    this page's timestamp ++;
}
if (client require to update a page) {
    set x = the local page's timestamp;
    set y = the server page's timestamp;
    if (x < y) {
        server will update objects with timestamp of x + 1;
        set the local page's timestamp = y;
    }
}

```

这种基于分页的转发机制,有效降低了服务器的转发频率和报文数量,较好地解决了服务器瞬时压力骤增的问题。值得一提的是,由于用户每次翻页都将向服务器请求更新,所以增加了一些控制报文的交互,但是这样的小报

文对于大数据量对象的传输效率没有多大影响。

3.3 基于加锁机制的并发性控制

根据在加锁请求得到批准之前对共享对象的操作是否暂停,加锁方法又可分为“悲观”、“半乐观”和“全乐观”三种。采用悲观加锁的方法,在能够对待处理的对象进行处理时,必须等待相应的加锁请求得到批准。在阻塞模式下,用户界面将被停止对用户操作的响应。在非阻塞模式下,在等待加锁请求期间,用户可能被允许进行其他的一些操作,但在请求被批准前不会被允许对待加锁的对象进行处理。乐观的加锁方法假定每个加锁请求都能得到批准,在发出尝试性加锁请求后就进行对对象的处理,如果请求未得到批准就撤消对对象的操作。根据在等待请求的批准期间的行为方式把乐观的加锁方式分成“半乐观”和“全乐观”两种。“半乐观”在批准前不再进行其他操作,故若请求得不到批准,仅需撤消一步操作。文中采用“半乐观”的加锁方法。图 2 说明了半乐观的加锁方法服务器端和客户端各自的流程。“全乐观”则继续执行其他操作,因此撤消时要撤消一系列操作。

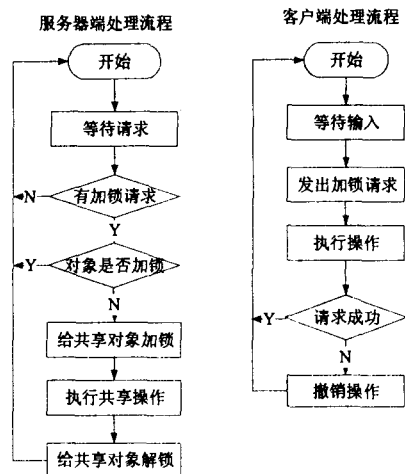
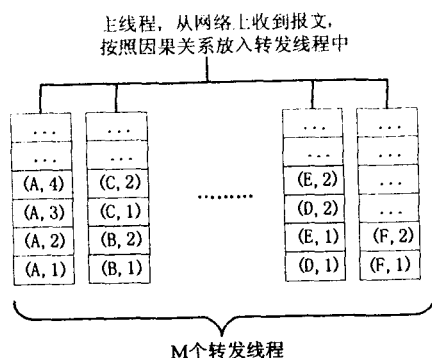


图 2 半乐观加锁方法流程图

3.4 基于接收者角色的因果保证机制

电子白板要求事件发生的因果一致性。因果一致性必须遵守以下条件:可能因果相关的写操作对所有进程可见,且顺序一致,并发写操作在不同机器上看顺序可以不同。由此可知,服务器在转发报文时,必须采取正确的分发机制来保证这种因果一致性。文中采用多线程技术实现了一种基于接收者角色的报文分发策略,有效地解决了 CSCW 中的一致性问题,同时还提高了服务器的并发能力。具体的实现方法是:服务器首先启动 M 个带有报文队列的转发线程,准备向 N 个用户转发报文,其中采用引用技术的方法对报文进行管理。根据服务器接收到报文的序列决定事件发生的因果关系,故接收者都必将遵循这一因果关系。服务器将转发给同一用户的所有报文引用按照这一因果关系放入同一转发线程队中。当 $M < N$ 时,转发线程不能再单独地为一个接收者服务,故可将多个用户的报文引用放入同一线程队列中,且这并不违背文中的因果

一致性。服务器转发报文时的示意图如图 3 所示。



注：二元组(X,Y)代表向用户X转发的第Y个报文

图 3 基于接收者的因果保证机制的服务器处理报文的示意图

4 系统实现

白板系统支持对多种基本图形、多种格式的文件或图片的操作。在展示层中，采用面向对象的思想，用基类 CDrawObject 抽象出图元类型的共同接口，如：Draw()、CreateCommand()等，通过继承，派生出具体的图元类型。

中间管理层的具体功能包括：封装展示层的数据报文，提供给下面的传输层；将收到的数据按一定方式进行组织，并提供给展示层显示。管理对象包括用户、页面及页面上的绘制对象。白板系统按照层次化的结构对被管对象进行存储，关系结构如图 4 所示。

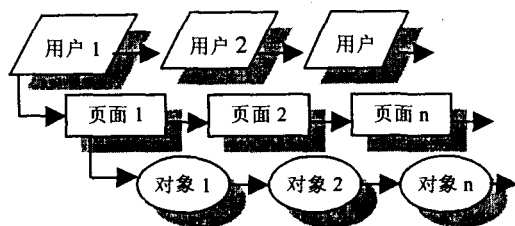


图 4 被管对象的组织结构

除数据的存储之外，系统还需要将数据打包发送给其他参与者，故文中设计了如图 5 所示的报文格式。其中，通用属性字段用于描述所有绘制对象的通用信息，如创建者、创建时间等；绘制对象属性字段用于描述具体的绘制对象特有的信息，如矩形的左上、右下坐标，直线的起点和终点等；扩展字段用于描述一些特殊的信息，如文本对象

通用属性字段	绘制对象属性字段	扩展字段(数据或操作的特殊信息)
--------	----------	------------------

图 5 数据报文结构

的文本数据，或是多个被编辑的对象标识。

因为电子白板要求共享数据的高可靠性，所以选用可靠的 TCP 传输协议作为底层的通信协议。同时，白板要求及时地数据通信，所以白板服务器采用异步 I/O 模型实现对多个套接字的管理，以提高服务器对客户端操作的响应速度。对该白板系统进行了多次测试结果表明，基于全局标识的数据表示模型和基于接收者的因果保证机制都很好地保证了系统的正确性。

5 结论

分析了电子白板的关键技术：系统结构、一致性维护、冲突消除以及并发控制，然后介绍了文中提出的解决方案。分层的软件结构提高了系统的可扩展性；基于全局标识的数据表示模型避免了命名冲突；基于分页的转发策略较好地降低了服务器负载，并有效减少了网络冲突的发生；基于接收者的因果保证机制很好地解决了一致性问题；半乐观的加锁机制解决了并发控制的问题。经过反复的测试，文中所实现的白板系统已经基本达到最初的设计要求：可靠性、实时性、一致性和正确性，服务器能够承受几十人同时在线交互的压力，较好地保障了用户间的协同工作。

参考文献：

- [1] McCanne S. A Distributed Whiteboard for Network Conferencing[Z]. UC Berkley CS 268 Computer Networks team project, 1992.
- [2] Prakash A, Shim H S, Lee J H. Data Management Issues and Trade-offs in CSCW System[J]. IEEE Transaction on Knowledge and Engineering, 1999, 20(9): 26-27.
- [3] Li D, Zhou L, Muntz R R. A New Paradigm of User Intention Preservation in Real-time Collaborative Editing Systems[A]. Parallel and Distributed Systems, 2000. Proceedings Seventh International Conference on 4-7 July, 2000[C]. Iwate, Japan: [s. n.], 2000, 400-408.
- [4] Tung T. MediaBoard: A Shared Whiteboard Application for the Mbone[D]. Berkeley: Computer Science Division (EECS), University of California, 1998.
- [5] Roberts D, Wolff R. Controlling Consistency within Collaborative Virtual Environments[A]. Distributed Simulation and Real-time Applications, 2004. Eighth IEEE International Symposium on 21-23 Oct, 2004[C]. Washington DC., USA: IEEE Computer Society, 2004. 46-52.

(上接第 218 页)

- Video Technol, 1999, 9: 172-185.
- [3] Ribas-Corbera J, Lei S. ITU Study Group 16, Video Coding Experts Group, Rate control for low-delay video communications[Z]. Portland: ITU-T, 1997.
- [4] ITU-T Recommendation H. 263 Version 2, Video Coding for Low Bitrate Communication[S]. 1998.

- [5] Sadka A H. Compressed video communication[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] Tsai J C, Hsieh C H. Modified TMN8 rate control for low-delay video communication[A]. Chang J Y. Proceedings of 2001 National Computer Symposium[C]. Kaohsiung: [s. n.], 2001.