

# 基于模型的系统工程 在机载电子系统领域的应用

## Application of Model-Based System Engineering in Area of Airborne Avionics System

中航工业西安航空计算技术研究所 白洁 吕伟 张磊 邓广宗



白洁

任职于中航工业西安航空计算技术研究所,主要从事辅助动力控制系统和航空机载电子系统的研究工作。

机载电子系统关系到飞机的安全性、可靠性、先进性和成本,是飞机上最重要的子系统之一。机载电子系统涉及网络、电子、控制等多个领域,具有高度复杂性、综合性等特点。在传统设计过程中,文档是数据在产品的设计、制造、验证、生产各阶段传递的核心,各个构型项独立设计,再进行集成验证,这种设计方法存在

从 MBSE 的概念、结构、发展历史入手,基于某型动力电子控制系统,使用 Harmony-SE 流程举例分析 MBSE 在当前机载电子产品中的应用,同时探讨了 MBSE 在产品开发方面存在的问题。指出未来复杂产品的范式增长将会为 MBSE 的进一步发展提供崭新机遇与挑战。有理由相信:MBSE 在未来复杂工程的发展中将占据更为重要的地位。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.04.096

以下问题:一是缺少对系统层架构的仿真和验证,导致产品缺陷无法通过后期更改来弥补,产品设计迭代次数多;二是文档规模大、版本多,技术状态不容易控制;三是缺少多物理场的耦合仿真分析,仿真验证在各领域独立进行,且只是在产品详细设计阶段进行,很少在需求分析及初步设计阶段进行系统功能及行为仿真;四是软硬件在优化设计时,只考虑了其本身参数的优化,而电子、软件、控制等参数间的相互影响关系很难在后期优化设计中实现。因此目前传统的开发方法已无法满足市场需要。

### 基于模型的系统工程体系结构

#### 1 基本概念

基于模型的系统工程(Model-Based System Engineering, MBSE)的基础是系统工程,系统工程是实现成功系统的一个跨学科方法,其思想体现了自顶向下的分解和自底向上的综合,系统工程“V形”图见图1。系统工程师完成系统的分解和系统集成,通过用户需求分析、系统功能分析、设计方案权衡和仿真验证,形成系统初步方案。同时将系统分解为子系统或部件,形成部件级或子系统

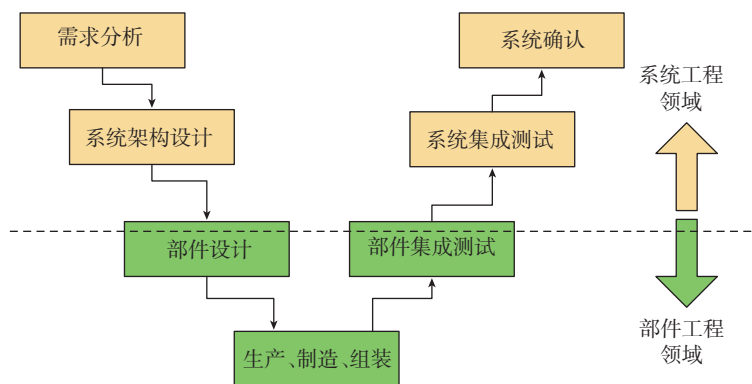


图1 系统工程开发V型图

级需求,并将这些需求作为下一层次的开发任务分配到不同的研制单位,各单位根据不同专业特点对分系统进行详细的研究和设计。

传统的系统工程方法只适用于系统组成部分可分解的结构复杂性项目,对于机载电子系统项目,现今均采用了大量的软件和复杂的硬件平台,同时系统综合方式、配套关系等发生了重大变化,使传统的系统工程方法已无法解决;其次,传统系统工程关注各物理域内部影响及优化,因而无法关注产品内部子部件/系统之间的关系及相互作用。研发人员必须寻找适应目前及未来机载电子系统发展的新途径和新方法<sup>[1-2]</sup>。

基于以上情况,基于模型的系统工程应运而生。MBSE 主要根据系统工程从需求到系统、子系统、组件以及实现之间的分解关系,通过定义型号研制各个阶段(如用户需求、系统要求和结构、分系统设计、部件设计、部件制造等)的模型,实现产品研制过程和信息基于模型的管理,并在此基础上建立了基于模型的系统工程机制<sup>[2]</sup>,其信息逻辑模型如图2所示。

## 2 基本结构

目前世界不同组织及行业针对复杂产品形成了多种 MBSE 方法论或最佳实践,其中 IBM TELELOGIC 的 Harmony-SE 在航空航天领域最为著名。Harmony-SE 是大型综合系统和软件开发流程的子集。Harmony-SE 和 Harmony 的开发起源于 I-Logix 公司,前身是嵌入式市场中建模工具的主要提供者,所以更适合机载电子系统产品的开发,而基于 IBM Harmony 系统工程开发流程的 Rhapsody 工具,是目前业界应用较广的 MBSE 平台。其用户包括 EADS 旗下的空客和军机部门以及 MBDA<sup>[3-4]</sup>。

Harmony 流程在某种程度上反映出了系统设计的经典“V形”生命周期开发模型,此流程假定模型和需求被保持在集中的模型/需求库中。如图3所示,Harmony 系统工程组件在总体设计方面具有以下目标:(1)需求分析:识别所要求的系统功能。(2)系统功能分析:识别相关系统的状态。(3)架构设计:系统功能分配到物理架构。

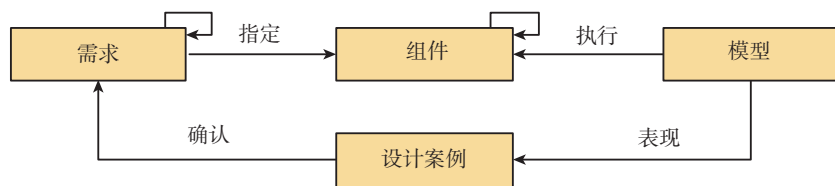


图2 MBSE信息模型

在部件分析和设计过程中,存在不同的设计领域,其“模型”具有不同的含义。对于产品结构设计师,MBSE指的是通过CAD软件建立的三维模型;对于仿真控制设计师,其MBSE指的是通过Amsim或Matlab等工具构建的被控对象模型。

Harmony-SE 将“服务驱动”的建模方法和系统建模语言(SysML)相结合,使用方框作为基本结构元素,并通过 SysML 结构图描述系统结构,如图4所示,Harmony-SE 流程元素图提供了详细的任务流和工作产物。

## 实现与实例

基于模型的系统工程需求分析、功能分析、架构设计方法在机载电子系统设计中得到了初步应用,现以某发动机数字式电子控制系统为例,描述 MBSE 方法的应用场景。该系统主要应用于飞机应急动力控制,其主要功能为当飞机主动力发生故障时,通过该系统控制应急动力,并带动辅助发电机工作,满足全机应急条件下的电功率、液压功率。本实例重点对系统及架构设计进行描述。

### 1 需求分析

需求分析的主要工作是对用户要求进行捕获以形成系统顶层需求并建立系统用例模型,需求捕获不只是在短时间内要了解用户的需求,更应该站在用户的角度了解其潜在需求。对于复杂系统必须建立用例模型帮助用户梳理需求,确定系统边界和环境,避免需求被开发人员误解。需求分析的流程如图5所示。

对某动力控制系统进行需求分析并对用例进行建模,该数字电子控制系统为3个用例模型,分别为控制、通信、故障检测。

### 2 功能分析

功能分析的目的是形成能描述系统功能及其互相之间关系的一系列模型元素,主要包括活动图、顺序

问题研究

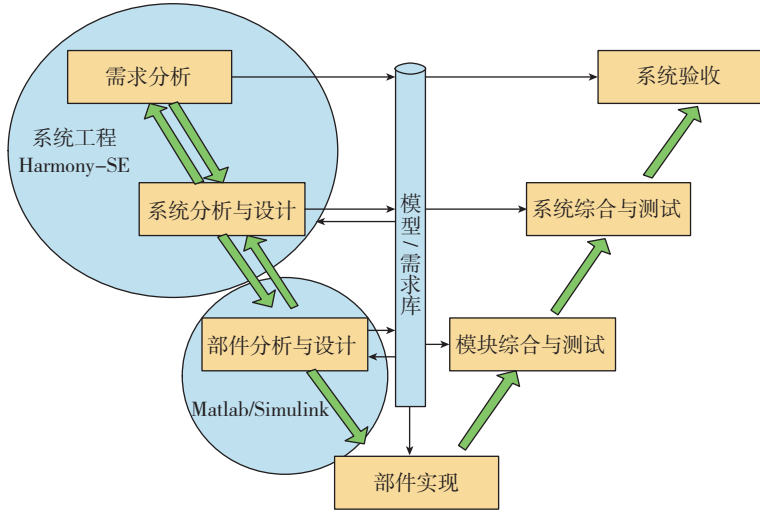


图3 Harmony-SE系统综合开发流程图

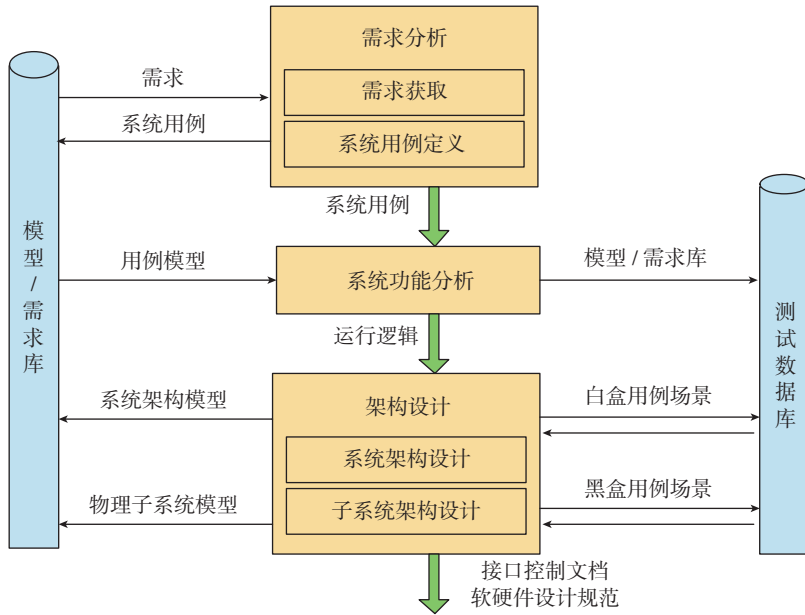


图4 Harmony-SE流程元素图

图和状态机。3者之间的顺序可以根据系统的实际情况灵活选择,但是无论路径为何,状态机都是描述系统最根本的形式。图6所示为功能分析结果。

3 设计综合

设计综合主要是依据产品架构设计,对产品功能进行分析,并将功能分解、定义并分配到相关的部件及组件,在此过程中还需完成产品功能向部件、软/硬件组件功能的分配;完成产品性能指标向部件及组件的

分配,包括产品可靠性、维修性、测试性指标等<sup>[5]</sup>。

由于该发动机数字电子式控制系统主要涉及硬件及软件,所以主要工作为软、硬件功能模块的划分。按照系统的主要功能,可划分为信息处理、供电系统、数据采集及数据输出4个主要模块(图7),这些模块将以类块的形式存在于模型工程中,并可在其基础上进行软件的设计、更新和维护。

基于模型的系统工程在飞机级系统产品已经得到了应用,同时在建模语言与建模方法等方面取得了很大的进展,但在机载电子系统上的应用还不是很长,并存在许多问题需深入研究,主要有如下几个方面。

1 模型跨阶段的管理

由于模型在系统不同研发阶段以及里程碑阶段所包含的建模要素之间存在着内在的关联关系,而这些有关联关系的要素蕴含在不同阶段产品数据文档中。所以,必须针对不同类型的产品建立完整的逻辑信息架构,该信息架构和产品开发流程相关联用以体现不同的开发阶段,然后将不同阶段的模型和信息架构中的各个元素进行追踪,以使其对不同阶段的模型进行有效管理。

2 机载电子产品硬件建模

基于模型的系统工程在需求分析和架构设计阶段主要关注系统的逻辑行为,其工作主要是利用系统建模工具进行设计综合和需求分解,并对系统功能需求进行验证和确认,但是,目前机载电子系统硬件部分的设计是在专业工具中进行(如Mentor Graphics等),如何将硬件架构仿真和系统架构仿真结合在一起将是MBSE工作后期的重点之一。

3 动态模型仿真方法

基于模型的系统工程开发方法主要侧重于对复杂系统静态行为的功能建模,对模型的连续性动态行为仿真分析的支持不够。要实现复杂产品的动态仿真建模和验证,只能借助于其他专业仿真工具,如Dymola、Simscape、MapleSim、AMESim等。因此,如何保证系统建模工具和专业仿真工具间模型数据的统一是目前要解决的问题之一<sup>[2]</sup>。

4 模型重用

现阶段,MBSE系统建模工具由支持UML建模的工具扩展而来,几乎所有的图形(用例图、顺序图、活动

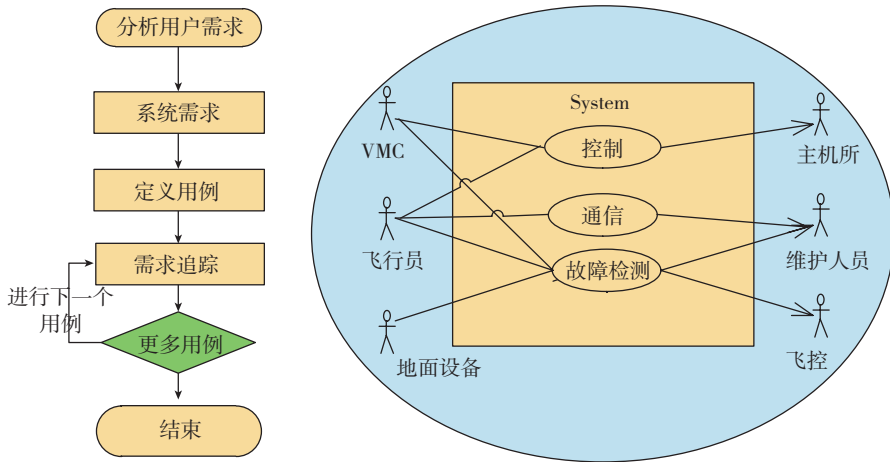


图5 需求分析流程及结果图

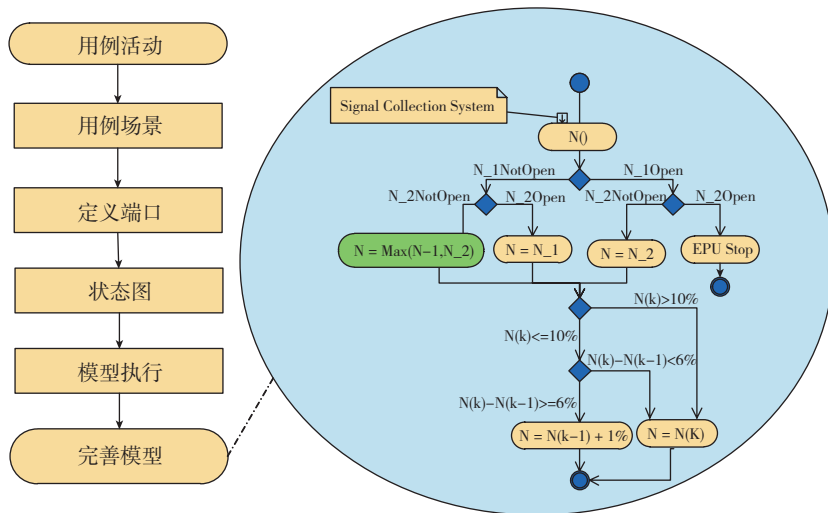


图6 功能分析流程及部分活动图

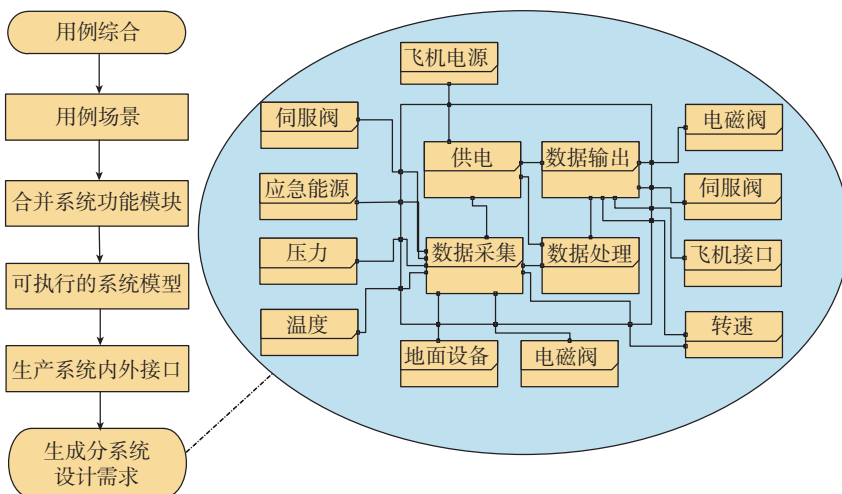


图7 设计综合分析流程及结果图

图、状态图、块定义图)均由人工完成,无法自动生成。事实上,需求模型、结构模型、行为模型可重用元素较多。因此如何通过重用已有的系统设计模型来提高系统建模与设计效率将是模型驱动复杂产品系统建模与设计下一步值得研究与探索的重要问题<sup>[6-7]</sup>。

### 结束语

基于模型的系统工程是复杂系统研发的重要创新,对复杂系统的成功起着至关重要的作用。本文从MBSE的概念、结构、发展历史入手,基于某型动力电子控制系统,使用Harmony-SE流程举例分析MBSE在当前机载电子产品的应用,同时探讨了MBSE在产品开发方面存在的问题。指出未来复杂产品的范式增长将会为MBSE的进一步发展提供崭新机遇与挑战。有理由相信:MBSE在未来复杂工程的发展中将占据更为重要的地位。

### 参考文献

- [1] 丁鼎. 基于模型的系统工程在民机领域的应用. 沈阳航空航天大学学报, 2012, 29(4): 47-50.
- [2] 曾蕴波. 面向MBSE的产品阶段模型的要素演化关系发现方法研究. 制造业自动化, 2013, 35(3): 147-150.
- [3] 韩凤宇. 基于模型的系统工程在航天器研制中的研究与实践. 航天器工程, 2014, 23(3): 119-125.
- [4] 刘玉生, 袁文强, 樊红日. 基于SysML的模型驱动复杂产品设计的信息集成框架研究. 中国机械工程, 2012, 23(12): 1438-1445.
- [5] 王黎明. 控制系统基于模型的系统工程开发方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [6] 刘玉生, 蒋玉芹, 高黎明. 模型驱动的复杂产品系统设计建模综述. 中国机械工程, 2012, 26(6): 741-749.
- [7] 孙煜, 梁琰, 马力. 基于模型的系统工程与SysML应用研究. 信息系统工程, 2012(10): 114-118.

(责编 小城)