

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.03.009

基于 Grafcet 的虚拟维修训练中过程控制

赵吉昌¹, 郝建平¹, 李星新¹, 赵福昌²

(1. 军械工程学院 装备指挥与管理系, 河北 石家庄 050003; 2. 中国人民解放军 68221 部队, 甘肃 靖远 730600)

摘要: 针对受训人员在虚拟维修训练过程中, 装备虚拟样机、维修工具和设备、以及在人机交互等方面的信息数量庞大、信息的表现形式多样, 交互反馈很难量化的情况, 分析了受训人员在维修训练过程中的每一个维修操作的构成及关系, 提出了一种基于 Grafcet 规范语言, 能够支持学习、训练、考核等多种模式的训练过程控制模型, 有效地规范和控制了受训人员在虚拟维修系统中进行维修训练的操作流程及交互信息表现, 可提高训练效果。

关键词: 虚拟维修训练; 维修操作; 训练过程模型

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** B

Virtual Maintenance Training Process Controlling Based on Grafcet

ZHAO Ji-chang¹, HAO Jian-ping¹, LI Xing-xin¹, ZHAO Fu-chang²

(1. Dept. of Equipment Command & Management Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. No. 68221 Unit of PLA, Jingyuan 730600, China)

Abstract: Aiming at the problem of information hugeness, formal diversification and alternation feedback difficult, trainers' virtual maintenance training process that the information in virtual prototype of equipment, tool and facility of maintenance, interaction between person, analyzes the constitutes and relationships of every maintenance operation, presents a training process model which can support learning, training and examining by a normative language named Grafcet. The model can regulate and control effectively operating flow and the behavior of interactive information in trainers' virtual maintenance training, and it improve training affection.

Keywords: Virtual maintenance training; maintenance operation; Training process model

0 引言

虚拟维修训练系统是用来支持实现虚拟维修训练的软硬件系统^[1], 为受训人员提供仿真操作和维修的环境。为了在装备维修训练时获取最佳的费效比和快速提高维修人员的维修知识和技能, 虚拟维修训练系统通过运用多种虚拟现实技术及仿真技术手段建立虚拟样机模型和虚拟维修训练场景并与用户实时交互来支持维修训练。受训人员在系统中如何进行维修训练、训练数据如何反馈以及在训练过程中如何控制用户的行为, 目前还没有统一的认识, 故提出基于 Grafcet 规范语言, 以提高训练效果。

1 虚拟维修训练中过程控制研究思路

受训人员(系统的最终用户)在虚拟维修训练系统中进行某项维修训练任务的示意图如图 1。系统主要包括:

1) 系统交互接口。受训人员使用鼠标或键盘将训练的行为信息输入到系统的交互接口, 系统的交互接口可将训练数据转换为计算机可编辑的数字语言并输入到交互控制器中。

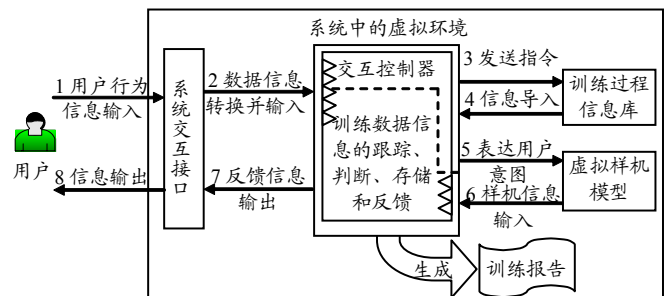


图 1 用户在系统中进行维修训练任务时的示意图

2) 交互控制器。主要作用: (1) 记录受训人员的训练数据并实时更新这些数据; (2) 当前受训人员的操作行为对虚拟样机模型产生的数据与交互控制器调用训练过程信息库中标准的训练过程数据比较, 判断受训人员的交互行为的正误; (3) 将判断结果通过系统交互接口反馈给用户生成训练报告。

3) 训练过程信息库。主要保存了完成维修训练任务的训练过程数据, 这些数据是课程开发人员基于该任务的维修过程而建立的正确的、标准的训练过程数据。这些数据是交互控制器判断受训人员操作行为正误的依据。

收稿日期: 2009-10-22; 修回日期: 2010-01-22

基金项目: “十一五”国防预研项目(513270105)

作者简介: 赵吉昌(1985-), 男, 青海人, 硕士研究生, 从事装备维修性理论研究与应用研究。

4) 虚拟样机模型。虚拟样机模型主要由静态信息模块和动态信息模块组成。前者主要包括部件的基本信息，三维和二维几何信息、描述信息等；后者指虚拟样机的状态信息。

由于虚拟维修训练系统中的训练过程是基于装备的维修过程，因此，只要通过装备的维修过程确定参训人员的交互方式、交互类型等，就能实现训练过程的控制。基于这一思路，首先对装备维修过程进行分析，并描述确定标准维修过程的方法，其次通过 Grafcet 标准语言建立训练过程模型，从而在一定程度上控制参训人员的交互行为。

2 装备维修过程分析

在虚拟维修训练系统中，参训人员的训练过程是基于维修过程的，而维修过程一般是由一系列维修操作组成，每一步维修操作可看作是参训人员与工具设备、装备之间的交互作用，基本模型如图 2。

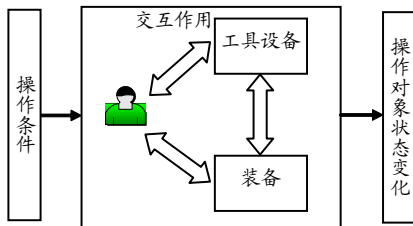


图 2 维修操作的基本模型

2.1 维修操作条件

参训人员在虚拟维修训练系统中进行维修操作时，每个维修操作步骤需满足以下条件：

- 1) 流程条件。即操作步骤的一个或多个前继操作已经完成，可以激活当前操作步骤。
- 2) 约束条件。即执行当前操作需要的工具、设备、以及装备带来的约束。

流程条件和约束条件共同决定了维修操作步骤序列，这是确定标准维修过程的基础。

2.2 交互作用描述

表 1 维修操作类型

序号	维修操作类型
1	操作
2	拆卸
3	装配
4	检测(主要是电子方面的)
5	更换
6	修理
7	清洗
8	擦拭
9	BIT 检测

参训人员基于维修过程进行维修训练是与系统的交互作用过程，就是将参训人员的交互行为技术

采用合适的交互类型和操作类型输入到系统的交互接口中。维修操作类型主要由 9 类组成，如表 1。

参训人员在与虚拟样机交互时有不同的交互方式，总结为 7 种交互类型，如表 2。

表 2 交互类型表

序号	说明
1	普通界面选择交互
2	用鼠标单击工具栏图标，直接返回操作结果
3	用鼠标单击工具栏图标，在虚拟面板或虚拟操纵装置上直接操作
4	用鼠标先单击工具栏图标，鼠标变成相应的操作图标，然后单击虚拟对象，完成操作
5	用鼠标先单击工具栏图标，鼠标变成相应的操作图标，选择某一虚拟对象后拖动至目标位置
6	用鼠标先单击工具栏图标，鼠标变成相应的操作图标，然后单击虚拟对象，选择操作方式，完成操作（如工具的使用，先选择工具扳手，然后选择操作对象，然后选择左旋或右旋）
7	用鼠标先单击工具栏图标，鼠标变成相应的操作图标，然后单击虚拟对象，在虚拟面板或虚拟操纵装置上直接操作

每一步维修操作的维修操作类型和交互类型均由开发人员确定，这样更有利于参训人员进行合理而有效的虚拟维修训练。

2.3 虚拟对象状态描述

不同的维修操作对虚拟对象状态的关注角度不同，如拆装操作中，关注虚拟对象处于拆卸状态或是待装配状态；故障诊断时，关注的是虚拟对象处于正常或故障状态，以及故障的具体模式；而使用操作时，则关注的是具体的工作状态。将这些状态按层次整理，可得到虚拟对象状态信息表 3。系统中的任何虚拟对象，其当前状态只能处于一种状态。

表 3 虚拟对象状态信息表

类型	状态名	标识		
高位状态	正常状态	状态 1	DWS1	
		状态 2	DWS2	
	故障状态	故障模式 1	DFM1	
		故障模式 2	DFM2	
工作状态	正常	状态 1	WWS1	
	状态 2	WWS2		
	故障	故障模式 1	WFM1	
	故障模式 2	WFM2		
原位状态	正常	状态 1	NWS1	
		状态 2	NWS2	
	非工作状态	故障	故障模式 1	NFM1
		故障模式 2	NFM2	

在虚拟维修训练系统中，只有满足了正确的操作条件、维修操作类型、交互类型并改变了虚拟样机的状态信息，参训人员才能完成维修操作步骤。此利用 Grafcet 标准语言建立训练过程模型的依据。

3 虚拟维修训练过程模型描述

3.1 Grafcet 规范语言简介

Grafcet^[2-4]（逻辑控制器图形表示工具）是并发

同步系统建模工具, 它以 Petri 网理论为理论基础, 采用图形表示, 直观、易理解、使用方便、功能强大、性能可靠, 且有很强的逻辑描述和分析能力,

在离散事件领域得到了广泛的应用, 如在机械制造、化工、交通系统、自动化等, 甚至包括军事领域。

3.2 虚拟维修训练过程模型

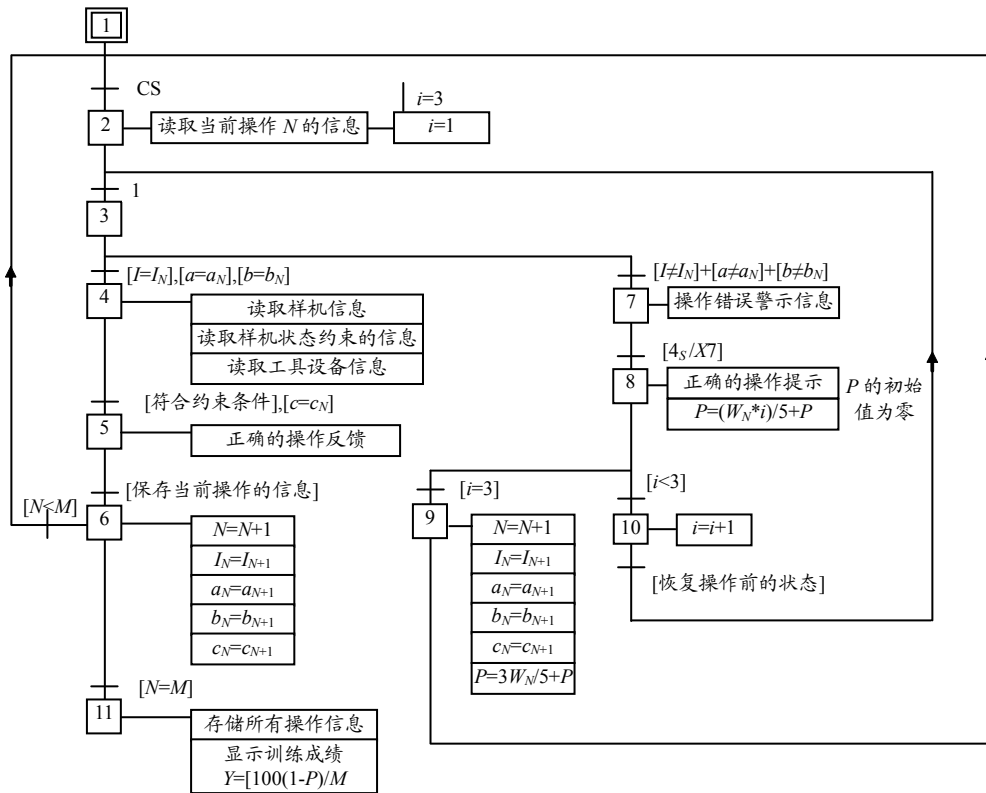


图3 虚拟维修训练过程模型

虚拟维修训练过程模型如图 3, 模型中字母代表的信息如表 4, 模型描述如下:

1) 载入训练信息。受训人员进入应用了虚拟维修训练过程控制模型的虚拟维修训练系统中, 系统会读取当前维修操作步骤的信息 (如果受训人员是第一次进入此系统, 系统就会读取第一步维修操作的信息), 同时, 系统会显示受训人员当前维修场景。

2) 流程条件判断及交互作用过程控制。当受训人员通过鼠标和键盘进行维修操作时, 系统会实时地记录输入的信息, 同时与标准的维修过程中当前的维修操作步骤做比较。如果受训人员当前的维修操作步骤的 ID、操作对象、操作类型与标准的维修过程一致, 系统会进一步读取当前维修操作相关的信息, 如果此时受训人员符合约束条件并采用合适的交互方式, 系统就会显示操作成功的反馈, 并保存当前操作信息, 并进入下一维修操作; 如果与标准的维修过程不一致, 系统立即显示操作错误的警示信息, 并会在一段时间 (这里是 4 s) 后显示正确的操作帮助, 同时会恢复到操作前的状态, 直到受训人员连续错误操作 3 次后, 系统将默认进入下一

维修操作步骤, 从而进入了 Grafcet 循环。

3) 评估受训人员的维修操作水平。标准维修过程中每一个维修操作步骤的重要性系数已由维修技术人员或领域的专家给出, 受训人员每一维修操作均由系统做出判断。如果操作错误, 系统将会按照图 2 的方式从总分中扣去相应的分值, 直到最后统计出受训人员的总成绩 Y。

表 4 虚拟维修训练过程控制模型中字母信息表

序号	字母	代表的信息
1	CS	开始
2	N	表示操作的序号, 其初始值为 1
3	M	维修过程中操作的总数目
4	i	表示每一操作错误次数
5	P	整个维修操作过程所扣去的分数, 其初始值为 1
6	Y	整个维修操作过程训练成绩
7	I, I_N, I_{N+1}	分别表示当前操作、第 N 步操作和第 N+1 步操作的 ID
8	a, a_N, a_{N+1}	分别表示当前操作、第 N 步操作和第 N+1 步操作的操作对象
9	b, b_N, b_{N+1}	分别表示当前操作、第 N 步操作和第 N+1 步操作的操作类型
10	c, c_N, c_{N+1}	分别表示当前操作、第 N 步操作和第 N+1 步操作的交互方式
11	W_N	维修操作 N 的重要度系数

(下转第 27 页)

定。其中确定后输入隶属度函数如图 7。

3.3 推理规则

ANFIS 不能共享规则, 因此, 规则数必须与输出的成员函数数量相同。根据专家经验知识确定了 10 条推理规则:

$R1$: If (L is $SHORT$) and (W is $NARROW$) and (V is $NEARVERT$) and (T is $SMALL$)Then (Ys is $mf1$)(1);

$R2$: If (L is $SHORT$) and (W is $NARROW$) and (V is $NEARVERT$) and (T is $MEDIUM$)Then (Ys is $mf2$)(1);

.....

$R10$: If (L is $LONG$) and (W is $WIDE$) and (V is $NEARVERT$) and (T is $LARGE$)Then (Ys is $mf10$)(1) .

3.4 学习过程

因为网络结构已经确定, 只需调整条件参数 $\{a_{im}, b_{im}, c_{im}\}$ 和结论参数 $\{p_i^0, p_i^1, \dots, p_i^n\}$ 即可完成对控制器的参数 D 的学习。采用混合算法进行 ANFIS 网络学习, 即条件参数采用反向传播算法, 而结论参数采用最小二乘法进行求解。每一次迭代时输入信号首先沿网络正向传递至第 4 层, 保持条件参数不变, 采用最小二乘估计算法调节结论参数; 然后, 信号继续沿网络正向传递至输出层, 再将获得的误差信号沿网络反向传播, 然后调节条件参数。采用混合学习算法, 对于给定的条件参数, 可得到结论参数的全局最优点, 这样不仅能降低梯度法中搜索空间的维数, 还能大大提高参数的收敛速度。

3.5 实验验证

为了对推理系统进行验证, 根据筑城分队 Agent 某型推土机作业记录取得样本 80 组。取 55 组作为训练样本, 其余 25 组作为测试样本。利用 MATLAB 工具包进行仿真^[8], 结果如图 8, 表明系统具有较快的收敛速度和较好的精度。

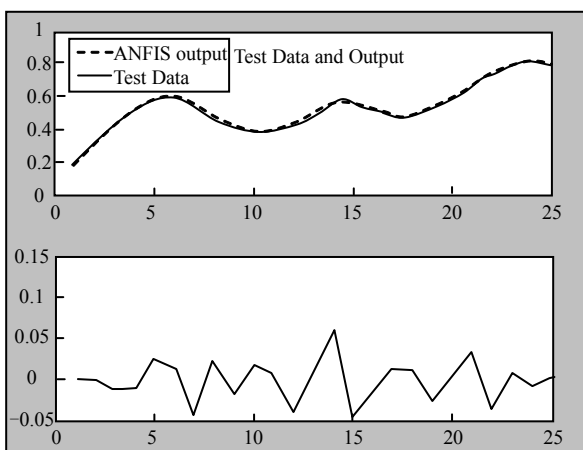


图 8 仿真结果

4 结束语

理论分析和仿真实验结果表明, 所采用的推理系统具有较快的收敛速度和较好的精度, 满足设计要求, 对工程保障分队任务规划提供了方法和思路。

参考文献:

- [1] 张明智, 胡晓峰, 司光亚, 等. 基于 Agent 的体系对抗仿真建模方法研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(11): 2785-2788.
- [2] 宋一兵. 计算机生成兵力中智能体技术与应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.
- [3] 郭齐盛, 杨立功, 杨瑞平, 等. 计算机生成兵力导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 10.
- [4] Petty M D. Computer generated forces in distributed interactive simulation. Critical Reviews of Optical Science and Technology, 1995, CR58: 251-280.
- [5] Buragohain M, Mahanta C. A novel approach for ANFIS modeling based on full factorial design[J]. Applied soft Computing Journal, 2007(3): 1-33.
- [6] Qin H, Yang S X. Adaptive neuro-fuzzy inference systems based approach to nonlinear noise cancellation for images[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2007(1): 1036-1063.
- [7] 孙伟. 军用工程机械分布式虚拟训练关键技术研究[D]. 南京: 解放军理工大学, 2008.
- [8] 李国勇. 智能控制及其 MATLAB 实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [9] 赵钰, 徐涛, 陈红军. 炮兵营火力分配的二阶动态规划算法[J]. 四川兵工学报, 2009(9): 70-71.

(上接第 23 页)

4 结论

基于 Grafact 建立了通用的虚拟维修训练过程控制模型, 监控和评估了受训人员的交互行为(主要是针对虚拟维修操作)并为受训人员在操作错误时提供帮助和提示信息, 同时, 该模型能支持学习、训练、考核等多种模式。实例证明, 虚拟维修训练过程控制模型能很好地规范和控制受训人员在虚拟维修系统中进行维修训练的操作流程及信息表现, 提高了训练效果。

参考文献:

- [1] 谭继帅. 虚拟维修训练系统的交互设计研究[D]. 石家庄: 石家庄军械工程学院, 2007: 8-13.
- [2] 王寿光, 等. 基于 Grafact 的电梯控制系统建模[J]. 系统仿真学报, 2007, 19: 263-270.
- [3] 胡新革, 等. 基于 PN 的系统故障率分析[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(增刊): 552-554.
- [4] 甄红涛, 齐晓慧. 雷达伺服系统的模糊自适应 PID 控制器设计[J]. 四川兵工学报, 2009(6): 12-14.