虚拟维修仿真建模与控制实现

周 栋 吕 川

(北京航空航天大学 工程系统工程系, 北京 100083)

摘 要: 现有的建模技术在描述维修过程及其相关信息资源等方面存在很大不足,同时缺乏将抽象的维修任务描述与底层维修活动仿真相结合的研究,针对此问题提出并建立了维修任务仿真管理模型 MTN(Maintenance Task Net). 构建 MTN 模型框架并建立基本功能模块,同时阐述了 MTN 建模的 3 个要素:状态、活动和条件. 基于状态描述各种维修资源,基于活动定义维修动作行为,基于条件建立资源与活动间约束关系. 进一步阐述 MTN 驱动虚拟场景进行维修仿真,同时控制管理整个维修仿真过程. 最后给出了应用实例,该模型对实际工程中维修工作分析评价的开展具有一定的实用价值.

关 键 词: 虚拟现实; 维修; 建模; 仿真; 控制系统

中图分类号: TB 114.3

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)07-0843-04

Modeling and control implementation of virtual maintenance simulation

Zhou Dong Lü Chuan

(Dept. of System Engineering of Engineering Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: It is insufficient to describe maintenance process and relevant resources with existing modeling technique, and existing methods are deficient to combine the expression of maintenance task and maintenance action simulation. Therefore, MTN (maintenance task net) was proposed in order to solve the integration of maintenance task description and maintenance action simulation. The framework of MTN including definition module, drive module and control module was constructed. The three key factors of MTN including state, action and condition based on the style of Petri net was biult. State could define maintenance resources such as human, tools and equipments. Action could define simulation process of behavior. Condition decided the constraint of state and action. MTN could drive virtual scene display system to run simulation and also could control the whole process. A case of LRU(line replaceable unit) disassembly was applied and the result proves that MTN model is valuable for the simulation and analysis of maintenance task.

Key words: virtual reality; maintenance; model buildings; simulation; control system

维修任务的执行需要多个工序,包括修理、检测与拆装等. 整个维修任务是由这些工序所组成的一个过程,每个工序可视为过程中的组成活动. 另一方面,每个工序的具体实现,也同样是由一步步的组成动作连贯执行的. 所以,无论是相对抽象的维修任务描述,还是考虑底层的维修工序行为仿真,都具有“过程性”这一特征. 为了能够控制管理虚拟场景显示系统进行维修任务仿真的开发、应用,必须对这 2 种具有“过程”特性的内容提供建模描述支持. 目前有很多种方法可用于过程建模,其中应用比较广泛的方法有 IDEF3, UML, PERT 图以及 Petri 网等[1-4]. 这些技术相对于场景仿真的具体实现而言,比较适用于描述高层的、相对抽象的过程信息,一般来说能够提供许多基于模型的分析功能,但目前还缺乏对仿真过程细节与宏观过程模型进行结合的研究. 基于上述问题,本文研究开发了维修任务仿真管理模型 MTN(Maintenance Task Net). MTN 采用网络化建

收稿日期: 2005-07-26

作者简介: 周 栋(1977-),男,陕西咸阳人,博士生, zhoudong@dse.buaa.edu.cn.

模,能够描述高层的抽象维修任务,也能驱动控制虚拟场景进行仿真.

1 实现框架

基于图形化过程模型的 MTN 可以描述维修任务,在模型仿真过程中能够驱动虚拟场景显示系统进行虚拟仿真,同时 MTN 的控制机制能够管理整个虚拟仿真过程. MTN 与虚拟场景显示系统之间采用客户-服务器结构进行网络连接,同时在仿真过程中的相关记录采用数据库存贮下来,数据库本身也可以是异地的. 采用这样的网络结构是为了避免在虚拟仿真过程中大量的数据集中在单机上导致系统无法承受. 实现框架如图 1 所示.

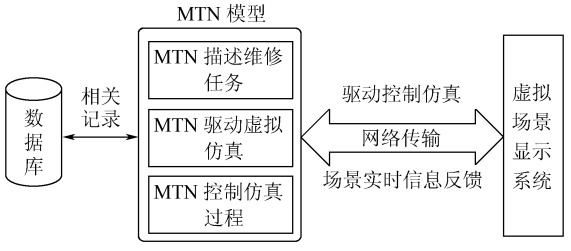


图 1 MTN 模型框架结构

2 MTN 模型设计

2.1 MTN 描述维修任务

MTN 基于图形化方式进行构建,由 3 种要素组成:①状态. 对维修任务中涉及的资源、对象进行了描述,表示一些运行标识(如是否资源可以利用、开始、正常结束、异常结束等状态);②活动. 表示维修任务中要进行的操作行为;③弧. 表示约束条件.

MTN 建模界面如图 2 所示. 图 2 中,圆圈代表状态;方块代表活动;状态与活动之间用弧连接. 各个要素设置属性集,见表 1 ~ 表 3. ①状态. 目前考虑的属性有名称、设备、工具、人员和运行标志,可根据需要不断扩充;②活动. 目前考虑的属性有名称、维修任务指令、维修工作说明、所属工序和单次运行,根据需要可不断扩充;③弧. 目前考虑的属性有设备、工具和人员,可根据需要不断扩充. 对状态和活动来说,都可有指入弧和指出弧.

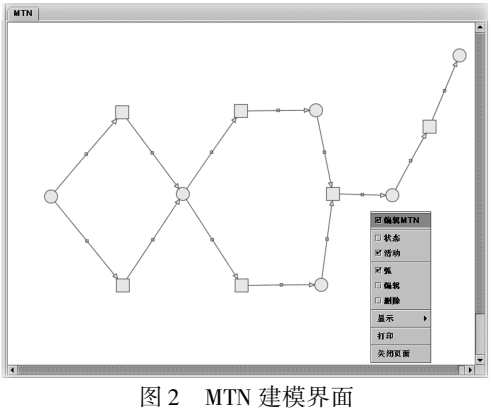


图 2 MTN 建模界面

表 1 状态属性集

属性	说明
名称	为状态的 ID 起始,默认值是首字母为 p(place),后面数字按状态建立顺序依次排列的名称
设备	为状态内所含有的设备数量,默认值为 0
工具	为状态内所含有的工具数量,默认值为 0
人员	为状态内所含有的人员数量,默认值为 0
运行标志	设定状态是否含有运行标志,有运行标志则表示该状态的资源可用,否则为不可用. 1 为有,0 为无,默认值为 0

表 2 活动属性集

属性	说明
名称	为活动的 ID,用户可随意定制该名称
维修任务指令	为该活动对应的维修操作,可以是单个操作的指令,也可以是包含了一系列连续动作指令的函数. 该编辑框中可以写入多条指令,指令之间用分号隔开,这些指令在此活动触发时将会被同时执行. 维修任务指令通过调用虚拟显示系统接口函数驱动场景进行虚拟仿真
维修工作说明	维修工作所必要的文字说明,默认值为空字符串
所属工序	说明该活动所属工序的工序名,为评价系统提供数据
单次运行	活动可以指定为单次运行和非单次运行. 单次运行填 1,非单次运行填 0. 默认的运行方式为非单次运行,默认值为 0. 如果活动为单次运行,则该活动将在满足触发条件下只能被触发一次,非单次运行活动可以多次运行

表 3 弧属性集

属性	说明
设备	指出弧该属性为该弧需要使用的设备数量; 指入弧该属性为该弧释放的设备数量
工具	指出弧该属性为该弧需要使用的工具数量; 指入弧该属性为该弧释放的工具数量
人员	指出弧该属性为该弧需要使用的人员数量; 指入弧该属性为该弧释放的人员数量

2.2 MTN 驱动虚拟场景进行仿真

MTN 驱动虚拟场景显示系统进行维修任务过程仿真中最核心的部分是 MTN 的触发算法,算法概述如下:①仿真的开始总是由状态指向活动;②对活动来说,只要满足其所有指入弧的条件,则活动激活;③活动激活后调用系统功能函数,观测函数的返回值,决定是否活动结束;④如果条件判定活动结束,则活动运行状态改变,完成一次活动触发;⑤状态属性值从一个状态转移到另一个状态,开始新的活动触发判断;⑥当循环中再无活动可触发,仿真结束.

对于仿真时钟,目前采用事件驱动的推进方式. MTN 有 2 种方式运行仿真:一种是进行交互式仿真,即通过人工触发来一步一步执行仿真任

务;另一种是自动仿真,即不需要人的交互,一次执行完仿真. ①交互式仿真. 网上所有可触发活动将改变颜色,但并不执行该活动对应的维修仿真工序,只是提示用户有哪些活动是可以触发的. 用户可以按照需求从中选取想要触发的活动,单击该活动,此活动将被触发,对应维修工序将被执行. 维修工序执行完后,MTN 显示下一步的可触发的活动. ②自动仿真. 按照网的设计流程顺序依次执行可触发的活动,直到整个不再含有可触发的活动,仿真结束. 活动的所有指入弧所要求的资源能够被其指出的状态中的资源满足时,该活动即可被激活. 人员、工具、设备都必须被同时满足才符合激活条件. 进入激活状态的活动立即向虚拟场景显示系统发送指令,驱动仿真. 虚拟场景显示端监听此请求,并且执行指令,完成仿真执行、渲染,并向 MTN 返回信息. MTN 接收到信息后,完成 MTN 活动的触发,并且更改 MTN 模型各相关要素的属性.

2.3　MTN 控制仿真过程

MTN 控制功能是对仿真过程进行实时控制. 功能包含:暂停、继续、停止、保存场景、加载场景、保存场景图片和命令控制台. 各功能说明如表 4.

表 4　MTN 控制功能说明

功能	说明
暂停	在实时动态仿真过程中,需要对场景及仿真对象进行静态观察,以便更好地进行分析与评价,就需要使用暂停功能,以便以后察看或评价时引用
继续	使暂停中的仿真过程继续运行
停止	停止网上所有活动的运行
保存场景	在仿真过程中保存必要的场景文件
加载场景	在分析和评价过程中,有时需要重新加载保存过的场景
保存场景图片	在仿真过程中保存必要的场景图片
命令控制台	在系统中创建的对虚拟场景显示系统进行脚本控制的控制台,一般针对比较熟悉虚拟场景显示系统接口函数的用户

2.4　基于 MTN 开展维修任务分析评价

在 MTN 控制管理虚拟仿真过程中可以开展维修任务分析与评价. 图 3 为其运行流程图.

基于 MTN 控制管理的维修任务分析评价可分为以下几部分:①MTN 控制管理实现仿真场景随机暂停. 在进行虚拟维修任务分析评价前,首先要暂停仿真场景,需要注意的是为了保证仿真初始的一致性,暂停前首先保存当前仿真场景,以便评价完后能恢复到暂停时场景. ②维修任务评价打分. 评价方式采用观察虚拟仿真场景(例如从多个角度、远近、调整人体姿态或其它虚拟对象、同时利用虚拟环境下方便的测试工具等等),针

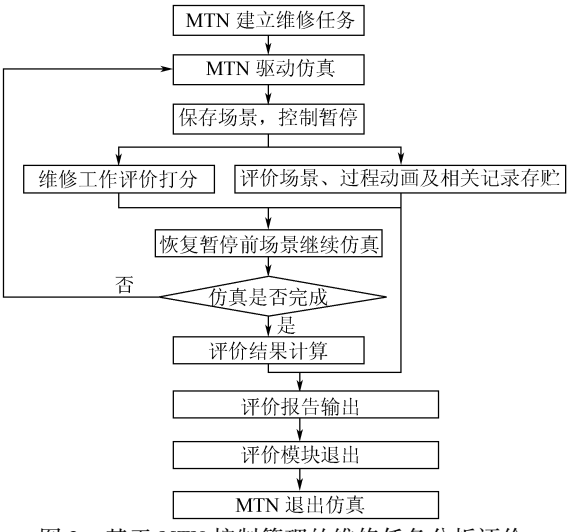


图 3　基于 MTN 控制管理的维修任务分析评价

对评价体系中各要素进行打分. ③评价场景、动画及相关记录存贮. 分析评价总是针对一段工序过程或一个静态场景开展的,那么对于不合理的场景或存在问题的工序过程,MTN 控制管理提供存贮功能,可以将这些图片、动画或其它相关记录保存下来以便作为最终评价报告的输入资料. ④MTN 控制仿真继续运行. 对某工序或场景进行完分析评价后,可以继续运行暂停中的仿真,需要注意的是在继续运行仿真前首先要恢复刚才保存的暂停前场景,以保证仿真的连续性和初始一致. ⑤评价结果计算和报告输出. 根据评价打分记录,采用综合加权法计算结果,并以 HTML 格式显示评价报告.

3　实例应用

3.1　虚拟场景显示系统

虚拟维修环境中最重要的实体对象就是虚拟维修人员,进行任何维修活动,例如拆卸、更换、诊断都关联着虚拟维修人员复杂的行为动作[5],而要进行维修活动中人的姿态分析、受力分析、疲劳分析等各种分析评价工作更需要虚拟人模型能提供准确的数据支持,因此一套完善的人体模型系统对虚拟维修仿真平台至关重要.

广泛应用的人体模型系统有 Jack,Delmia,波音公司的 BHMS 系统等. Jack 是由美国宾夕法尼亚大学人体模型和仿真中心开发的人体建模系统,它具有以下的一些特点:Jack 提供一个建立虚拟环境的平台;Jack 提供了工业上生物力学最精确的人体模型;能够在环境中定位虚拟人体;能够给虚拟人体分配工作;能够对虚拟人体的行为进行分析和评价;提供了脚本语言的接口. 正是由于

Jack 具有以上这些特点,所以选择它作为虚拟场景显示平台[6-7].

3.2 维修任务实例应用

应用实例为某型号飞机左后备舱功率机拆卸任务作为维修任务的仿真过程. 根据维修资源、维修工具、维修人员和维修工序利用 MTN 描述上述维修任务. MTN 建模如图 4 所示.

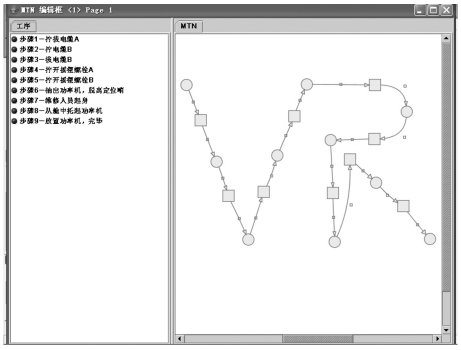


图 4 利用 MTN 建立的维修任务网络图

在使用 MTN 驱动 Jack 开始进行虚拟仿真前,首先要导入虚拟场景包括虚拟人、虚拟样机和各种设备等. 同时启动 Jack 端的底层监听服务,等待 MTN 发出的连接信号,当 MTN 与 Jack 建立了通讯连接关系后,Jack 端收到仿真指令就开始进行虚拟仿真. 仿真过程如图 5 所示.

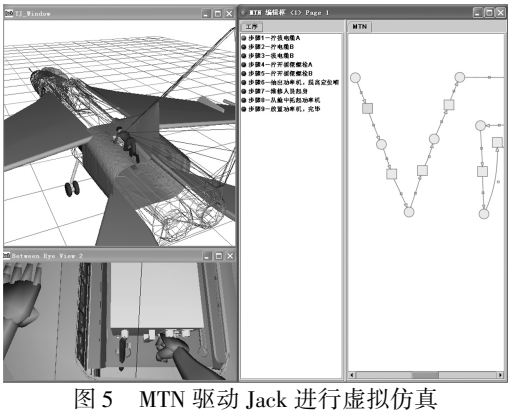


图 5 MTN 驱动 Jack 进行虚拟仿真

在虚拟仿真过程中要进行分析评价打分时,需要通过 MTN 暂停当前仿真场景或者 MTN 本身就处于未触发状态,这时根据评价要素评分等级的说明回到虚拟场景中仔细观察,同时可以借助一些分析处理工具做准确的测量或计算,最后评价人员给出合理的分数,操作界面见图 6.

本实例通过对某型号飞机左后备舱功率机拆卸过程进行虚拟仿真,很好地验证了 MTN 控制管理仿真过程的设计. 同时结合分析评价可以完整地对一个维修任务进行过程仿真和分析评价,为实际维修工程应用提供了一个有效的手段.

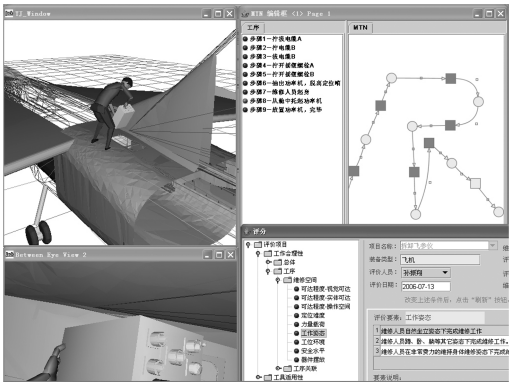


图 6 基于 MTN 进行分析评价

4 结 束 语

本论文从虚拟维修实际应用角度出发,结合过程模型的方法,建立了维修任务仿真管理模型 MTN. 一方面 MTN 可以描述表达上层的维修任务方案,另一方面 MTN 可以驱动虚拟场景进行维修仿真,同时可以控制管理整个维修仿真过程. 本文也从实际运行角度出发,采用网络传输方式建立 MTN、虚拟场景显示系统和数据库之间的连接方式,避免数据集中在单机平台上导致运行速度缓慢.

参考文献 (References)

[1] 陈禹六. IDEF 建模分析和设计方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000
Chen Yuliu. Modeling analysis and design methods of IDEF [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000(in Chinese)

[2] Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. UML 用户指南[M]. 北京:机械工业出版社,2001
Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. UML user guide[M]. Beijing: China Machine Press, 2001(in Chinese)

[3] Senac P, de Saqui-Sannes P, Willrich R. Hierarchical time stream petri net: a model for hypermedia systems[J]. Lect Notes Comput Sci,1995(935):451-470

[4] 马麟,吕川. Petri 网在维修工作分析中的应用研究[J]. 北京航空航天大学学报,2004,30(3):249-253
Ma Lin, Lü Chuan. Research on the application of Petri net to MTA[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004,30(3):249-253

[5] 章国栋,陆延孝,屠庆慈,等. 系统可靠性与维修性分析与设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1992
Zhang Guodong,Lu Yanxiao,Tu Qingci, et al. System reliability and maintainability analysis and design[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press,1992(in Chinese)

[6] Noma T,Zhao Liwei,Badler N I. Design of a virtual human presenter[J]. IEEE Comput Graphics Appl,2000,20(4):79-85

[7] Badler N I, Erignac C A, Liu Ying. Virtual humans for validating maintenance procedures[J]. Communication of the ACM, 2002,45(7): 57-63

(责任编辑:文丽芳)