

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.03.003

基于模型的飞机系统架构设计综述

Review on the Model-Based A/C System Architecture Design

李浩敏 / LI Haomin

(上海飞机设计研究院, 上海 200120)

(Shanghai aircraft design and research Institute, Shanghai, 200120 China)

摘要:

从飞机系统架构设计的必要性、系统架构的建模和分析过程、支持架构建模分析的 MBSE 方法论、架构建模语言、架构建模工具、面向全机系统架构的协同设计和联合建模仿真等角度出发,对飞机系统架构设计相关的基础内容进行了全方位的综述,并提出了初步的飞机系统架构设计思想及其落实途径。

关键词: 系统架构; Modelica; 架构建模; 联合仿真

中图分类号: V221

文献标识码: A

[Abstract] This paper introduces the fundamental but critical concepts of A/C system architecture design, which includes the necessity of A/C system architecture design, the modeling and analysis process, the related MBSE methodology, the architecture modeling language, the collaborative design and joint simulation. After this review, this paper also gives a initial proposal on the model-based A/C system architecture philosophy.

[Keywords] system architecture; modelica; architecture modeling; joint simulation

1 飞机系统架构设计的必要性

SAE ARP 4754A^[1]中关于“系统架构”的描述为:系统架构的开发作为飞机/系统概念研制过程的核心工作。系统架构将确立系统结构及边界,在该结构及边界内,实施具体的项目设计以满足已建立的需求。可以考虑多个候选系统架构用于实现设计。

进行“基于模型的飞机系统架构设计”的意义在于,通过建立较为真实的飞机系统架构模型,可以帮助飞机设计者在设计初期对新技术的使用、全机系统架构的综合权衡、飞机顶层指标的确定以及飞机级需求的确认和初步验证等关键内容进行评估,从而降低飞机设计的风险,减少设计成本,缩短飞机研制流程。

2 系统架构的建模^[2]

2.1 功能架构建模

功能架构建模过程包含三个主要步骤:

1) 分析运行场景,识别系统顶层的“核心功

能”,并形成系统的“功能上下文模型”;

2) 分析系统功能上下文模型,识别目标系统的“驱动”和“反应”,开发“系统线程”;

3) 将“系统线程”进行有机整合,形成系统的“功能架构”。

2.2 逻辑/物理架构建模

逻辑/物理架构,应该由两部分组成,一部分是逻辑/物理模块层级图,另一部分是物理模块关系图。前者重点表现系统模块之间的层级结构,即包含与被包含关系;后者重点表现各层级模块之间的接口和运行依赖关系。

3 几种重要的 MBSE 方法论及其架构设计和分析过程^[3-5]

3.1 IBM Harmony-SE

Harmony-SE 的活动如图 1 所示。

Harmony-SE 方法论主要包括以下三个顶层过程元素:

1) 需求分析,针对系统用例进行识别和初步分

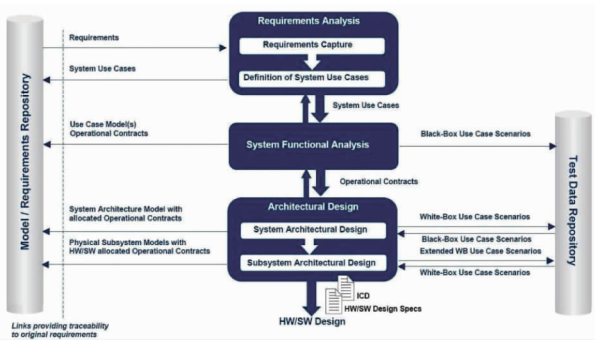


图1 Harmony-SE 的活动

析,其过程输出包括系统场景和用例。

2) 系统功能分析,输出用例模型和运行合约,运行合约描述系统与外界交互的逻辑和接口规范。通过用例一致性分析建立用例协作模型,将用例融合在一起,以形成对系统功能的全方位考察;

3) 架构设计,输出系统架构模型和伴生的运行合约,包括 ICD 和设计规范。

3.2 INCOSE OOSEM

INCOSE 的 OOSEM 是一种将面向对象的分析技术和系统工程理论基础充分结合的自顶向下的场景驱动的 MBSE 方法论。OOSEM 的活动如图 2 所示。

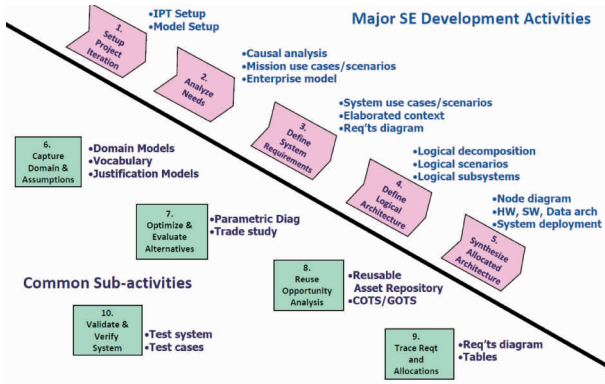


图2 OOSEM 的活动

OOSEM 的关键活动包括:

- 1) 分析利益相关方的要求和需要;
- 2) 定义系统需求;
- 3) 定义逻辑架构;
- 4) 对已分配的备选架构进行综合并分析,聚合 (Synthesize) 成物理架构;
- 5) 对备选综合架构进行评估和优化;
- 6) 确认和验证系统设计。

4 支持架构建模的语言和相关建模工具

4.1 Modelica 和 Dymola^[6]

Modelica 语言是一种开源的、用于构建大型复杂和多样化的物理系统模型的面向对象语言。

目前 Modelica 语言已拥有机械、电子、电气、液压、热力学、控制逻辑、电机等多个学科的标准模型库,可以快速建立系统级性能分析模型。由于采用了面向对象的语言策略,Modelica 充分支持非因果建模,将理解模型和理解现实世界的问题充分对应,方便针对具体问题进行分析。

Dymola 基于 Modelica 语言,使用一种新的基于面向对象和方程的建模方法,方程的自动处理替代了传统意义上方程到模块框图的人工转换, Dymola 程序的结构如图 3 所示。

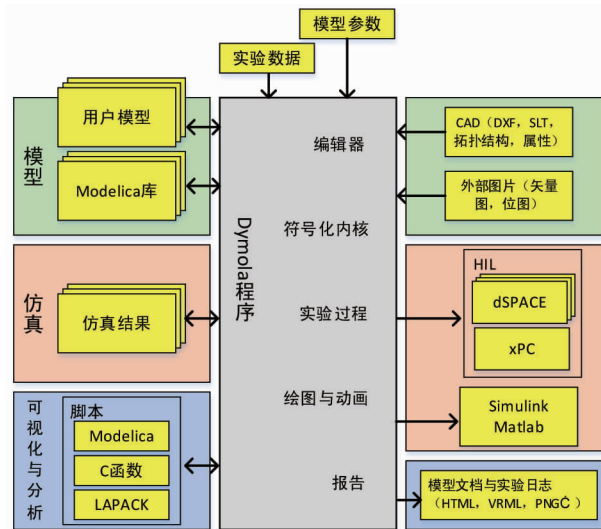


图3 Dymola 程序的结构

4.2 Arcadia 和 Capella^[7]

Arcadia 是一个有特定工具 Capella 支持的 MBSE 方法,用于软/硬件和系统架构设计。

基于 Arcadia 和 Capella 的系统设计过程如图 4 所示。

其中,OA 层分析“系统用户想要系统完成什么”,SA 层分析“系统需要如何运作来满足用户的要求,即功能分析”,LA 层分析“系统的逻辑组件需要如何协作来实现特定的功能,并满足特定的限制等条件”,PA 层分析“系统应该如何被实现并构建”。在各层级设计分析之后,可以生成 EPBS

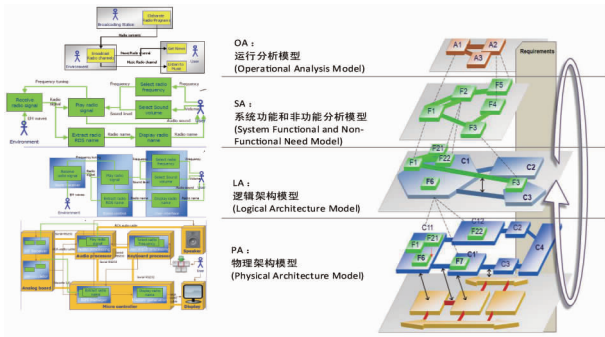


图4 基于 Arcadia 和 Capella 的系统设计过程

(End-Product Breakdown Structure), 根据 EPBS 可以形成与系统供应商或者下层设计人员之间的合约, 定义他们的系统设计内容和设计规范。

需要注意的是, Arcadia 和 Capella 由 Thales 公司提供, 它主要是一家航电企业, 他们提出的方法论和开发的建模设计工具偏重于航电系统设计, 擅长于数据传递、事件触发、并行或串行处理等状态逻辑的设计, 目前其架构综合设计能力并不适合控制系统和机械系统开发。

4.3 Matlab 和 Simulink

Simulink 是 Matlab 中的一种可视化仿真工具, 是一种基于 Matlab 的框图设计环境, 是实现动态系统建模、仿真和分析的一个软件包, 被广泛应用于线性系统、非线性系统、数字控制及数字信号处理的建模和仿真中。

5 多系统架构协同设计和联合建模仿真

5.1 多系统架构协同设计

为解决整机级系统架构权衡的问题, 需要对多系统架构进行协同设计。总体和分系统的架构协同设计包括两部分, 分别是“接口设计 (ICD)”和“基于架构模型的协同设计和仿真验证”。具体形式如图 5 所示。

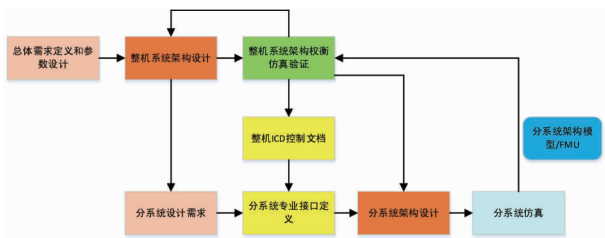


图5 基于架构模型的协同设计和仿真验证

5.2 多学科联合仿真方法/工具/平台

多学科联合仿真的方法包括但不限于:

- 1) 基于 S-Function 的联合仿真;
- 2) 基于 Modelica 的多学科联合仿真;
- 3) 基于 FMI/FMU 的联合仿真;
- 4) 基于 ModelCenter 的联合仿真;
- 5) 基于 TISC 的分布式联合仿真。

5.2.1 基于 FMI 和 FMU 的联合仿真

欧洲 Modelica 协会提出了 FMI (Functional Mock-up Interface, 简称 FMI)。FMI 是开放的第三方标准接口协议, 任何软件均可以基于该协议开发接口, 任何软件均可以基于该协议开发接口, 将模型封装为 FMU (Functional Mock-Up Unit, 简称 FMU) 或导入其他软件生成的 FMU, 实现模型交互和联合仿真。基于 FMI/FMU 可以实现异构模型联合仿真中的数据交互。

FMU 是黑盒模型, 可以用于模型交互和联合仿真, 但无法获得模型的原理等核心信息, 有助于保护模型所有者的知识产权。

5.2.2 基于 ModelCenter 的联合仿真

ModelCenter 是一个图形化的设计环境, 用于设计自动化、设计集成和设计优化, 其强项在于软件集成和多学科联合优化。基于 ModelCenter 模型集成和仿真的过程如图 6 所示。

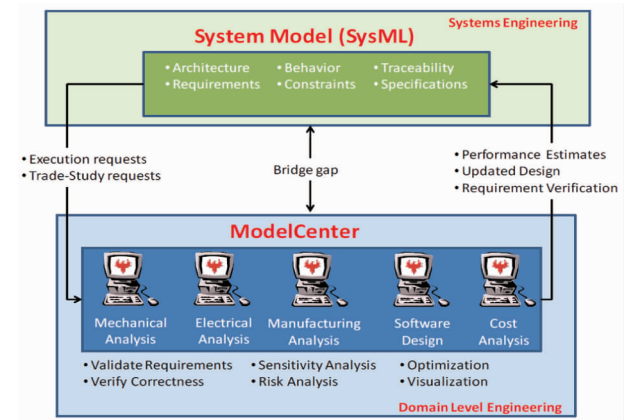


图6 ModelCenter 模型集成和仿真的过程

5.2.3 基于 TISC 分布式联合仿真平台的联合仿真

采用第三方的分布式联合仿真平台是解决多学科联合仿真的有效手段。TISC 是一款分布式联合仿真平台, 其平台结构如图 7 所示。

TISC 是一个用于控制不同仿真应用的联合仿真环境, 可划分为控制层和仿真层。仿真层可以耦合不同工具, 并执行联合仿真计算。控制层控制联合仿真进程, 易于配置不同工具和模型进行联合仿真计算。

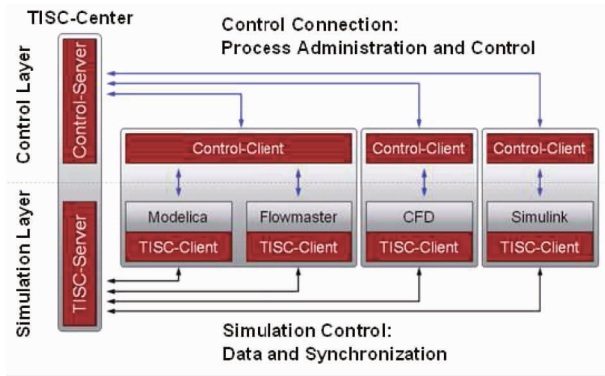


图7 TISC 的软件架构

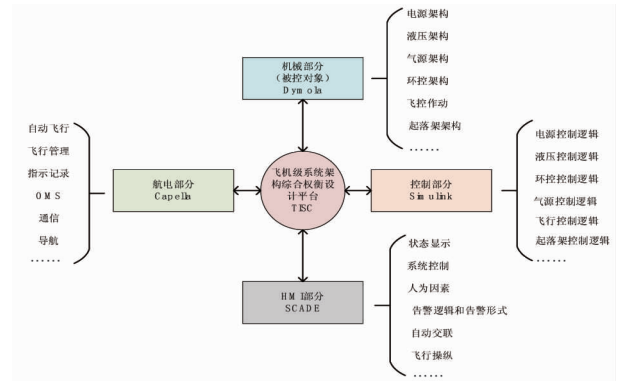


图8 飞机级系统架构综合权衡设计平台

基于 TISC 平台,可以便捷地实现不同仿真工具间的联合仿真,各种不同的仿真工具只需要开发与 TISC 的集成接口即可,并且 TISC 目前已经支持的工具有可以覆盖绝大部分的常用仿真工具,而目前尚未支持的工具有,也可通过定制化开发实现与 TISC 的集成。

6 飞机系统架构设计思想及其落实

6.1 飞机系统架构综合设计思想

飞机系统架构设计要在全机系统架构和分系统架构两个层面上进行考虑,全机系统架构的综合设计权衡主要考虑整机的设计目标,主要考虑多系统架构间的多角度的稳态耦合(包括功能逻辑、功率特性的匹配、故障传播等)和系统间 ICD 的初步定义等;而分系统架构设计主要依据整机系统架构框架进行更深层次的分析,包括系统架构的功能逻辑、动态特性和更加具体的 ICD 定义等。

6.2 基于模型的飞机系统架构综合设计

飞机总体、航电、机械和各种控制电子,其系统架构紧密相关却又各有侧重,需要使用不同的方法进行建模和分析,需要依据设计目的在不同层级不同颗粒度下进行综合建模规划。

根据对架构设计理论的分析,以及对架构建模工具的综合评估,可以初步确定飞机系统架构建模和分析的方案:航电部分使用 Capella 进行逻辑密集型软硬件的开发,机械系统部分使用 Dymola 对机电液气等系统进行被控对象的设计,控制系统部分使用 Simulink 对控制逻辑和控制算法比如飞行控制律进行设计,总体层面使用综合仿真平台例如 TISC 进行全机系统架构权衡,并最终完成飞机系统架构的综合设计。

飞机级系统架构综合权衡设计平台如图 8 所示。

7 结论

本文首先论述了飞机系统架构设计的必要性,然后对系统架构的建模和分析过程进行了总结。通过对 MBSE 方法论、架构建模语言和架构建模工具的分析,确定了飞机各系统架构设计应该采用的方法、语言和工具;通过对多系统架构协同设计和联合仿真的探讨,确定了飞机系统架构综合权衡设计应采用的思想和实施途径。

希望本文能够为飞机总体层面的系统架构综合设计提供一些思路。

参考文献:

- [1] SAE ARP 4754A. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems[S]. 2010.
- [2] Julia Murray. MBSE Media Study[C]. 2012.
- [3] Jeff A Estefan. Survey of Model Based Systems Engineering Methodologies [C]. INCOSE, 2007.
- [4] David Long, Zane Scott. A Primer for Model-Based Systems Engineering[M]. Vitech, 2011.
- [5] Lykins, Howard, etc. Adapting UML for an Object-Oriented Systems Engineering Method (OOSEM) [C]. Proceedings of the INCOSE 2000 International Symposium, 2000.
- [6] Modelica Association. Modelica—A Unified Object-Oriented Language for Physical Systems Modeling—Language Specification[S]. 2014.
- [7] Jean Luc Voirin, Stephane Bonnet. A MBSE method for System, Software and Hardware Architectural Design—ARCA-DIA and Capella[C]. 2015.

作者简介:

李浩敏 男,研究员。主要研究方向:系统工程、需求管理、MBSE、民用飞机综合设计。TEL:021-20865665,E-mail:Lihaomin@comac.cc