

分布式 CAD 协同设计中的冲突消解

孙 欢, 刘 强

(清华大学计算机系, 北京 100084)

摘 要: 本文提出了一个分布式三维 CAD (Computer Aided Design) 协同设计环境中进行冲突避免、检测和解决的模型 DCCM (Distributed Cooperation Conflicts Model). DCCM 将具有语义的 CAD 命令分为两类, 混合使用操作序列化和半乐观锁机制进行并发控制; 提供协同感知机制避免协作冲突; 采用两级冲突解决模式, 基于命令的语义进行冲突检测, 提供仲裁者机制协商解决冲突.

关键词: 计算机辅助协同设计; 计算机辅助设计; 冲突; 并发控制

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 12A-2458-04

Conflict Resolution in Distributed CAD Cooperative Design

SUN Huan, LIU Qiang

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper presents a model named DCCM (Distributed Cooperation Conflicts Model) for conflicts avoiding, detecting and solving for 3-D distributed CAD cooperative design. DCCM classified semantic CAD operations into two types, mixed operation serialization and semi-optimize locking for concurrency control, afforded cooperative awareness to avoid conflicts, used 2-level conflict solving system, detected conflicts based on operations' semantics, afforded interceder based consulting policy for conflicts solving.

Key words: computer supported collaborative design; computer aided design; conflict; concurrency control

1 引言

基于 Web 的分布式 CAD 技术提供了一种可以更快地设计大型产品的途径, 并且大大降低了成本. 在分布式 CAD 系统的多人协同设计过程中, 不可避免地会由并发操作和设计意图差异等因素引起冲突, 因此 CAD 协同设计领域的冲突问题越来越为研究者们所重视. 传统 CSCW 领域中的协同冲突研究大多集中在协同文本编辑方面, CAD 设计尤其是三维 CAD 设计领域由于设计对象、设计行为更加复杂, 仍处于探索阶段. 目前对冲突消解的研究大致有以下成果: 使用操作序列化的方式, 依照用户之间的优先级排序进行串行化控制^[1]; 将用户操作命令分类, 依照不同类别对设计对象使用不完全加锁的并发控制策略^[2]; 利用特征建模, 基于对象特征属性进行冲突分析^[3].

以上研究成果从不同角度对分布式 CAD 设计中的协作冲突进行消解, 各有利弊, 有一些只是针对二维 CAD 协同设计的. 本文提出了一个在分布式三维 CAD 协同设计中实现避

免、检测和解决冲突的系统模型 DCCM (Distributed Cooperation Conflicts Model). 它的基本思想是: (1) 将 CAD 命令分为两类, 对共享资源采用操作序列化与半乐观锁并用的混合并发控制, 提供良好的协同感知机制避免冲突; (2) 将用户的 UI 操作转化为具有高层次语义的命令, 基于语义进行冲突分析; (3) 对待产生的冲突提供多种交流途径, 引入仲裁者机制让用户协商解决.

2 混合并发控制

传统多人协作系统中常见的并发控制方式有操作序列化、共享资源加锁等. DCCM 模型同时使用了这两种控制方式: 将 CAD 操作命令分为快速操作和慢速操作两类, 快速操作使用序列化方式, 慢速操作使用半乐观锁机制进行控制.

2.1 操作序列化

操作序列化是指在服务器端将所有客户端的命令按照服务器接收到的顺序放入 FIFO 队列, 依次执行, 再将执行的结

果广播到各客户端. 对 CAD 程序来说是单输入、单输出; 对协作用户来说是多输入、多输出.

这种控制方式的优点是响应速度快、对用户限制小, 多个用户可以同时操作一个对象; 缺点是结果难于控制, 假如同一个用户的操作存在因果关系或者不同用户的操作意图相悖, 那么得到的结果将与设计意图相去甚远.

2.2 共享资源加锁

共享资源加锁就是将网上的一套共享资源让用户通过锁定的方式竞争使用. 加锁策略可分为乐观锁、悲观锁和半乐观锁三种. 乐观锁在申请加锁后, 申请者不必知道申请是否得到许可就对相关对象进行操作, 此后如果申请被否决, 则必须返回到申请前的状态; 悲观锁在加锁的申请被许可前, 不允许对相关对象作任何操作; 半乐观锁是两者的折衷方案, 用户在加锁的申请被许可前, 不能继续执行除本次操作之外的其它操作^[5].

加锁策略的不足在于难于确定使用何种锁. 一般来说, 悲观的方法可能会导致滞涩、受限的用户界面, 而乐观的方法可能会导致用户界面不自然的突变^[9].

2.3 两者混合的并发控制

DCCM 采用的是面向具有语义的操作命令, 将操作序列化与半乐观锁机制有机结合起来的并发控制方式: 在客户端根据 CAD 操作命令的特点将命令分为快速操作与慢速操作两类, 本地立即执行用户的操作保证用户界面良好的响应速度, 将操作上报服务器, 如果是慢速操作则执行锁的申请; 在服务器端对快速命令使用操作序列化, 对慢速命令使用半乐观锁机制控制; 根据服务器控制后的结果返回客户端, 或确认操作或撤销操作.

使用具高层次语义的命令有两个优点: 其一, 对具有语义的命令进行分析更容易判断不同用户的设计意图是否产生冲突; 其二, 仅传输语义命令和必要的数据极大地减少了网络传输量, 适合广域网内的协作设计. 基于语义的并发控制比基于读/写的并发控制具有更高的并发度^[7].

依据 CAD 操作命令对用户界面的影响程度和占用资源时间的长短可将命令分为两类: 快速命令与慢速命令. 快速命令指的是可以瞬间完成的操作, 例如新建/删除对象、着色等; 慢速命令指的是需要一段时间才能完成或需要同时占用多个对象的操作, 例如调整对象大小、设置装配约束等. 快速命令因其占用资源时间短暂, 适宜使用操作序列化方式控制; 慢速命令因其占用资源时间较长、对用户影响较大, 适宜使用半乐观锁机制控制.

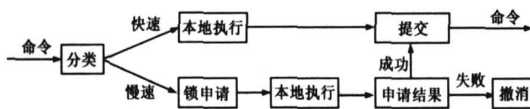


图1 客户端处理命令流程

客户端处理用户操作命令的流程如图1, 包括进行命令分类和半乐观锁的申请和响应控制. 快速命令因为使用操作序列化方式控制, 可以直接将用户的操作命令依序提交至服务器的操作命令序列中. 慢速命令使用半乐观锁机制控制, 在本地允许当前用户操作的同时进行加锁申请, 在获得加锁申

请的结果之前禁止用户对该对象的进一步操作, 根据申请结果来决定是否允许用户此次操作, 成功的本地命令再提交至服务器的命令序列中, 失败的命令则直接取消.

服务器端处理接收到的操作命令流程如图2, 将命令序列化, 进行冲突检测, 并分发到各个客户端, 半乐观锁申请的相关逻辑处理略去. 为简化设计复杂度, 检测出操作命令冲突后暂停冲突双方设计, 调用冲突处理协商机制解决.



图2 服务器处理命令流程

因为 CAD 系统中的对象依据装配关系以树状结构组织, 给对象加锁的粒度也应根据具体操作命令选择不同层次. 在 DCCM 中, 对某个 Part 的修改只需锁定该 Part, 而对某个 Assembly 的修改则应锁定该 Assembly 及其所包含的子 Part. 判断某个对象是否被锁定只需自顶而下试探即可. 加锁粒度由加锁逻辑控制自动选择. 层次化加锁策略示例如图3:

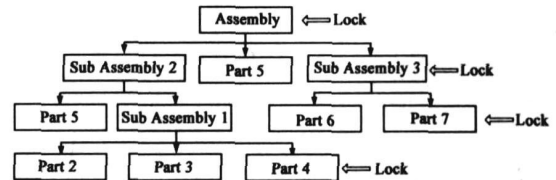


图3 层次化加锁

3 协同感知

除了使用并发控制避免冲突之外, 良好的协同感知机制也能够有效地促进设计者之间的协调, 减少冲突的发生. 同步协作群体中的协同感知应适用应用非独立的原理, 即协作应用必须在应用中承载协作者的行为信息, 如协作者在应用所提供的对象空间位置和行为信息: 协作者正在操作哪些对象, 他们正在采取什么行为^[9]. DCCM 采用了以下协同感知机制:

(1) 雷达视图机制: 通过雷达视图展示整个三维 CAD 工作空间构造, 显示设计者们在工作空间中所处的位置, 有利于设计者了解周围的其他设计者的情况.

(2) 可识别锁机制: 记录被锁定对象的相关信息, 如该对象当前被谁锁定了, 正在执行什么编辑命令. 利用这些信息, 设计者能够避免冲突操作, 可以与锁的持有人进行协作相关问题的讨论, 促进可能的协商.

(3) 消息通知机制: 创建或修改共享对象时向相关的协作用户发送消息, 促进设计者之间的协作. 设计者也可指定自己关注的对象或消息类型.

4 冲突检测与解决

经过以上避免冲突的策略处理后, 实际设计过程中可能检测到的冲突有如下两类:

一、设计者自身设计的冲突, 即单机 CAD 就存在的设计

冲突。

二、不同设计者之间的冲突。具体来说有以下几类：

(1) 设计意图冲突。接收到的操作序列重复或者设计意图矛盾所引发的冲突。一般来说这种冲突来源于不同设计者对同一对象同一属性的不同修改。

(2) 装配约束冲突。存在装配关系的两个或两个以上零部件分别被不同的用户锁定，其中一个客户端提交的操作将影响或破坏该装配关系，以致另一个零部件也必须做出相应的改动。

(3) 异常。如某个对象已在之前被删除，其它用户之后对其所做的操作就会引发冲突。

我们的冲突检测和解决的目的就是要对以上几类冲突进行消解。为合理分配冲突检测和解决的负荷，服务器端与客户端分别进行不同层次的冲突检测和解决。如图 4。

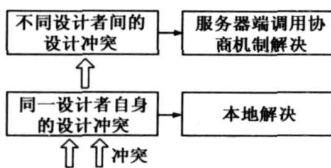


图 4 两级冲突消解机制

客户端的冲突检测实际与单机 CAD 自身的分析功能差不多，区别在于单机 CAD 往往在保存文档时才进行检测，在协同设计中需要实时调用单机 CAD 的相关检测功能发现冲突，在此不再赘述。

服务器端依照检测到的冲突类型，分别采用不同的方式解决

(1) 找不到操作对象的命令，直接撤销，给相应客户端返回错误。

(2) 约束关系对象被他人锁定的命令，启动协商机制让双方设计者解决。

(3) 设计意图冲突的命令，启动协商机制让双方设计者协商解决。

网络通讯的发展给设计者之间的协商提供了多种途径，DCCM 提供了文字聊天、语音交流、共享文档的交流方式，采用引入仲裁者的协商机制。双方设计者协商时系统暂停双方设计，根据已有知识自动生成可能的版本供双方选择，如果双方设计者无法达成一致，则引入第三方仲裁者进行仲裁。

5 系统实现

我们实现了一个基于 DCCM 的分布式三维 CAD 协同设计系统原型：采用 S/C 架构，使用 Web Service 作为通讯手段，将协同功能以组件方式嵌入 CAD 系统 GemsTi 中。由于 GemsTi 目前尚没有具体的命令集，直接对用户的 UI 操作进行处理，所以我们在客户端先将用户的 UI 操作转化为具有高层次语义的抽象命令，通过本地冲突分析后经 Internet 传输到服务器端进行并发控制分析和冲突检测，确认成功通过的操作从服务器分发到网络中的所有节点。

以下是一个两名设计人员 A、B 同时修改一个零件“通体”的例子。A、B 在同一个草图上的冲突位置做槽拉伸和凸台，因为是慢速操作，经加锁机制控制后保留设计者 A 的操作：

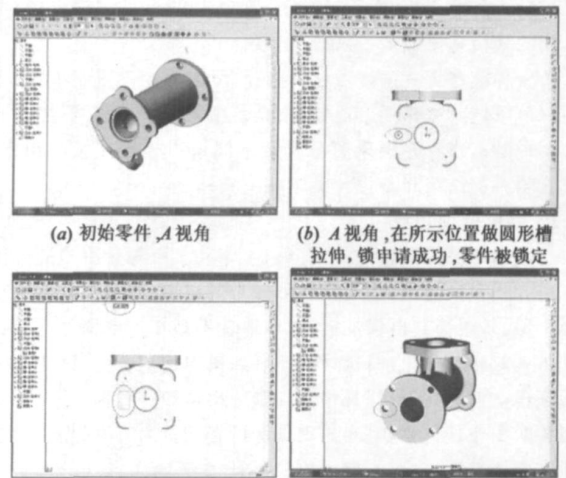


图 5 仿真系统的一个结果

6 结论

本文结合分布式 CAD 设计领域中关于协作冲突的研究现状，提出了一个新的协作冲突避免、分析和解决的模型 DCCM。它处理具有语义的命令，分类使用操作序列化与半乐观锁两种方式混合进行并发控制；提供雷达视图、可识别锁和消息通知机制实现协同感知；使用两级冲突消解机制，引入仲裁者的协商机制进行冲突分析与解决。基于 DCCM 实现的系统可以有效地处理分布式 CAD 协同设计中的冲突问题，为设计者们提供自由、自然的交互环境。

今后进一步的研究方向有：协作任务的智能划分；冲突检测的细化与完善化等。

参考文献：

- [1] 潘吟飞, 等. 基于 Web 服务的图形 CAD 网络化协同设计框架[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 11(5): 606- 612.
Pan Yinfei, et al. Web services based collaborative design model of graphics CAD systems on Internet[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2005, 11(5): 606- 612.
- [2] 刘喜明, 等. 基于 C/S 模式的同步协同设计运行机制和策略[J]. 计算机工程与应用, 2001, 15: 64- 67.
Liu Ximing, et al. Mechanism and strategy of synchronous cooperative design based on client/ server mode[J]. Computer Engineering and Applications, 2001, 15: 64- 67.
- [3] Yong Junhai. A framework for seamless computer supported cooperative work in three dimensional design[A]. The 9th International Conference on CSCWD Proceeding[s][C]. UK: Coventry University, 2005. 638- 642.
- [4] GP Shea, RA Guzzo. Group effectiveness: what really matters sloan manage[J]. Sloan Management Review, 1987, 28(3): 25- 31.
- [5] Greenberg S, Marwood D. Real time groupware as a distributed system: concurrency control and its effect on the interface[A]. Proceedings of ACM Conference on Computer Supported Coop

erative Work[C]. New York: ACM Press, 1994. 207- 218.

- [6] 杨光信, 史美林. 全复制结构下基于对象数据模型的并发控制[J]. 计算机学报, 2000, 23: 113- 125.

Yang Guangxin, Shi Meilin. Object data model based concurrency control in fully replicated architecture[J]. Chinese Journal of Computers, 2000, 23: 113- 125.

- [7] Mak H K, Wong M H. An experimental study of semantics based concurrency control protocols[J]. Data & Knowledge Engineering, 2000, 35 (1) : 53- 81.

- [8] Suleiman M, Cart M, Ferrie J. Serialization of concurrent operations in a distributed collaborative environment[A]. Proceedings of ACM SIGGROUP Conference on Supporting Group Work [C]. Phoenix: ACM Press, 1997. 435- 445.

- [9] 李玉顺, 等. 新三维协作感知模型及其应用研究[J]. 计算机集成制造系统, 2003, S1: 96- 102.

Li Yushun, et al. A new model of 3d collaborative awareness and its application research[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, S1: 96- 102.

作者简介:



孙 欢 男, 1982 年 2 月出生于广西柳州市. 硕士, 主要研究方向为 CSCW、软件测试. E-mail: sunhuan00@mails.tsinghua.edu.cn



刘 强 女, 1963 年 7 月出生于内蒙古包头市. 现为清华大学计算机系副教授, 研究领域为 CAD、软件工程.
E-mail: liuqiang@tsinghua.edu.cn