

# 面向装备试验鉴定的作战实验数字化流水线

吴红<sup>1,2</sup>, 黎潇<sup>1</sup>, 王天忠<sup>1</sup>

1. 中国人民解放军92337部队, 大连 116023

2. 中国人民解放军96901部队, 北京 100089

**摘要** 针对作战实验是一项时间跨度长、涉及部门广、占用资源多、实施难度大等的复杂系统工程。提出了基于数字化流水线的作战实验,建立了面向装备试验鉴定的作战实验基本流程,设计了涵盖实验对象、手段、主体、活动的数字化流水线元模型,构建了图形化建模与B/S运行模式的软件系统框架,制定了冲突检测机制、流程优化步骤、动态调整策略等。将数字化流水线引入作战实验活动,优化了作战实验流程,为确保装备试验鉴定结果可靠、可信提供了支持。

**关键词** 装备试验;作战实验;军事科技

世界军事领域正处于深刻变革的时代,一方面,高新技术的发展为作战理论、军事装备和作战方法等带来了巨大的影响;另一方面,随着计算机技术、网络技术、多媒体技术和建模与仿真技术的发展,实验手段已产生质的飞跃<sup>[1]</sup>。在此背景下,军事能力特别是核心作战能力的生成逐步向“理论设计—实验论证—部队演练—实战运用”这一新型发展模式转变,“在实验室中研习战争”成为国防和军队建设转型发展的重要环节<sup>[2]</sup>。作战实验是指运用科学实验的原理、方法和技术,在可控、可测、逼真的虚拟对抗环境中,实证性地研究战争和军队作战行动的特点规律,为军事决策和战争实践提供科学依据,包括规划设计、组织实施、分析评估等环节<sup>[3]</sup>。美军已把作战实验放在军队建设的战略地位,明确将其作为与加强联合作战、利用情报优势、开发

转型能力并列的军事转型四大支柱之一<sup>[2]</sup>。英国、法国、俄罗斯、德国等军队也高度重视作战实验,纷纷建立起自己的军兵种和联合作战实验机构,并适时进行各种规模的作战实验,这些作战实验活动极大地促进了军队的建设和发展,有的已在实战中初见成效<sup>[4]</sup>。

根据作战实验活动的科学特点,可分为发现型实验、验证型实验和演示型实验。其中,面向装备试验鉴定的验证型实验通常需要内、外场相结合,时间跨度长、涉及部门广、占用资源多、实施难度大,是一项复杂的系统工程。为保证作战实验顺利、有效开展,需要前期合理规划、中期据情调整、后期整理分析。因此开展了作战实验数字化流水线研究,主要包括面向装备试验鉴定的作战实验流程、作战实验数字化流水线元建模方法、作战实验数字化流水线的软件架构。

收稿日期:2018-08-30;修回日期:2019-02-12

基金项目:中国博士后科学基金面上项目(2017M613384)

作者简介:吴红,助理研究员,研究方向为系统论证与仿真评估,电子信箱:wuhonghenry@sina.com

引用格式:吴红,黎潇,王天忠.面向装备试验鉴定的作战实验数字化流水线[J].科技导报,2019,37(5):57-65;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2019.05.008

## 1 面向装备试验鉴定的作战实验流程

### 1.1 作战实验特点分析

作战实验是装备试验鉴定的关键环节,其特点可归纳为实验环境的真实性、参试装备的体系性、参试兵力的对抗性、作战流程的完整性以及操作人员的典型性等<sup>[5-7]</sup>。

1) 实验环境的真实性。作战实验要求实验环境尽可能贴近实战,呈现装备未来可能面临的复杂自然环境、电磁环境等,以确保实验评估结论真实、全面、可信。

2) 参试装备的体系性。作战实验要求被试装备与配试装备构成能够相对独立完成作战任务的装备体系,在体系中考核被试装备的各项效能。

3) 参试兵力的对抗性。作战实验通常要求在兵力对抗条件下进行,确保被试装备针对作战对手的威胁展开运用,在对抗中体现装备效能。

4) 作战流程的完整性。作战实验通常以作战流程为主线安排实验内容,通过完整的作战流程,对装备的作战效能、保障效能、部队适用性等进行全面考核,同时检验装备作战流程衔接情况。

5) 操作人员的典型性。作战实验被试装备的操作、维修和保障由作战部队完成,要求部队训练水平应与装备部署后的典型操作人员专业水平相当。

作战实验的上述特点,导致其时间跨度长、涉及部门广、占用资源多、实施难度大,需要科学规划、内外结合、实时监控、及时调整、科学评估等。

### 1.2 作战实验业务流程

面向装备试验鉴定,作战实验业务流程可划分为使命任务分析、作战行动分析、能力需求分析、推演环境构建、内场仿真推演、外场作战试验、内场复盘分析、作战实验评估8个阶段<sup>[6-8]</sup>。

#### 1) 使命任务分析。

装备所要担负的使命任务决定着装备试验鉴定的任务,这是装备试验鉴定的基本原则<sup>[5]</sup>。使命任务分析的主要目的为确定红蓝双方的兵力组成及指控关系、红蓝对抗的初始态势及战场环境、任务执行的约束条件及评估准则等。主要由作战部门、论证部门和试验单位完成。

#### 2) 作战行动分析。

对攻防对抗过程进行分析,确定其中的关键作战

样式,如潜潜攻防对抗中的搜索、攻击、防御等;基于Agent模式或类似方式,分析各作战实体决策行为,如发现敌方潜艇,艇长的决策行为由先攻后防、先防后攻、规避机动等组成。主要由作战部门、试验单位和承试单位完成。

#### 3) 能力需求分析。

基于层次分析法或类似方法,建立使命任务与作战样式、作战样式与作战能力、作战能力与装备系统之间的映射关系,确定各装备系统的重要度(图1)。主要由论证部门和试验单位完成。

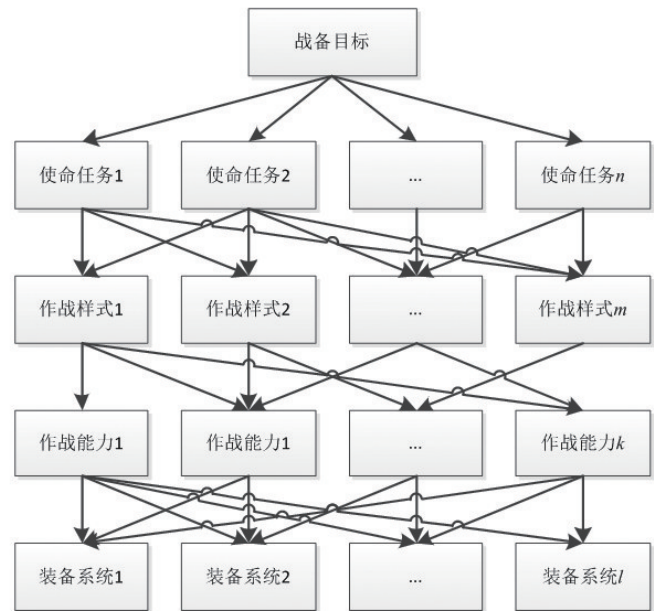


图1 能力需求映射关系

Fig. 1 Capability demand mapping relationship

#### 4) 推演环境构建。

依据作战实体之间的指控关系、装备系统之间的信息关系、作战实体内部的指控流程、装备系统的重要度,有针对性地建立仿真模型,并组装成作战实验推演环境。主要由试验单位、协作单位完成。

#### 5) 内场仿真推演。

通过人在回路开环仿真、或蒙特卡洛闭环仿真、或两者相结合的方式,开展作战实验推演。在此基础上,确定外场试验项目,设计详细的试验方案,制定数据采集清单。主要由试验单位完成。

#### 6) 外场作战试验。

依据试验方案,在文书、人员、装备、条件准备的基础上,在外场开展作战试验,采集需要数据。文书准备主要由装备部门、试验单位、研制单位完成,人员准备

主要由承试单位完成,装备准备主要由装备部门、研制单位、承试单位完成,条件准备主要由装备部门、试验单位完成。

#### 7) 内场复盘分析。

对外场作战过程进行复现,主要包括航迹以及一些关键事件,如发现事件、攻击事件、命中事件等。将其与内场仿真推演进行对比分析,以对仿真实验数据进行修正。主要由试验单位和承试单位完成。

#### 8) 作战实验评估。

在对性能试验数据、外场试验数据、仿真实验数据、训练演习数据梳理分析的基础上,对装备的作战效能、保障效能、部队适用性、体系贡献率等进行综合评价,给出装备试验鉴定意见、装备改进意见建议,装备作战使用及保障建议。主要由试验单位完成。

## 2 作战实验数字化流水线元建模方法

作战实验一般由实验对象、实验主体、实验手段和实验活动4个要素组成。

### 2.1 实验对象

实验对象,指所要分析解决的各类问题,既包括作战理论、作战条令、作战方案、作战方法等抽象观念,也包括人员、装备、环境等物质对象<sup>[9]</sup>。为方便作战实验实例的存储和查阅,实验对象可表述为

$$Object=(ID, Name, Type, Time, Purpose)$$

式中, $ID$ 为标识, $Name$ 为名称; $Type$ 为类别,分为抽象概念、物质对象, $Time$ 为实验时间,由开始时间、结束时间组成, $Purpose$ 为实验目的。

### 2.2 实验主体

实验主体,指组织、指导、实施和参与作战实验活动的个人或集体,是实验中最积极、最动能的因素<sup>[8]</sup>。从任务分配角度出发,实验主体可分为单位 $Unit$ 、角色 $Role$ 、人员 $Person$ ,三者的关系为:一个单位存在多种角色,不同单位存在同一角色;一个角色包含多名人员,一人承担多个角色;一个单位包含多名人员,一人隶属于一个单位。

#### 1) 单位。

$$Unit=(ID, Name, Type, Parent)$$

式中, $ID$ 为标识, $Name$ 为名称, $Type$ 为类别, $Parent$ 为上级单位。主要可分为七大类:作战部门、装备部门、论证部门、试验单位、研制单位、承试单位和协作单位。

#### 2) 角色。

$$Role=(ID, Name)$$

式中, $ID$ 为标识, $Name$ 为名称。

#### 3) 人员。

$$Person=(ID, Name, Type, WorkTime, Role, Unit)$$

式中, $ID$ 为标识, $Name$ 为名称, $Type$ 为类别, $WorkTime$ 为工作时间。 $Type$ 的取值为0,1,其中0表示可同时参与多个活动;1表示不可同时参与多个活动。 $WorkTime$ 为结构体,由开始时间 $Start$ 、结束时间 $End$ 、持续时间 $Gap$ 组成,在没有特别明确的情况下,取值分别为活动的开始、结束、持续时间。

### 2.3 实验手段

实验手段,指实验主体对实验对象施加作用时所用的工具、仪器和设备等物质手段,是认识客观事物的媒介和桥梁<sup>[9]</sup>,包括指标构建工具、建模仿真工具、评估分析工具、数据管理工具等软件系统,也包括计算机、网络、武器装备等硬件设施,可表示为

$$Resource=(ID, Name, Type, UseTime, Unit, Specification)$$

式中, $ID$ 为标识, $Name$ 为名称, $Type$ 为类别, $UseTime$ 为使用时间, $Unit$ 为隶属单位, $Specification$ 为使用说明。 $Type$ 的取值为0,1,其中0表示非占用型资源,即同一时刻可被多个活动使用;1表示占用型资源,即同一时刻只能被一个活动使用。 $UseTime$ 为结构体,与人员数组中的 $WorkTime$ 相同。

### 2.4 实验活动

实验活动,指实验主体所开展的一系列操作活动,是实验对象、实验主体和实验手段3个要素结合在一起互相作用的过程<sup>[9]</sup>,主要包括作战实验规划设计、组织实施、分析评估等活动,主要元素的形式化定义如下<sup>[10-17]</sup>,其图形化符号如表1所示。

#### 定义1 活动

$$Activity=(ID, Name, Properties, Start, Time, Inputs, Outputs, States, Operation, Performers, Decisions, Logics, JoinSplits, SequenceFlows, SubActivities, Notes, Specification, Ends)$$

式中,1)  $ID$ 为活动标识; $Name$ 为活动名称; $Specification$ 为活动描述;为子活动的有限集; $Start$ 活动开始点; $Ends$ 为活动结束点集合,每个活动结束点 $End$ 由标识( $ID$ )及状态( $State$ )组成,来源于上状态集 $States$ 。

2)  $Properties$ 是 $Property$ 的有限集, $Property$ 为过程变量,定义在活动之间传递的相关数据,作用域限于此

表1 实验活动的主要元素及符号

Table 1 Main elements and symbols of experiment activity

元素	主要用途	符号
组合活动	拥有子活动的活动,通过其可设置实验活动的标识、名称、时间、状况、说明	
原子活动	没有子活动的活动,通过其可设置实验活动中除实验主体之外的所有元素	
判定	根据事先设定的条件和过程中产生的数据,确定业务流程路径,自动执行	
合并/分支	业务流程路径的合并与分支	
与/或	业务流程路径之间的逻辑关系	
顺序流	连接开始、活动、判定、合并/分支、与/或、结束,给定它们之间的转移条件	
实验主体	执行活动的主体,通过其可对执行实验活动的组织、角色、人员设置	
开始	实验活动的开始点,每个组合活动都有一个开始点	
结束	实验活动的结束点,每个组合活动有一个或多个结束点,用状况进行标识	
注释	对实验活动的简要概述	

活动中的所有子活动。

3) *Inputs* 表示活动的输入数据集,来源于 *Properties*,相当于计算机程序中函数的输入参数。

4) *Outputs* 表示活动的输出数据集,来源于 *Properties*,相当于计算机程序中函数的返回值。

5) *Decisions* 是 *Decision* 的有限集,*Decision* 为决策,用于过程中活动执行路径控制。

6) *Time* 为活动的执行时间,由实际开始时间 *RStart*、实际结束时间 *REnd*、实际持续时间 *RGap*、约束开始时间 *CStart*、约束结束时间 *CEnd*、约束持续时间 *CGap* 组成。

7) *States* 是 *State* 的有限集,*State* 表示活动结束时

所处的状态,由标识(*ID*)和名称(*Name*)组成。

8) *Operation* 表示业务逻辑,在条件满足的情况下,由计算机自动执行。

9) *Performers* 表示活动的执行主体,可以是人员、角色、单位,一项原子活动可分配给多名人员、多个角色或多个组织。

10) *Logics* 是 *Logic* 的有限集,*Logic* 表示活动之间的与/或关系,由标识(*ID*)与类别(*Type*)组成。

11) *JoinSplits* 是 *JoinSplit* 的有限集,表示活动之间的合并关系及分支关系,由标识(*ID*)组成。

12) *Sequeece Flows* 是 *Sequeece Flow* 的有限集,*Sequeece Flow* 为顺序流,定义过程中活动、开始点、决策、与/或,合并/分支、结束点之间的连接关系。

#### 定义2 决策

$$Decision=(ID, Conditions)$$

式中,1) *ID* 为标识号。

2) *Conditions* 是 *Condition* 的有限集,*Condition* 为决策的判别条件,类似于专家系统中的 *If...Then*,即如果满足什么,那么结果是什么。

#### 定义3 顺序流

$$SequenceFlow=(ID, Condition, Source, Target)$$

式中,1) *ID* 为标识号。

2) *Condition* 是 *SequenceFlow* 的使能条件,来源于源节点的结束状态,默认取值为完成(*Finish*)。

3) *Source* 是 *SequenceFlow* 的源节点,*Target* 是 *SequenceFlow* 目标节点,其中节点来源于 *SubActivities*、*Logics*、*JoinSplits*、*Decisions*。

#### 定义4 业务逻辑

$$Operation=(ID, Name, Specification, Inputs, Outputs, Function)$$

式中,1) *ID* 为标识号,*Name* 为名称。

2) *Specification* 为业务逻辑的功能描述。

3) *Inputs*、*Outputs* 为输入、输出参数。

4) *Function* 为可执行文件。

### 3 作战实验数字化流水线的软件架构

作战实验数字化流水线主要由实验主体管理、实验手段管理、实验流程建模和流程运行管理组成,其软件架构如图2<sup>[10,18-19]</sup>所示。

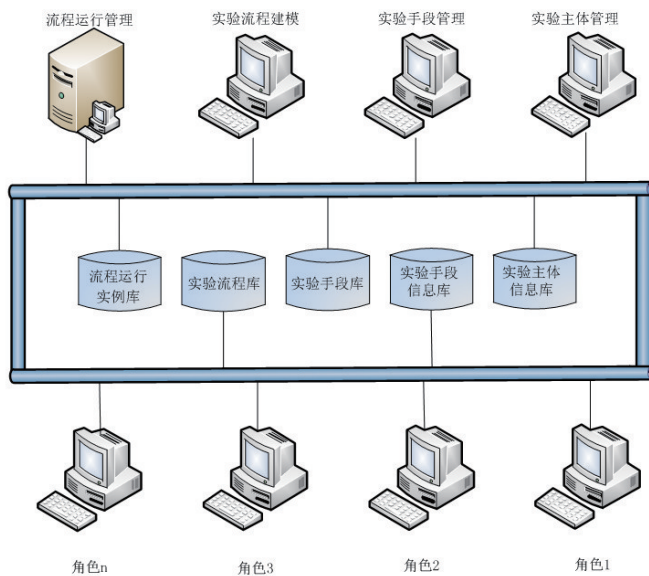


图2 数字化流水线软件架构

Fig. 2 Digital assembly line software architecture

### 3.1 实验主体管理

实验主体管理主要负责单位、角色、人员的信息注

册、修改、删除,为确保业务流程的顺利执行,对于正在执行的业务流程所涉及到的主体,在实验主体信息修改、删除过程中须同时进行调整,顺序为先确保处于执行中的业务流程所涉及到的主体都来源于实验主体信息库并且冲突检测通过,否则实验主体信息修改、删除不成功。

### 3.2 实验手段管理

实验手段管理主要负责实验手段的信息注册、修改、删除,以及实验手段上传、删除于服务器。对于正在执行的业务流程所涉及到的手段,在实验手段信息修改、删除过程中会同时自动进行调整。为确保业务流程的顺利执行,如有必要,通过实验手段管理或流程运行管理手动调整,并且通过冲突检测。

### 3.3 业务流程建模

#### 3.3.1 图形化建模

如图3所示,开始、活动、判定、合并/分支、与/或、结束之间的顺序流通过图标拖拽方式实现,过程变量、状态变量、业务逻辑通过对树形结构中的节点进行编辑实现,其他元素设计通过对活动节点进行编辑实现。

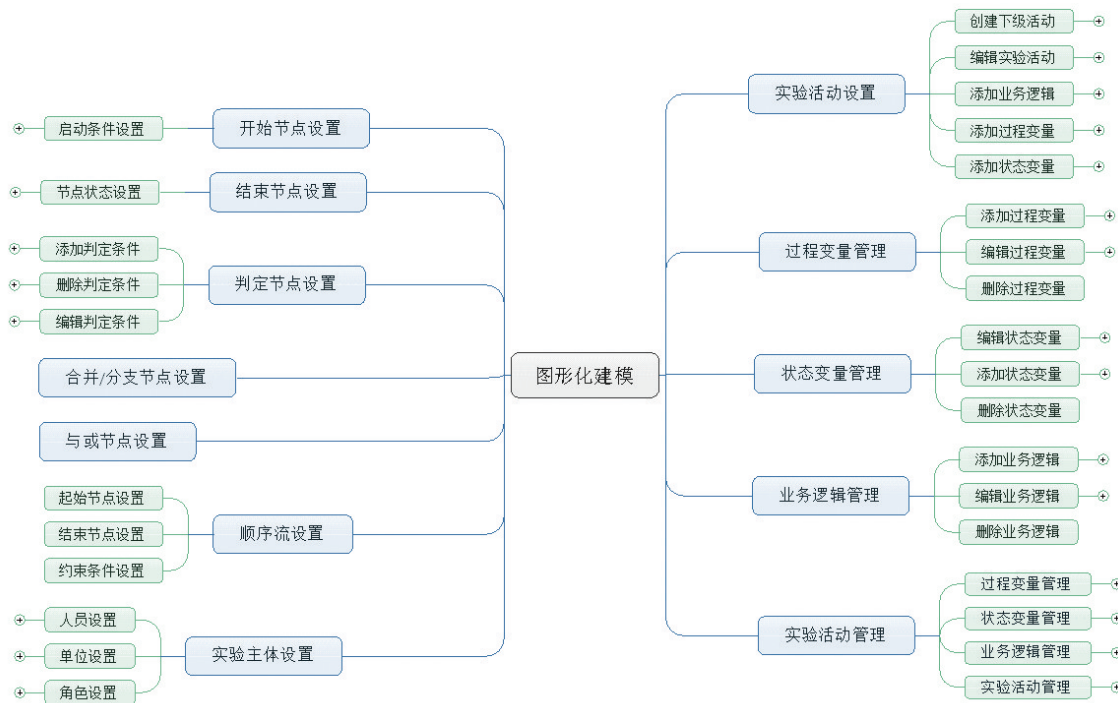


图3 图形化建模功能框架

Fig. 3 Functional framework of graphical modeling

#### 3.3.2 程序化建模

对于业务逻辑提供标准化的模型设计框架,主要包括名称、功能、输入、输出和函数设计,底层提供函数同名检测机制(图4)。

### 3.4 流程运行管理

#### 1) 流程配置。

流程配置主要是对实验手段、实验主体、活动时间、过程变量等业务数据进行配置。

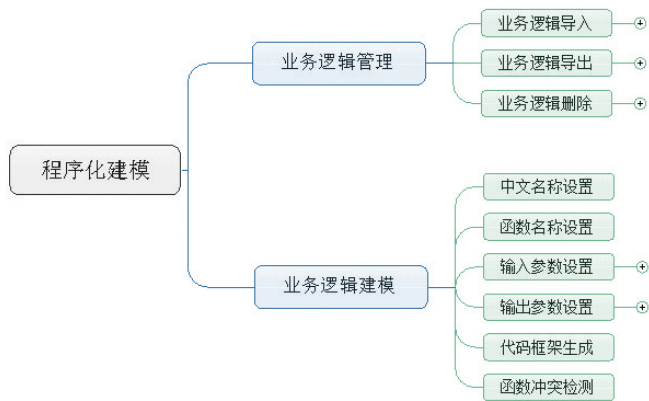


Fig. 4 Functional framework of procedural modeling

## 2) 冲突检测。

冲突检测主要是对活动时间、实验手段、实验主体等进行冲突检测。为了保证作战实验的顺利开展,涉及到占用型实验手段、实验主体,活动时间的配置都应进行冲突检测,冲突检测的顺序为活动时间、实验手段、实验主体。

### (1) 活动时间冲突检测。

对于实验活动,如果 $A_1$ 先于 $A_2$ ,则

$$A_1.CEnd \leq A_2.CStart;$$

否则实验活动在时间上存在冲突。

### (2) 实验手段冲突检测。

对于实验手段 $R$ ,如果为占用型,则

$$[A_1.R.UseTime.Start, A_1.R.UseTime.End] \cap [A_2.R.UseTime.Start, A_2.R.UseTime.End] = \Phi;$$

否则,实验手段在时间上存在冲突。

### (3) 实验主体冲突检测。

对于实验主体 $P$ ,如果为占用型,则

$$[A_1.P.WorkTime.Start, A_1.P.WorkTime.End] \cap [A_2.P.WorkTime.Start, A_2.P.WorkTime.End] = \Phi;$$

否则,实验主体在时间上存在冲突。

## 3) 流程优化。

流程优化主要是对活动时间进行优化,以尽可能地缩短开展一次作战实验的时间,其优化算法如下。

步骤1:获取每个实验活动的前缀实验活动,构成集合。

对于实验活动 $A$ 、 $B$ ,如果 $A$ 通过顺序流、顺序流和与/或、顺序流和合并/分支、顺序流判定与 $B$ 相连接,则 $A$ 为 $B$ 的前缀实验活动。

步骤2:按照顺序流对所有实验活动进行先后排

序。

步骤3:对某一实验活动 $A$ ,如果没有时间约束,优化其开始时间、结束时间。

步骤3.1:计算每个占用型实验手段、实验主体的最早可开始时间

$$\begin{cases} A.R.UseTime.Start = \max_B^{\Omega_{A,R}} B.R.UseTime.End \\ A.P.WorkTime.Start = \max_B^{\Omega_{A,P}} B.R.WorkTime.End \end{cases}$$

式中, $\Omega_{A,R}$ 、 $\Omega_{A,P}$ 分别为实验活动 $A$ 前面所有活动中,使用到实验手段 $R$ 、实验主体 $P$ 的实验活动集合。

步骤3.2:在不考虑其他约束条件的情况下,计算实验活动的最早开始时间

$$A.R.Time.Start = \max_B^{\Omega_A} B.R.Time.End$$

步骤3.3:考虑各类约束条件的情况下,计算实验活动的最早开始时间

$$A.R.Time.Start = \max \left( \max_R^{\Psi_{A,R}} B.R.Time.End, \max_{A,P}^{\Psi_{A,P}} A.P.WorkTime.Start, A.Time.RStart \right)$$

式中, $\Psi_{A,R}$ 、 $\Psi_{A,P}$ 分别为实验活动 $A$ 中,使用到的实验手段 $R$ 、实验主体 $P$ 。

步骤3.4:确定实验手段、实验主体的使用、工作时间

$$\begin{cases} A.R.UseTime.Start = A.Time.Start \\ A.R.UseTime.End = A.Time.End \\ A.P.WorkTime.Start = A.Time.Start \\ A.R.WorkTime.End = A.Time.End \end{cases}$$

## 4) 运行服务。

将运行数据与流程定义分离,其框架(图2)为运行引擎根据用户登录信息、业务流程信息、业务流程运行信息、实验主体信息库,为用户提供工作列表;并将用户操作信息记录到业务流程运行实例库中。当一次作战实验执行完毕时,将业务流程信息和业务流程运行信息进行打包存储于业务流程运行实例库中,标记已完成,便于追踪分析。

## 5) 动态调整。

由于作战实验是向前推进的,动态调整一般是据情对后续流程进行增加、删除等操作。运行服务中将业务流程信息与业务流程运行信息进行了分离,因此动态调整首先可基于流程建模对业务流程库进行更新,后对业务流程运行信息进行局部调整即可。

步骤1:从业务流程运行信息中提取最后完成的部分活动,其提取方法为,对于活动A,设其后缀活动集合为  $O_A$ ,如果存在  $B \in O_A$ ,A 的结束状态满足启动A与B之间的顺序流但并未启动,则将活动A提取。

步骤2:从提取的活动开始,基于业务流程信息,将运行引擎可自动化执行的过程完成,并更新业务流程运行信息库。

### 4 应用案例

以下分别从业务流程建模和业务流程运行两个方面对作战实验数字化流水线的优势进行分析,图5为面向装备试验鉴定的作战实验。

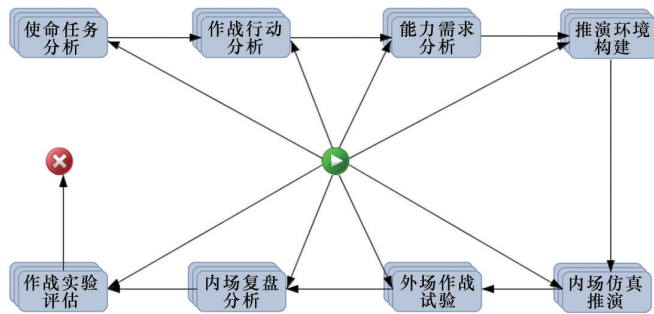


图5 面向装备试验鉴定的作战实验流程

Fig. 5 Operational experiment flow of equipment test and evaluation

通过实验活动管理→导出实验活动、实验活动设置→创建下级活动→选择现有活动实现业务流程的并行建模,具体步骤如下。

步骤1:建立顶层业务流程,包括实验活动、约束条件及数据流。

步骤2:将顶层业务流程分发,并对所属实验活动建模进行分配。

步骤3:各下层完成实验活动建模后,并将实验活动导出给上层。

步骤4:上层通过创建下层活动将提交的实验活动导入业务流程。

上述步骤中,步骤2、4的时间可以忽略,假设步骤1的时间为  $t$ ,步骤3中各实验活动的建模时间  $t_1, t_2, \dots, t_8$ ,则相比于串行建模,并行建模可缩减

$$\frac{t + \sum_{i=1}^8 t_i - \left( t + \max_{i=1}^8 t_i \right)}{t + \sum_{i=1}^8 t_i} \times 100\%$$

当  $t=t_i$  时,可缩减 77.8%。

通过 B/S 结构的业务流程运行模式,可以有效监控业务流程进展,及时将任务分发到个人。如图6所示,实验活动管理人员可以通过登录系统,及时了解实验活动进展,当前已进行到各大类模型设计阶段。

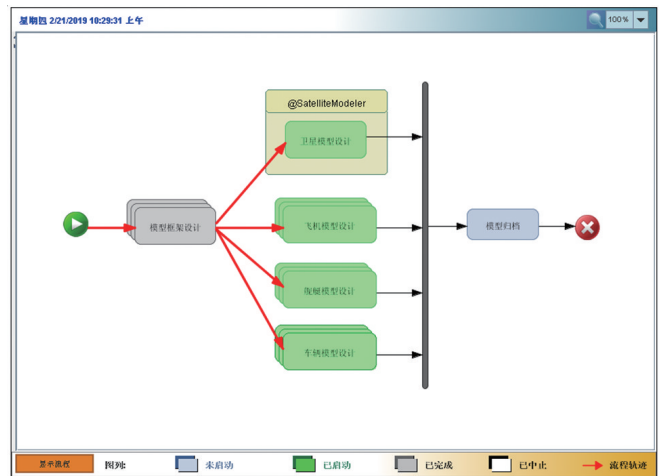


图6 业务流程运行状态

Fig. 6 Working state of business flow

如图7所示,卫星模型设计人员(SatelliteModeler:henry)登录系统后,即可获取当前需要开展的工作。

工作表	流程实例集合	流程定义集合	报告
新建任务	新建任务请求	启动新的流程实例	

动作	名称	实例	定义	已启动
☑	卫星模型设计	面向装备试验鉴定的作战实验	验证型作战实验	Thu 2/21/2019 10:06 AM

图7 个人工作列表

Fig. 7 Personal work list

### 5 结论

将数字化流水线引入作战实验活动中,有利于将人、工具、数据、模型等有机结合,高效推进工作开展。由于软件工具很好地将作战实验活动信息记录在案,可基于运行信息优化作战实验流程。本研究将为规范化作战实验流程,确保装备试验鉴定结果可靠可信,交付给部队管用、实用、好用、耐用的装备提供支持。

业务流程时间优化、动态调整和冲突检测是系统实现的3项关键技术,下一步将通过案例测试和实践应用进行问题查找和修正。目前,冲突主要采用人工方式进行解决,当冲突较多则需要花费大量时间通过修改-检测的迭代方式进行解决,下一步将为活动时间引

入一个可调属性,以活动调整总时间最小化为优化目标,采用分布估计算法实现机器为主、人工为辅的冲突归零方式。

### 参考文献(References)

- [1] 李涛, 余军, 吴小勇, 等. 作战实验在海军装备体系建设中的应用研究[J]. 国防科技, 2014, 35(4): 37-41.  
Li Tao, Yu Jun, Wu Xiaoyong, et al. Research on the applications of operational experimentation in the building of naval weapon equipment systems of system[J]. National Defense Science & Technology, 2014, 35(4): 37-41.
- [2] 王辉青, 张德群. 论我军作战实验发展与运用的若干重要问题[J]. 军事运筹与系统工程, 2011, 25(4): 11-14.  
Wang Huiqing, Zhang Dequn. Some important issues in the development and application of operational experiments in our army[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2011, 25(4): 11-14.
- [3] 王辉青, 李辉. 作战实验实施指南[M]. 北京: 军事科学出版社, 2008.  
Wang Huiqing, Li Hui. Operational experiment implementation guide[M]. Beijing: Military Science Press, 2008.
- [4] 赵存如, 李宁, 王维. 外军作战实验的军事需求与实际成效[J]. 军事运筹与系统工程, 2007, 21(2): 30-33.  
Zhao Cunru, Li Ning, Wang Wei. Military requirements and actual results of foreign military operational experiments[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2007, 21(2): 30-33.
- [5] 杨榜林, 岳全中, 金振中, 等. 军事装备试验学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.  
Yang Banglin, Yue Quanzhong, Jin Zhenzhong, et al. Military equipment test[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002.
- [6] Defense Acquisition University. Test and evaluation management guide[R]. Fort Belvoir: The Defense Acquisition University Press, 2001.
- [7] Maximo L. Joint test and evaluation methodology[R]. Washington DC: Office of the Secretary Defense, 2009.
- [8] Wayne E. Maritime dominance in the littorals[R]. Monterey: Naval Postgraduate School, 2004.
- [9] 卜先锦, 张德群. 作战实验教程[M]. 北京: 军事科学出版社, 2013.  
Bu Xianjin, Zhang Dequn, et al. Operational experiment course [M]. Beijing: Military Science Press, 2013.
- [10] 蔡章利. 基于BPMN的业务流程一体化建模方法研究与实现[D]. 重庆: 重庆大学机械工程学院, 2011.  
Cai Zhangli. Business process integration modeling and based on business process modeling notation[D]. Chongqing: College of Mechanical Engineering, Chongqing University, 2011.
- [11] Clempner J. Verifying soundness of business process: A decision process petri net approach[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(11): 5030-5040.
- [12] 黄颖, 何克清, 冯在文, 等. 基于本体的业务流程适应性配置方法研究[J]. 电子学报, 2016, 44(3): 699-707.  
Huang Ying, He Keqing, Feng Zaiwen, et al. Research on adaptive approach for business process configuration based ontology[J]. Electronic Journal, 2016, 44(3): 699-707.
- [13] 黄颖, 李康顺, 李伟, 等. 一种基于本体语言的业务流程建模方法[J]. 系统仿真学报, 2017, 34(10): 2282-2290.  
Huang Ying, Li Kangshun, Li Wei, et al. Business process modeling algorithm based on ontology language[J]. Journal of System Simulation, 2017, 34(10): 2282-2290.
- [14] Martin H, Frank L, John D, et al. Semantic business process management: A vision towards using semantic web services for business process management[C]//IEEE International Conference on e-Business Engineering Beijing: IEEE, 2005: 535-540.
- [15] Jochen M K, Ryndina K, Gall H. Generation of business process models for object life cycle compliance[J]. Business Process Management, 2007(4714): 165-181.
- [16] La Rosa M, Duma M, Terhofstede A H M, et al. Configurable multi-perspective business process models[J]. Information Systems, 2011, 36(2): 313-340.
- [17] Sebastian S, Vera K, Kevin A, et al. Coordinating business process using semantic relationships[J]. Business Informatics, doi: 10.1109/CBI.2017.53.
- [18] 姜久雷. 云计算环境下跨组织业务流程建模方法研究[D]. 上海: 东华大学计算机科学与技术学院, 2014.  
Jiang Jiulei. Research on cross organizational business process modeling method in cloud computing environment[D]. Shanghai: College of compute science and technology, Donghua University, 2014.
- [19] Rimba P, Tran A B, Weber I, et al. Comparing blockchain and cloud services for business process execution[C]//IEEE International Conference on Software Architecture, Beijing: IEEE, 2017, doi: 10.1109/ICSA.2017.44.

## Digital assembly line of operational experiment for equipment test and evaluation

WU Hong<sup>1,2</sup>, LI Xiao<sup>1</sup>, WANG Tianzhong<sup>1</sup>

1. Unit 92337 of People's Liberation Army, Dalian 116023, China

2. Unit 96901 of People's Liberation Army, Beijing 100089, China

**Abstract** Operational experiment is a complicated system engineering project involving a long time span, many departments, intensive resources, and difficult implementation, therefore an operational experiment based on digital assembly line is proposed. Specifically, a basic process of operational experiment oriented to equipment test and evaluation is established; a digital assembly line Meta model covering experimental objects, means, subjects and activities is designed; a software system framework of graphical modeling and B/S operation mode is constructed; conflict detection mechanism, process optimization steps and dynamic adjustment strategy are formulated. The introduction of the digital assembly line to operational experiment activities can optimize the operational experiment flow and provide support for ensuring the reliability and credibility of equipment test and evaluation results.

**Keywords** equipment test; operational experiment; military technology ●



(责任编辑 傅雪)