

面向协同虚拟维修的并发操作控制方法^①

赵超, 李星新, 夏空, 崔庆春

(军械工程学院 维修工程实验中心, 石家庄 050003)

摘要: 在装备维修活动中, 许多维修作业必须在多人协同下才能够完成. 在此类虚拟维修情况下, 同一对象可能同时被多名用户执行相同的操作, 称之为并发操作. 为高效处理并发操作带来的冲突问题, 在分析以往多种并发控制方法的基础上, 综合运用多种并发控制机制, 提出一套有效的冲突解决方案, 缩短冲突消解时间. 最后, 以实例的实际应用验证了方案的可行性与有效性.

关键词: 协同虚拟维修; 并发操作; 并发控制; 冲突消解

Control Method of Concurrent Operation for Collaborative Virtual Maintenance

ZHAO Chao, LI Xing-Xin, XIA Kong, CUI Qing-Chun

(Maintenance Engineering Institute, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In equipment maintenance activities, a great amount of maintenance work have to be completed by more than one person in cooperation. In this case, an object may be operated equally by multi-users simultaneously, which is called "concurrent operation". For efficiently handling conflict, many concurrency control methods were analyzed. Then the combination of multiple concurrency control mechanisms was used and a set of effective conflict solution was put forward to shorten the time of conflict resolution. Finally, the feasibility and availability of the method is verified through a practical instance application.

Key words: collaborative virtual maintenance; concurrent operation; concurrency control; conflict resolution

协同维修是集体性活动, 需要所有人员密切配合, 有条不紊地进行维修作业. 在实际活动中, 由于参与人员相互间可见、沟通方便, 不会出现多人同时拧一个螺丝、打开一个盖子等类似的情况. 但在虚拟维修活动中, 由于受虚拟场景、通信、仿真粒度等诸多因素影响, 用户相互之间很难做到“你见即我见”, 上述情况很可能出现, 如果用户的操作意图不一致, 冲突就会发生, 对协同虚拟维修产生影响, 严重时甚至导致系统崩溃. 为解决以上可能出现的情况, 避免冲突的发生, 必须采取措施进行冲突的预防与消解, 这就是并发控制.

在这里, 并发操作不同于并行操作. 并发操作是指在操作对象时, 单个用户就可独立完成, 却有多名用户同时参与, 系统面对多条指令无所适从(如前面

提到的多人同时拧一个螺丝等情况); 并行操作是指在操作对象时, 必须由多名用户同时参与、共同操作, 才能完成相应动作. 所以, 针对并行操作的管理机制和控制方法不适用于处理并发操作.

针对并发操作控制的研究已经有许多解决方案, 涉及虚拟维修、虚拟装配、CAD、虚拟实验等许多领域.

Jing 等提出基于局部锁定的少约束并发控制机制处理复制式在线协同 CAD 系统的并发活动^[1]. Jara 等提出了实时协作虚拟实验室, 使用加锁法进行并发控制, 实现了多人异地轮流操作同步观看^[2]. 在国内, 余春艳^[3,4]等人在研究协同虚拟环境时, 有效结合令牌机制与投机策略, 在一致性和响应性之间寻求均衡, 一定程度上解决了并发控制问题. 上海交通大学机械与

^① 基金项目: 预先研究项目(51327020201)

收稿时间: 2014-02-19; 收到修改稿时间: 2014-04-04

动力工程学院武殿梁^[5-7]等人利用 HLA 构造多用户协同虚拟装配系统, 借助于 HLA 中的所有权管理机制, 在冲突发生时, 保证某时刻只有一名用户的操作有效, 从而规避了冲突. 在虚拟实验方面, 马艳芳^[8]提出了“多种令牌”+“操作队列”法来解决虚拟协同实验的并发冲突问题, 大大提高了权限控制的灵活性, 并相应的弥补了单令牌容易丢失的缺陷. 在虚拟维修方面, 徐晓刚^[9,10]等人采取复合的并发冲突控制方案“权限和令牌”解决多人协作中的冲突问题.

以上的这些方法在处理并发冲突问题时, 一定程度上达到了并发控制的效果, 但也存在一些问题, 如使用令牌机制增加了系统响应时间, 不利于交互, 使用加锁法不易控制加锁时间的长短, 等等. 本文在分析几种常见的并发控制方法基础上, 从缩短系统响应时间的需求出发, 综合运用多种并发控制机制, 提出一套有效的冲突解决方案以缩短冲突消解时间.

1 几种常见的并发控制机制的分析比较

当前处理并发操作冲突问题常用的基础解决方法有权限控制法、加锁法、令牌传递法、时间戳法及在此基础上复合控制法. 以下是五种方法的相互比较, 如表 1 所示:

表 1 五种并发控制方法的比较

并发控制	优点	缺点
权限控制法	赋予不同用户的权限, 明确各自的任务, 便于管理	一个权限只能给定一个用户, 否则仍然存在冲突 系统很难确定加锁的时间长短和对对象加锁粒度的大小, 易造成较长的操作等待时间, 甚至出现“死锁”现象
加锁法	保证了数据和视图的一致性, 设计和实现简单	有冲突操作需要用户手工干预, 用户的错误将导致模型数据的不一致性
令牌传递法	令牌可以随时申请, 相互间文本交流不受影响, 传输速度快, 实时性强	阻碍了信息的自然流动, 不适合于成员的协同交互
时间戳法	可以唯一地表示出操作的次序, 保证时空一致性	设计较为复杂, 难度加大, 通信量增加
复合控制法	克服单一方法的不足, 增强交互性, 缩短了交互响应时间	

从表中可以看出, 在协同虚拟维修操作时, 如果单一地使用前四种方法之一, 或多或少能达到一些控制效果, 但系统响应时间会大大增加, 用户等待时间

延长, 不利于交互的进行. 为解决此问题, 结合协同维修操作的实际情况, 本文在处理协同虚拟维修的并发操作时, 采取“多种权限+时间戳”的复合控制策略, 解决冲突问题并缩短系统响应时间, 具体方案由下文介绍.

2 面向协同虚拟维修的并发操作冲突解决方案

2.1 “多种权限+时间戳”的复合控制策略

“多种权限+时间戳”的复合控制策略主要分为①②③三步完成, 如图 1 所示:



图 1 “多种权限+时间戳”的复合控制步骤

主体思路是: 当用户执行某一维修操作时, 系统首先判断当前是否存在并发操作, 没有则执行操作, 有则根据基于权限的控制方法, 选出最高优先级的用户. 如果只有一名则得到控制权. 若存在多名, 说明冲突依然存在, 系统继续依据基于时间戳的控制方法, 选出时间戳最小的用户. 如果只剩一名则得到控制权, 若仍然有多名, 系统随机赋予其中一名用户控制权.

下图 2 是并发控制冲突解决方案的选择过程:

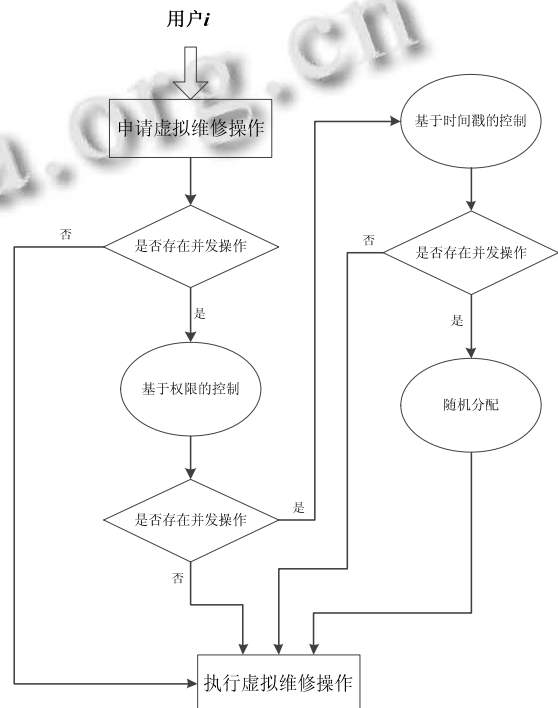


图 2 “多种权限+时间戳”的冲突解决方案的选择

2.2 基于权限的控制

将权限按照优先级从低到高依次分为 0 级、1 级、2 级、3 级。0 级为最低权限，拥有 0 级权限的用户不能操作虚拟维修场景中的任何物体，只是作为观察者观看维修操作，其拥有者一般为刚接触维修操作的人员，优先级最低；1 级为普通权限，拥有 1 级权限的用户可以参与部分安全性高的维修操作，如拆卸、安装、擦拭等简单操作，其拥有者一般为初步参与维修操作到熟练掌握维修操作这段范围的人员，优先级较低；2 级为较高权限，拥有 2 级权限的用户除可以操作 1 级的维修动作，还能参与一些有安全风险的维修操作，如某些因误操作会产生不良影响的维修操作，其拥有者一般为熟练掌握维修操作的人员，优先级较高；3 级为最高权限，可以操作所有可操作对象，包括正被低权限用户操作的对象，其拥有者一般为协同组的组长，有最高的优先级。

在系统角色创建之初，赋予角色相应的优先级，系统根据用户优先级进行并发操作的控制。以 S 表示优先级， S_i 为用户 i 的优先级，取值为 0, 1, 2 或 3。权限控制一般过程如所图 3 示：

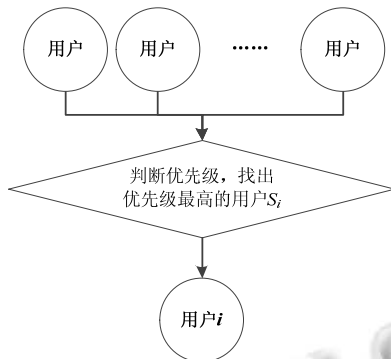


图 3 基于权限的并发控制一般过程

注: $S_i = \max\{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, 其中 $i = 1, 2, \dots, n$

当两名以上不同权限用户发生并发操作时，系统自动判定各用户优先级，找出优先级最高者赋予其操作的权限，其余用户的操作请求被驳回，等操作结束后可以继续提出操作申请。当操作过程中，如果有更高权限的用户提出操作申请，则当前用户操作停止，失去对物体的控制权，获得控制权的用户可选择继续当前的操作或使物体恢复上一操作前状态再进行操作。

如果系统判定出优先级最高者不止一个，以上的方法就不能完成冲突消解，需要采取进一步措施——

时间戳进行并发控制。

2.3 基于时间戳的控制

当优先级相同的用户产生并发操作时，系统将根据时间戳机制判定由谁进行操作。具体实现方式是：系统给每个操作申请一个时间戳，记录操作申请时间。当同一优先级的用户操作同一物体时，系统根据时间戳的大小判定赋予谁操作权限，时间戳小的执行操作。

系统从第一个用户进入时开始计时，直到最后一个用户退出计时结束。以 T 表示用户的时间戳， T_i 为用户 i 某时刻操作的时间戳，取值为系统当时的计时时间。时间戳控制的一般过程如下图 4 所示：

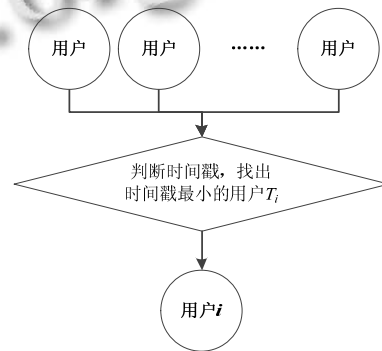


图 4 基于时间戳的并发控制一般过程

注: $T_i = \min\{T_1, T_2, \dots, T_m\}$, 其中 $i = 1, 2, \dots, m$ $m \leq n$

如果优先级相同且时间戳在允许范围内(考虑到网络传输有延时)相等，系统随机赋予其中之一的用户操作权限，其余用户处于操作等待状态或进行其他操作。

3 应用实例

以某型火炮底盘系统信息处理机的更换过程为例，共有三名用户参与训练，分别为用户一、用户二和用户三(以下简称一、二、三)，系统赋予一的权限为 2 级，即 $S_1=2$ ，二和三的权限均为 1 级，即 $S^2=S_3=1$ 。

信息处理机更换的整个过程是：一和二分别打开舱体的左右门，二和三分别拆下处理机的几个紧固螺母，然后一拆下处理机，三拿起新的处理机安装到舱内，二和三再拧上几个紧固螺母，最后一和二关上舱体的左右门，整个过程到此结束，如图 5 所示。

但是在操作过程中，如果一和二同时打开或关闭同一侧的门(如左门)，冲突出现了，系统根据预先设定的优先级判断 $S_1>S_2$ ，决定由一执行操作，二的界面

出现“当前操作已由其他用户执行，请等待或执行其他操作”的提示信息，如图 6 所示。在拆下或拧上紧固螺母时，二和三同时操作同一螺母，系统根据优先级判断 $S_2=S_3$ ，则依据时间戳的大小判断 $T_2<T_3$ ，决定由二执行操作，三的用户界面弹出“当前操作已由其他用户执行，请等待或执行其他操作”的提示信息，如图 7 所示。

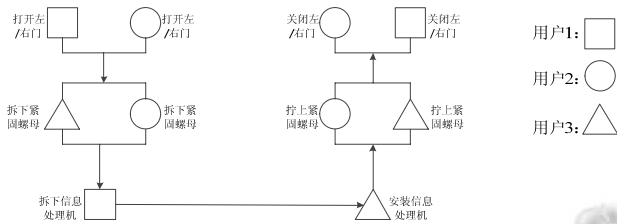


图 5 三名用户参与信息处理机的更换过程



图 6 用户一和用户二同时打开左门时系统的处理

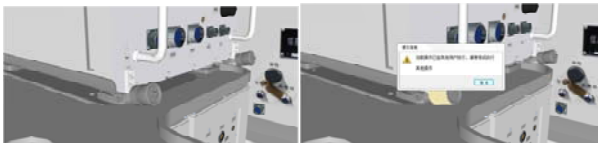


图 7 用户二和用户三同时拧同一螺母时系统的处理

通过信息处理机的更换这一协同过程，可以看出系统在冲突发生时，及时运用了比较优先级和时间戳的策略，对并发行为进行了有效控制，保证了维修操作的顺利进行，检验了“多种权限+时间戳”的复合控制策略的有效性。经测试，系统从出现冲突到指定用户操作，间隔时间不超过 150ms，用户不会感觉到有明显停顿感，完全能满足协同虚拟维修的需要。

4 结语

协同虚拟维修要求多人同时参与，出现冲突在所

难免，需要有一个良好的冲突控制机制进行冲突消解。本文首先阐述了协同虚拟维修时冲突的产生原因及相关概念，介绍并分析了当前处理冲突问题常用的几种方法。针对协同虚拟维修的特点提出了“多种权限+时间戳”的复合控制策略进行并发控制，详细解释了这种复合控制策略的含义和工作机理。最后，以某型火炮底盘系统信息处理机的更换过程为例，检验了冲突控制的有效性，达到了协同虚拟维修的并发控制目的。

参考文献

- 1 Jing SX, He FZ, Han SH, et al. A method for topological entity correspondence in a replicated collaborative CAD system. *Computers in Industry*, 2009, 60: 467-475.
- 2 Jara C, Candelas F, Torres F. Real-time collaboration of virtual laboratories through the internet. *Journal Article Compute Education*, 2009, 1(52): 126-140.
- 3 余春艳,庄越挺,潘云鹤.基于角色的协同虚拟环境并发控制投机策略. *浙江大学学报(工学版)*, 2004, 38(6): 658-664.
- 4 余春艳.基于角色和面向智能主体的协同虚拟环境的研究[博士学位论文].杭州:浙江大学, 2004.
- 5 韦乃琨,范秀敏,武殿梁,甄希金.基于 HLA 的分布式协同虚拟装配系统研究. *机械设计与制造*, 2008(12): 94-96.
- 6 韦乃琨.面向复杂产品的分布式协同虚拟装配关键技术研究[硕士学位论文].上海:上海交通大学, 2008.
- 7 甄希金,武殿梁,范秀敏,朱洪敏.虚拟环境下汽车装配工位协同操作仿真. *上海交通大学学报*, 2009, 43(12): 1863-1868.
- 8 马艳芳.虚拟协同实验的研究与设计[硕士学位论文].北京:北京邮电大学, 2011.
- 9 欧立铭,徐晓刚,王建国,王斌.协同虚拟维修及其关键技术. *舰船科学技术*, 2010, 32(11): 122-125.
- 10 徐晓刚,欧立铭,邵承永.单人/多人虚拟维修训练开发平台. *兵工学报*, 2012, 33(7): 886-891.