

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.01.009

一种武器装备体系结构仿真模型生成方法

王栋, 熊健, 葛冰峰, 廖良才

(国防科学技术大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 在分析 IDEF0 模型和 ExtendSim 仿真工具在武器装备体系结构研究中的应用的基础上, 提出一种间接建立武器装备体系结构仿真模型的方法。首先, 建立体系结构的 IDEF0 模型, 分析其在 ExtendSim 环境下的仿真, 然后将 IDEF0 模型转换生成 ExtendSim 仿真模型, 以实现武器装备体系结构的仿真。实践证明, 该方法能在一定程度上提高整个建模仿真过程的效率和水平。

关键词: 武器装备体系; 体系结构; 仿真; IDEF0 模型; ExtendSim

中图分类号: N945.12; N945.13 **文献标识码:** A

A Generation Method of Weapons Equipment System Architecture Simulation Model

WANG Dong, XIONG Jian, GE Bing-feng, LIAO Liang-cai

(School of Information System & Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Based on the analysis of applying IDEF0 model and ExtendSim simulation tool to study weapons equipment system architecture, an indirect generation method of a weapons equipment system architecture simulation model is proposed. Building IDEF0 models, the simulation of architecture under the environment of ExtendSim is analyzed. And the IDEF0 models are transformed into ExtendSim simulation models. Then, the simulation of weapons equipment system architecture is realized. The practice proves that the method could improve the efficiency and level of the whole modeling and simulation process in some extent.

Keywords: Weapons equipment system; Architecture; Simulation; IDEF0 model; ExtendSim

0 引言

武器装备体系是为提供预期能力而组合在一起、相互依赖的武器装备系统集成, 是一种具有特定内涵的复杂巨系统。体系结构是保证体系各组分系统之间综合集成和互操作的关键^[1]。体系结构仿真的一般过程是: 首先, 建模仿真人员对体系结构的设计文档和相关资料进行理解和消化, 然后, 利用建模工具建立模型, 再将模型在仿真环境下运行以得出相关结论。但由于该方法进行的仿真难度比较大, 对建模仿真人员的能力素质要求较高, 势必耗费大量的人力、物力, 而且最终的仿真模型是否真实全面地反映了体系结构设计的质量还尚存疑问。故分析了 IDEF0 模型和 ExtendSim 仿真工具在武器装备体系结构研究中的应用, 提出一种利用已有体系结构设计成果 (IDEF0 模型) 转换生成 ExtendSim 模型, 从而间接建立武器装备体系结构仿真模型的方法。

1 基于 IDEF0 模型的武器装备体系结构

美国国防部体系结构框架 1.5 版 (DoDAF1.5)

^[1]提出了构筑一系列能阐明一个指定的体系结构特征及其用途的图形、文字和表格等, 包括 4 类视图, 共计 26 种产品, 是目前在武器装备体系结构描述、设计领域被广泛接受的规范。其中, 作战视图中的作战活动模型产品 (OV5) 描述了体系的能力、作战活动及活动间的输入输出关系, 直接全面地反映了体系的作战需求, 是开发作战视图乃至整个体系结构的基础。在 DoDAF1.5 中, IDEF0 方法是开发作战活动模型产品 (OV5) 所推荐采用的方法之一。

IDEF^[2]的基本概念是在 70 年代提出的结构化分析方法基础上发展起来的。1981 年, 美国空军公布的集成计算机辅助制造 (Integrated Computer Aided Manufacturing, ICAM) 工程中采用了名为“IDEF”的方法。IDEF 是 ICAM DEfinition method 的缩写, 后来称之为 Integration Definition Method, 简称不变。刚开始, IDEF 方法由 IDEF0、IDEF1 和 IDEF2 等 3 部分组成, 到现在, 已经发展成了一个系列, 一直到 IDEF14。

IDEF0 通过活动图形 (Activity Diagram) 来对系统的功能活动及其联系进行描述, 其基本内容是

收稿日期: 2009-07-30; 修回日期: 2009-09-07

基金项目: “十一五”装备预先研究项目《武器装备体系结构描述方法研究》(513300201)

作者简介: 王栋 (1986-), 男, 重庆人, 国防科技大学在读硕士研究生, 从事武器装备体系结构、系统优化与综合集成技术研究。

系统分析和设计技术 (System Analysis and Design Technology, SADT) 的活动模型方法。活动模型是由一系列活动图形组成的, 它把一个复杂系统分解成一个个部分、成分。在 IDEF0 中, 每个页面就是一个活动图形, 其中主要的图形元素有 2 类: 盒子表示活动; 盒子之间通过箭头相互联系, 表示任何跟系统有关的数据。箭头又分为 3 种类型, 分别表示数据流 (输入和输出)、控制流和机制 (表示活动的基础或支撑条件)。这 3 种箭头可根据其相互位置来进行区分, 如图 1。IDEF0 模型是分层表示的, 包含多个页面 (Page), 除了顶层页面之外, 每个页面都是对其父页面中的某个活动的细化描述。

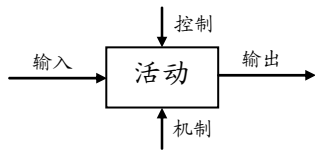


图 1 IDEF0 活动图形元素示例

IDEF0 方法集中了功能分解法和数据流方法的优点, 能同时表达系统的活动和数据流以及它们之间的关系, 所以, IDEF0 模型能比较全面地描述系统^[3]。对于某区域防空反导武器装备体系结构^[4], 其作战活动模型产品 (OV5) 的一个页面如图 2。

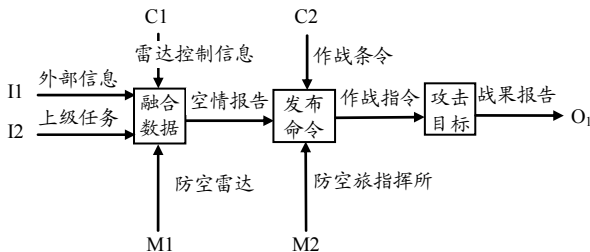


图 2 区域防空反导武器装备体系结构 IDEF0 模型的页面

2 基于 ExtendSim 的武器装备体系结构仿真

武器装备体系是一个具有特定内涵的复杂巨系统, 规模庞大、组成结构及其相互关系复杂, 为提高体系的综合能力和发挥整体效能, 实现其组分系统的综合集成和互操作, 作为体系顶层设计重要内容的体系结构就显得尤为重要。然而, 所设计的体系结构是否存在逻辑冲突, 其动态行为是否按照预期的顺序执行, 所表现的功能和性能是否满足需求, 如何评估多种可选的体系结构设计方案, 如何进一步优化体系结构设计方案, 这些都是武器装备体系结构研究中的热点和难点。

建模与仿真技术为上述问题的解决提供了一条可行的途径。从本质上讲, 武器装备体系可以认为是一种离散事件动态系统: 随机发生的事件的驱动

系统功能的执行, 进而使系统的状态在特定的时间点离散变化。

ExtendSim (旧版称 Extend)^[5]是 Imagine That 公司提供的一款优秀的仿真软件, 已广泛地应用于制造业、物流业、交通和军事等领域。它采用 C 语言开发, 可以对离散事件系统和连续系统进行仿真, 且具有较高的灵活性和可扩展性, 稳定性强, 特别适合对武器装备体系这类复杂系统进行仿真。总结起来, ExtendSim 具有如下显著特点:

- 1) 采用模块化结构和多层次模型结构, 模型条理清晰、逻辑分明, 使复杂系统模型得以简化;
- 2) 采用拖拉式建模和“克隆”技术, 简化了建模过程;
- 3) 提供开发源代码和二次开发引擎, 用户可以利用自带的编程工具修改已有的模块或是创建新的模块, 并可以与外部程序代码和数据库相链接;
- 4) 具有良好的统计功能和图形输出功能;
- 5) 新版本的软件还采用了三维建模和动画技术, 增强了软件的可视化效果。

在应用 ExtendSim 进行武器装备体系仿真研究方面, 美国海军研究生院做了大量前沿性的工作, 具体可参考文献[6-7]。

3 IDEF0 模型到 ExtendSim 仿真模型的转换

仿真建模^[5]分为结构建模和输入建模。结构建模是指利用仿真软件提供的建模构件建立结构模型。输入建模主要是确定输入变量的概率分布。本文研究从 IDEF0 模型到 ExtendSim 模型的转换方法, 即如何从 IDEF0 模型得到 ExtendSim 结构模型。

ExtendSim 仿真建模的基本操作主要有 3 种: 首先是将模块库中的模块拖拉到模型工作表窗口中, 然后进行连接, 最后, 在模块对话框中输入相关参数完成建模。离散事件建模将主要用到其 Item 和 Value 两个库中的模块, 比如 Create (生成器)、Queue (队列)、Batch (合并)、Activity (活动)、Resource Pool (资源池) 和 Exit (出口) 等。

IDEF0 模型在许多方面与具有多层次结构的 ExtendSim 模型类似: 它们都包含一系列页面, 都具有建模意义极为相似的“活动”等。故可将 IDEF0 模型转换生成在行为上一致的 ExtendSim 模型, 基本的原则和步骤如下:

- 1) ExtendSim 模型中的实体对应 IDEF0 模型中的数据;
- 2) ExtendSim 模型中的 Activity (活动) 模块对

应 IDEF0 模型中的盒子 (活动);

3) ExtendSim 模型中模块之间的连接线对应 IDEF0 模型中的输入输出关系箭头;

4) 对于 IDEF0 模型中的活动可能存在的多个输入或多个输出, 在 ExtendSim 模型中要通过在 Activity 模块之前增加 Batch 模块或之后增加 Unbatch 模块来实现;

5) ExtendSim 模型中的层级模块对应于 IDEF0 模型中的页面。

此外, IDEF0 模型有 2 种要素需要特殊考虑^[8]:

1) 控制: 在 IDEF0 中, 控制通常是某些原则、指导思想或是约束条件等。反映在 ExtendSim 模型中, 控制是用来决定模型运行的规则, 例如准入规则、排队规则、优先级确定规则等。因此, 可考虑在 Activity 模块前增加 Queue 等相应模块来进行规

则处理, 或是设置、修改 Activity 模块中的相关参数来加以实现。

2) 机制: 在 IDEF0 中, 机制指活动的基础或支撑条件, 最典型的是设备、人员等各可获得的资源, 一般只是在加工过程中被暂时占用, 随后又被释放出来。故在 ExtendSim 模型中可以考虑添加一个 Resource Pool 模块来显式建模资源, 也可以通过限制或调度 Activity 模块的容量来隐式建模资源。

基于以上讨论, 图 2 的某区域防空反导武器装备体系结构 IDEF0 模型的一个页面转换生成相应的 ExtendSim 模型如图 3。但想要进行武器装备体系结构的仿真, 还必须在顶层模型添加 Create 模块和 Exit 模块来产生和回收实体, 添加 Executive 模块来实现事件调度和仿真管理, 并对模型进行初始化完成输入建模。

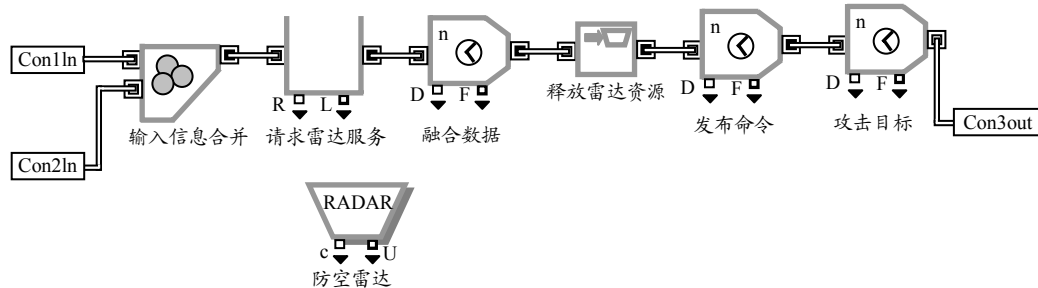


图 3 某区域防空反导武器装备体系结构 ExtendSim 仿真模型的一个层级模块

以所讨论的某区域防空反导武器装备体系为例, 经多次仿真, 可获得如下有价值的信息:

1) 通过 ExtendSim 模型的单步运行仿真, 可以检验体系结构的设计是否存在逻辑冲突, 体系的动态行为是否符合预期;

2) 直观地反映体系各组分系统的运行情况 & 资源利用效率;

3) 结合试验设计, 可得到体系的相关性能指标, 例如: 体系的最大容量, 即体系所能抵御的敌方最大强度的攻击能达到何种程度; 针对敌方特定强度的攻击, 体系的毁伤率等; 并进一步得到体系结构优化改进方案;

4) 体系的多个体系结构设计方案的优劣排序。

4 结束语

以上方法初步实现了对武器装备体系结构的仿真。实践表明, 该方法是可行的、有效的, 在一定程度上提高了整个建模仿真过程的效率和水平。

参考文献:

[1] DoD Architecture Framework Working Group. DoD

Architecture Framework Version 1.5[R]. U.S. Department of Defense, 2007.

- [2] 陈禹六. IDEF 建模分析和设计方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [3] 罗雪山, 朱德成, 沈雪石. IDEF0 方法在军事综合电子信息系统分析设计中的应用[J]. 国防科技大学学报, 2001, 23(3): 88-92.
- [4] 修胜龙, 罗雪山, 罗爱民. C³I 系统仿真模型自动生成方法[J]. 火力与指挥控制, 2004, 29(2): 10-13.
- [5] 秦天保, 王岩峰. 面向应用的仿真建模与分析—使用 ExtendSim[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [6] Thomas V. Huynh, John S. Osmundson. A Systems Engineering Methodology for Analyzing Systems of Systems Using the Systems Modeling Language (SysML)[C]. 2nd Annual System of Systems Engineering Conference, 2006.
- [7] Chee Yang Kum, Poh Seng Wee, John S. Osmundson, et al. The Use of Model Simulation to Study Complex Systems—A Study on US Expeditionary Warfare System[J]. JOURNAL OF THE SINGAPORE ARMED FORCES, 2003, 29(1): 75-81.
- [8] 王志坚, 蔡自兴. 基于 IDEF0 模型的 Petri 网间接建模方法研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(15): 3915-3919.
- [9] 刘渝妍, 岳强, 赵卿. 构件化数据挖掘体系结构[J]. 四川兵工学报, 2008(3): 85-88.