

操作响应模型在虚拟维修样机中的应用

朱东方¹, 苏群星², 刘鹏远¹, 佟德飞¹

(1. 军械工程学院导弹工程系, 石家庄 050003; 2. 武汉军械士官学校, 武汉 430075)

摘要: 测试测量设备虚拟维修样机操作状态繁多、操作规则复杂, 不易建立样机操作响应过程的数学模型。为此, 基于产生式规则构建样机操作响应模型, 对操作响应过程进行功能模拟。设计操作响应模型的知识规则库, 研究操作响应模型的控制策略, 使用正向推理方式实现操作响应过程的正确推理。实例验证了该模型的正确性。

关键词: 测试测量设备; 虚拟维修样机; 产生式规则; 操作响应模型; 正向推理

Application of Operate-response Model in Virtual Maintenance Prototype

ZHU Dong-fang¹, SU Qun-xing², LIU Peng-yuan¹, TONG De-fei¹

(1. Missile Engineering Department, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Wuhan Ordnance Non-Commissioned Officer Academy, Wuhan 430075, China)

【Abstract】 Aiming at the problem of complex state and operate rules of virtual maintenance prototype of test and measurement equipment and difficult to establish the math model between operate and response process, build the operate-response model on base of production rules. It designs the knowledge rules, makes an research on control tactic and it realizes the operate-response model with positive method by forward reasoning. It validates the model with an example.

【Key words】 test and measurement equipment; virtual maintenance prototype; production rule; operate-response model; forward reasoning

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.19.080

1 概述

测试测量设备是武器装备系统的重要组成部分, 实装进行测试测量设备的操作训练存在折旧费用昂贵、损耗装备、容易发生危险等问题^[1], 因此, 需要构建测试测量设备虚拟维修样机, 进行虚拟维修仿真训练。

在测试测量设备虚拟维修样机建模时, 样机操作部件状态和操作步骤众多, 操作规则复杂, 不易建立操作响应过程的仿真控制模型, 而专家系统则在处理大量的规则方面具有一定的优势^[2]。因此, 本文借鉴专家系统的构造方法构建系统的操作响应模型, 将操作规程、误操作类型、误操作规程结合起来, 形成产生式系统的规则, 根据操作行为特点合理确定产生式系统的推理控制策略, 最终形成测试测量设备虚拟维修样机的操作响应模型。

2 测试测量设备操作行为特点

测试测量设备操作行为特点如图 1 所示。

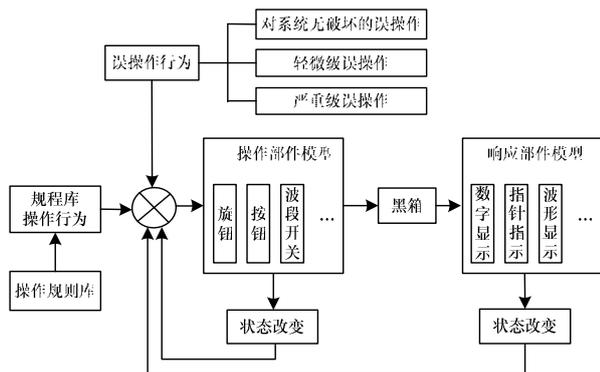


图 1 操作行为特点

测试测量设备虚拟维修训练中的操作行为, 是一种开放式操作行为。开放式操作行为是对应封闭式操作行为而言的。所谓封闭式操作行为是指人的行为严格受操作规程的限制, 只能按照操作规程规定的操作次序进行, 系统对违反操作规程的操作行为不予响应或仅给出提示性警告; 而开放式操作行为基于正确的操作, 允许误操作, 是对人在实际环境中操作行为的逼真模拟, 更符合样机行为建模中人的行为模式特点。操作行为的特点是构建操作响应模型的基础, 对知识库和推理过程的形成均有影响。赋予测试测量设备虚拟维修样机开放式操作行为以下规则^[3]:

- (1) 人在虚拟环境中的操作行为是基于操作流程的, 但同时又具有随意性, 即允许误操作出现;
- (2) 每一步操作行为只对应一个操作部件;
- (3) 误操作行为只允许进行一步, 即不能在错误操作的基础上再进行操作。

3 基于产生式规则的操作响应模型

3.1 产生式规则与产生式系统

产生式通常用于表达具有因果关系的知识, 其基本形式是^[4]: $P \rightarrow Q$, 其左边部分为一组前提条件或状态, 右边部分表达若干个结论或执行动作。

在操作流程约束下用户的操作行为是有先后顺序的, 用户的操作动作和样机的响应状态隐含了某种因果关系, 因此

基金项目: 国家部委基金资助项目

作者简介: 朱东方(1986—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 虚拟现实, 专家系统, 系统仿真; 苏群星, 教授、博士生导师; 刘鹏远, 副教授; 佟德飞, 硕士

收稿日期: 2011-03-15 **E-mail:** zdf861014@163.com

采用产生式知识表达方法比较容易实现对操作状态和操作规则的处理，“如果…则…”的形式表示知识符合人们对操作动作的描述：“如果你操作什么部件，则会产生什么结果”。

3.2 操作响应模型的构建

基于产生式规则的操作响应模型包括综合数据库、知识库以及控制策略 3 个部分，模型结构如图 2 所示。

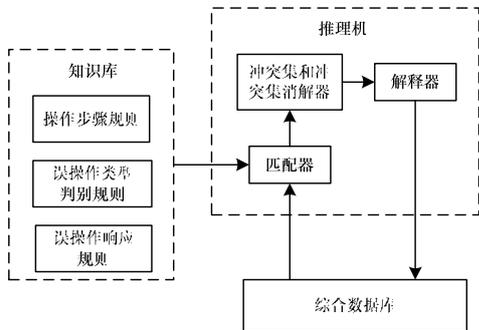


图 2 基于产生式规则的操作响应模型

(1)综合数据库

综合数据库主要用来存储操作部件和行为部件的状态，即初始状态、中间状态和目标状态等，以及状态之间的关系。在执行一条产生式规则的右部之后，往往会引起综合数据库内容的变化。

(2)知识库

知识库由规则组成，包括操作步骤规则、误操作规则以及误操作响应规则。

1)操作流程规则

操作流程规则主要描述部件状态之间的逻辑关系，即某一部件状态的改变引起相应部件状态改变之间的逻辑关系。例如，电子设备测试系统的某步测试过程文本描述如下：

①按下测试设备主板电源按钮(部件号为 DYU110)，电源指示灯(部件号 ZSH219)亮；

②扳上增压风扇(部件号 FSH335)启动开关(ZKG132)，风扇转动，转速表(部件号 YIB550)显示稳定转速 800 rev/min。

该过程表的描述形式如表 1 所示。

表 1 操作规程描述

操作部件	操作部件 状态改变	响应部件	响应部件 状态改变
电源按钮 DYU110	按钮下移，由状态 1 变为状态 2	指示灯 ZSH219	灯由灭变亮
增压风扇开关 ZKG132	开关由状态“下” 变为状态“上”	转速表 YIB550	显示转速 800 rev/min

转换为规则如下：

R1: IF “电源按钮(DYU110)” 按下 THEN “指示灯 ZSH219” 点亮。

R2: IF “增压风扇启动开关(KGU132)” 扳上 THEN 转速显示 800 rev/min。

使用关系数据库存储规则，上述规则在关系数据库中的描述如下：

逻辑规则::=<规则 ID, 部件编号, 状态编号, 响应部件编号, 响应部件状态编号>

2)误操作类型判别

根据误操作行为的危害程度，将误操作类型划分为 3 类：对系统无破坏的误操作，记为 S 级；轻微误操作，记为 SS 级；以及严重误操作，记为 SSS 级。在误操作类型判别规则库中，规则描述为：

误操作判别规则::=<规则 ID, 操作步骤号, 操作部件编号, 结果状态编号, 状态解释>

3)误操作响应规则

将误操作按类型建立误操作响应动作库，分别为 S 库、SS 库和 SSS 库。对于 S 级误操作，S 库响应动作作为系统给出操作步骤错误提示；对于 SS 级误操作，其对应库的响应动作是系统给出操作错误警示，同时解释错误原因；而对 SSS 级误操作，则直接演示灾难性后果，然后本次训练结束。操作响应规则库中误操作规则描述为：

无害级误操作响应规则::=<规则 ID, 无害级误操作编号, 响应部件编号, 响应部件 S 库状态编号>

一般级误操作响应规则::=<规则 ID, 无害级误操作编号, 响应部件编号, 响应部件 SS 库状态编号>

严重级误操作响应规则::=<规则 ID, 严重级误操作编号, 响应部件编号, 响应部件 SSS 库状态编号>

(3)控制策略

控制策略又称解释程序，负责控制整个操作响应模型的运行过程，包括规则的左部与综合数据库的匹配，从匹配成功的规则中选择一个加以执行，并解释执行所选规则的右部规定的动作，以及判断产生式系统运行过程的结束时间等。控制策略的执行过程如图 3 所示。

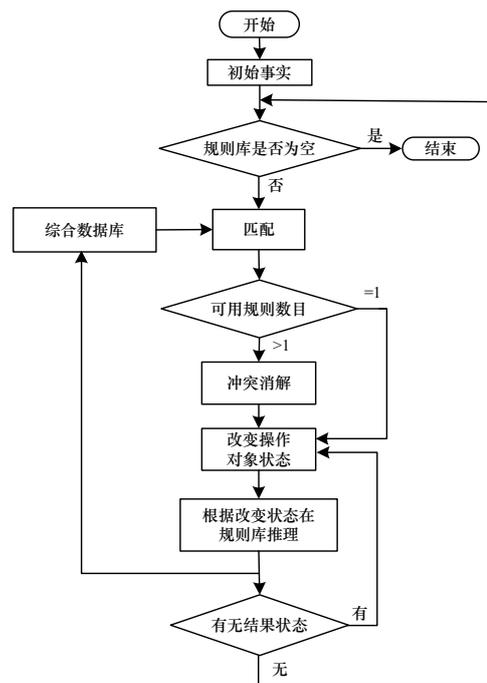


图 3 控制策略过程

4 正向推理

基于产生式规则的操作响应模型采用正向推理。正向推理符合操作流程顺序的描述方式，在描述操作流程时，一般是按照顺序来描述：“先作×操作，后作×操作”。

正向推理的基本思想^[5]为：从用户提供的初始已知事实出发，在知识库(Knowledge Base, KB)中找出当前可适用的知识，构成可适用知识集(Knowledge Set, KS)，然后从 KS 中选出一条知识进行推理，并将推出的新事实加入到数据库中作为下一步推理的已知事实，在此之后再在知识库中选取可适用知识进行推理，如此重复进行这一过程，直到求得所要求的解或者知识库中再无适用的知识为止。当前提取的知识可能不只一条，但用户的操作行为决定了起作用的知识。

规则知识的推理过程是用户操作的匹配过程, 推理结果则作为虚拟环境内装备的状态响应, 推理过程中产生的新事实作为状态集在虚拟装备上具体体现, 规则的选取按照一定顺序进行。

在测试测量设备样机的操作响应过程中, 已知事实是操作知识的前提和结论中装备状态的改变。由于操作训练是一个操作——响应的过程, 因此知识的匹配仅限于搜索匹配知识, 推理产生的知识并不对知识库进行补充, 而且在一次推理过程中不重复采用同一知识。正向推理过程如图 4 所示。

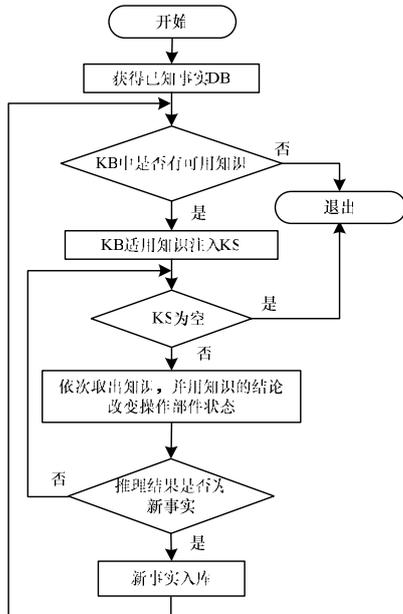


图 4 正向推理过程

5 实现过程及结果

基于产生式规则的操作响应模型对测试测量设备的操作响应过程进行控制和仿真, 将操作部件响应部件状态变化进行正确的关联, 基于测试测量设备虚拟维修样机进行虚拟维修训练。完成一次操作行为响应过程的实现流程如图 5 所示。

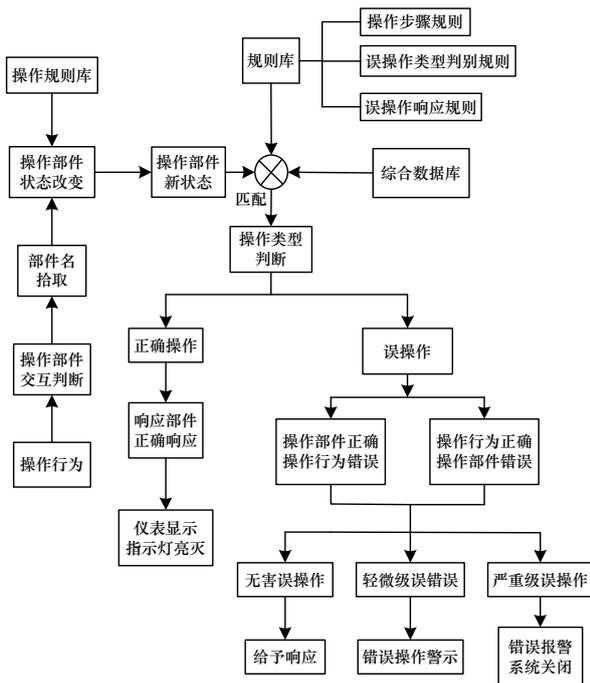


图 5 操作响应模型实现流程

实现包括定义对象及对象状态和处理操作规则 2 步, 具体如下:

(1)定义对象及对象状态

1)定义操作规则

czRuleTable: 未完成的操作规则;

czFinishRuleTable: 已完成的操作规则;

czActiveRuleTable: 当前的活动操作规则, 即正在使用的操作规则;

czActiveStep: 当前进行的操作步骤及操作手的状态。

2)定义部件状态集

PartStateTable: 记录虚拟环境中所有和操作训练相关物体对象的状态。

3)定义部件列表

dqczPartTable: 当前活动操作规则中可以操作的部件对象;

dqStatePartTable: 当前活动操作规程中能够影响的状态部件对象;

RefreshPartTable: 延时更新状态的部件对象态, 延长时间到则发送消息执行其对应的方法, 并根据返回值进行相应的处理;

StaticPartTable: 随时间自动刷新状态, 直到满足其目标状态。系统对于不正确的操作根据操作规则可以直接进行提示或告警, 对于符合操作规则的操作, 部件状态的改变有两种: 立即改变和延时改变, 分别描述为 OK 和 OK_DELAY, 系统根据部件的响应消息分别做出处理。

(2)处理操作规程

处理过程为原始规则集合(RuleSet1)→活动规则集合(ActiveRuleSet)→处理完成规则集合(RuleSet2)。起始状态 RuleSet1 为所有操作规则的集合, RuleSet2 为空; 处理的结果是 RuleSet1 为空, RuleSet2 为所有操作规则的集合。

定义 U 为所有操作步骤的集合:

起始状态: RuleSet1 = U, RuleSet2 = NULL, ActiveRuleSet ∈ U;

处理: RuleSet1 → ActiveRuleSet → Operator → RuleSet2;

结果状态: RuleSet1 = NULL, RuleSet2 = U。

处理操作规程的具体步骤如下:

1)形成规则链表

从规则库中读取所有的规则, 按照库存顺序添加到规则链表形成原始规则集合, 函数名为: ReadFullRule(), 添加链表名为 czRuleTable。

2)形成活动规则链表

①如果原始规则集合为空, 则表明操作已经全部完成, 清理现场, 返回 FINISHED;

②读取规则, 如果操作阶段大于 czActiveStep 中对应的值, 则修改为当前读出的值;

③获得当前规则的操作手号对应操作步骤是否等于 czActiveStep 中对应的值, 如果相等则提取该规则并存放到 czActiveRuleTable, 并标识该操作手;

④当前活动规则集合处理完毕, 转到步骤①。

3)处理活动规则

一次操作后, 如果对应活动规则的操作部件和响应部件的状态编号都达到了目标状态, 则将该规则从活动规则中删除, 并添加到已处理规则集合后判断活动规则是否已全部处理完毕则等待新的操作。

(下转第 260 页)