

引用格式:刘宇,金鑫.基于 Rhapsody 的综合航电火控系统图形化设计研究[J].电光与控制,2019,26(3):89-96. LIU Y, JIN X. Rhapsody-based graphic design of integrated avionics fire control system[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(3):89-96.

基于 Rhapsody 的综合航电火控系统图形化设计研究

刘宇, 金鑫

(航空工业第一飞机设计研究院, 西安 710089)

摘要: 针对当前飞机综合航电火控系统使用传统文档开发方法的不足,借助基于模型的系统工程思想,提出了基于 Rhapsody 的面向对象的图形化系统设计方法,并给出了具体的设计思路与实施步骤。通过某飞机典型作战过程的实例应用,详细研究了 Rhapsody 图形化系统设计方法中各种图例的应用场景和使用方法,并将各设计阶段应用图例通过功能传递进行关联,梳理出一套完整的复杂系统设计方法。该方法能够实现系统的迭代优化,减少工作量,缩短开发周期,可为今后复杂系统的图形化设计提供参考。

关键词: 航空电子; 火控系统; 系统设计; 作战过程; Rhapsody; 迭代优化

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2019.03.019

Rhapsody-Based Graphic Design of Integrated Avionics Fire Control System

LIU Yu, JIN Xin

(The First Aircraft Institute, AVIC, Xi'an 710089, China)

Abstract: To overcome the shortcomings of the traditional document methods used in the design of the integrated avionics fire control system, with the aid of the model-based system engineering theory, a method for object-oriented graphic system design based on Rhapsody is proposed. The specific design procedure and implementation steps are given. Taking a typical combat process of a certain aircraft for instance, this paper studies the application scenario and usage of various legends in the design of Rhapsody graphic system in detail, connects the legends in each designing stage with each other through function transference, and works out a complete design method for complex system. This method can realize the iteration optimization of the system, reduce workload and shorten the development cycle, which can serve as a reference for the graphic design of complex systems in the future.

Key words: avionics; fire control system; system design; combat process; Rhapsody; iteration optimization

0 引言

随着系统工程设计理念的不断推广,在军用飞机综合航电系统设计实践中,也在逐渐地采用系统工程 V 开发流程进行理论指导:以用户需求为牵引,层层迭代修正,按照逻辑关系逐步推进,从而保证研制出的产品的确定性,能够满足用户的需要。在开发设计中,IBM Rational Rhapsody 软件面向对象的功能分析、架构分析与架构设计的强大功能也凸显出来。使用 Rhapsody 等相关软件工具进行需求分析和系统设计已成为

工程应用中系统设计的发展趋势。

近年来,国内也开展了一些针对系统工程设计思想指导的系统设计研究。其中:文献[1]针对目前国内采用的面向对象设计方法开展了一些研究,主要着眼于单一功能的实现;文献[2]立足于战略层面,主要完成战略体系结构的建模,着重从需求方面进行作战活动的设计。但文献[1-2]均未对一个完整的复杂系统从设计到验证的过程进行分析;文献[3]应用 Rhapsody 软件进行了数据管理应用软件的开发,分析了 Rhapsody 软件的开发优势,但并没有进行系统级别的设计研究。

本文针对某作战飞机的综合航电火控系统进行研究,包括需求分析、功能划分、逻辑设计、数据流分解以及各阶段的反馈和最终的仿真验证,基于 Rhapsody 设

收稿日期:2018-04-18

修回日期:2018-05-17

作者简介:刘宇(1988—),女,辽宁大连人,硕士,工程师,研究方向为综合航电火控系统设计。

计软件,采用 V 开发流程的思路,制订了复杂系统的一套完整设计流程。

1 图形化设计方法

1.1 传统方法

目前,在航电系统设计的工程应用中,仍然采用传统的开发设计方法,而传统开发设计方法通过多年来的应用暴露出一系列的问题^[4-5]。

1) 过分依赖于文档描述,从需求分析、方案设计、详细设计到接口设计都依靠文档的传递使用。其中文字描述存在一定的歧义,可能会造成在工程实现阶段与设计方案的功能误差。

2) 随着设计过程中系统功能不断迭代完善,各个分系统及模块之间的功能交互越来越多,其中出现的问题完全依靠文档描述是无法进行及时反馈的,要到最终系统集成试验时才能发现。

3) 在系统交付后的排故过程中,虽然存在管理接口控制数据的软件,但对外场人员的工作积累有较高要求,必须从系统所有通信数据块中准确找到描述发生故障的数据字,否则就会影响故障定位的效率。

这些问题表明传统的设计开发方法已逐渐不能适应现今复杂系统开发的需要。为解决传统系统开发方法的不足和缺陷,本文提出的图形化设计方法能够从方案阶段开始就为开发者提供便捷清晰的设计环境与操作平台,并具有良好的功能可追溯性。

1.2 图形化设计方法

本文利用 Rhapsody 软件工具,建立基于系统工程 V 字开发理论支撑的可视化设计模型,提出图形化设计方法。图形化设计方法的核心思想是统一建模工具,并构建标准的需求、功能、架构等模型,以提高沟通效率、提高设计质量^[6]。在系统设计开发的各个阶段进行可视化的功能描述与传递,能够促进开发人员及时交流,以及开发功能的准确实现。执行模型可以在系统开发的早期完成对系统需求、功能逻辑的验证与确认,进而在项目的初期暴露设计缺陷。

可视化图形设计方法的主要特点是:

1) 在系统开发设计早期根据用户需求分析并梳理出系统需求,结合 IBM 开发的 DOORS 工具软件,建立系统功能需求树,对系统需求进行由粗到细的分解,可供开发人员清楚地掌握系统开发方向,实现功能需求变动的可控性,做到信息及时共享;

2) 依据系统需求进行体系结构设计,能够通过 Use Case Diagram 清晰地确定系统边界,明确系统与外界交互的元素以及系统活动参与者;

3) 采用 Activity Diagram 依据系统功能进行模块化划分并明确各功能模块之间的逻辑关系,为开发者提供更加感性的图形认识,减少语言描述的歧义问题;

4) 确定每个模块功能后,能够针对每个功能模块的实现算法,建立 Flow Chart 进行表征,方便软件开发人员从图形化关系转换为程序代码,有了 Flow Chart 的描述,比起纯代码的逻辑控制关系,能够增加不同的软件开发人员快速准确修改代码的可行性;

5) 采用 Sequence Diagram 对系统内部数据流进行可视化描述,能够为系统设计打下坚实的底层基础,Sequence Diagram 仿真验证可从初期阶段及时发现模块参数传递的问题,这个优点是文档设计无法比拟的;

6) 为验证设计的正确性,可以分步进行验证,分步式建立系统的 State Chart Diagram,进行动态验证,将调试完成的 State Chart Diagram 合并成一个复杂系统最终的 State Chart Diagram;

7) 图形化开发设计能够在开发的每个阶段,都有相应的图例描述与之对应,每个阶段的图例之间可通过功能函数接口和参数传递进行关联,在本阶段开发时,依据本阶段的开发特点,对前一个阶段构建完成的模型进行针对性细化与扩充,当满足本阶段开发要求时,进行下一个阶段的模型传递,继续进行开发。

可视化图形设计方法能够做到从需求阶段就对整个系统的行为走向、功能实现等进行可视化的调试、验证,可及时发现和处理在文档中描述模糊存在歧义的地方,从而避免在系统集成阶段才暴露不可逆转的问题。

2 设计实例

基于系统工程理论设计思想,以某飞机综合航电火控系统典型作战过程为实例,利用 Rhapsody 软件工具对其进行从顶层功能分解到数据流交互的设计过程,建立相应的图形化模型,并进行了系统的状态验证。

2.1 使用 DOORS 工具建立用户需求树

根据用户对某作战飞机的作战需求,实现该飞机制导武器的精确打击,融合载机自身传感器及远距探测节点的目标信息,通过航电系统功能分配,优化设计,提高精度,完成目标攻击,实现用户需求。

确定航电系统的功能、性能等要求后,运用 IBM Rational DOORS 工具建立航电系统的需求树。需求树用于帮助开发者管理系统的能力目录,对需求进行结构化、条目化定义,定义需求之间的关联追踪关系,从而实现需求的统一管理和技术状态控制^[6]。

通过对需求梳理并分解,将用户期望的飞机能力分配到飞机的各个系统、分系统中,使对应功能细化到每

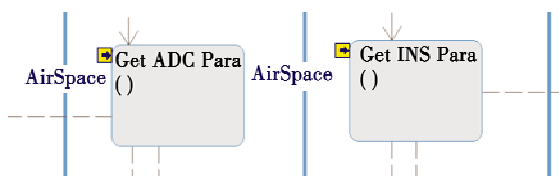


图 3 添加 ActorPin

Fig. 3 ActorPin added to the system

2.4 使用 Flowchart 建立系统功能实现模型

Flowchart 主要应用在 Rhapsody 建模的过程中,开发人员已经理清了程序的设计思路,可参照 Activity Diagram,进行软件 Flowchart 设计,从而编写代码,所定义的函数功能块名应与活动图中定义的 Action 保持一致^[7]。

图 4 所示为本文以判断武器是否满足发射条件为例说明的 Flowchart 的应用。

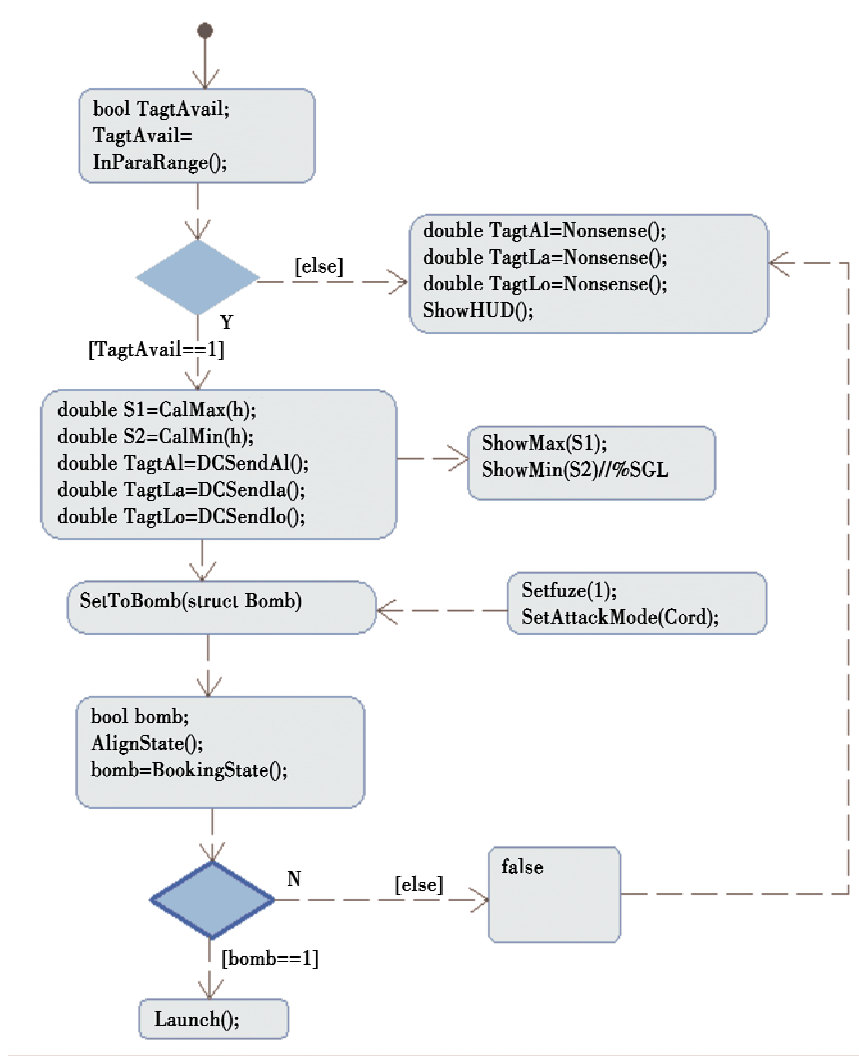


图 4 发控流程 Flowchart

Fig. 4 Flowchart of launch control

2.5 使用 Sequence Diagram 建立系统的数据流模型

Sequence Diagram 是在 Activity Diagram 的基础上,完成系统功能划分之后,用于梳理各个系统之间随着作战过程而顺序发生的不同阶段的数据流交互行为。Sequence Diagram 能够帮助设计开发人员对系统的工作流程进行可视化描述,软件支持在数据流中定义传递系统参数,包括总线数据字和离散信号。Sequence Diagram

的应用比文档描述的更加便于理顺数据流的关系。

图 5 所示为以武器准备流程为例建立的 Sequence Diagram。武器输出接口发送当前状态信息,输入接口接收目标参数、控制系统有效性等指令信息。流程中发生的数据交换事件能够通过使用“条件分支”、“条件选择”、“循环”、“等待”等操作符进行描述,完成系统数据流的建模。

图 6 所示为系统的 Sequence Diagram。

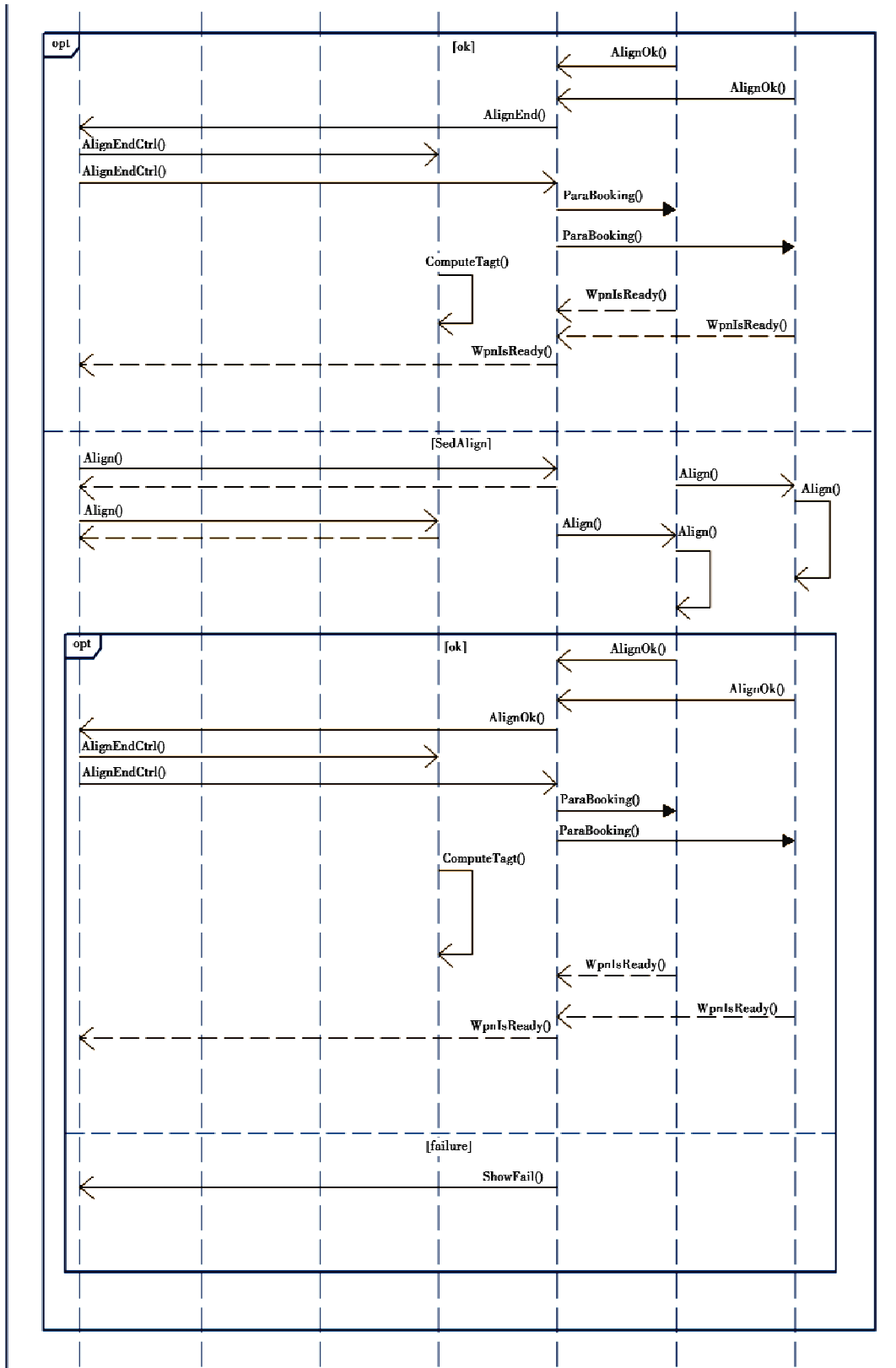


图 5 采用操作符的 Sequence Diagram

Fig. 5 Sequence Diagram of the operators

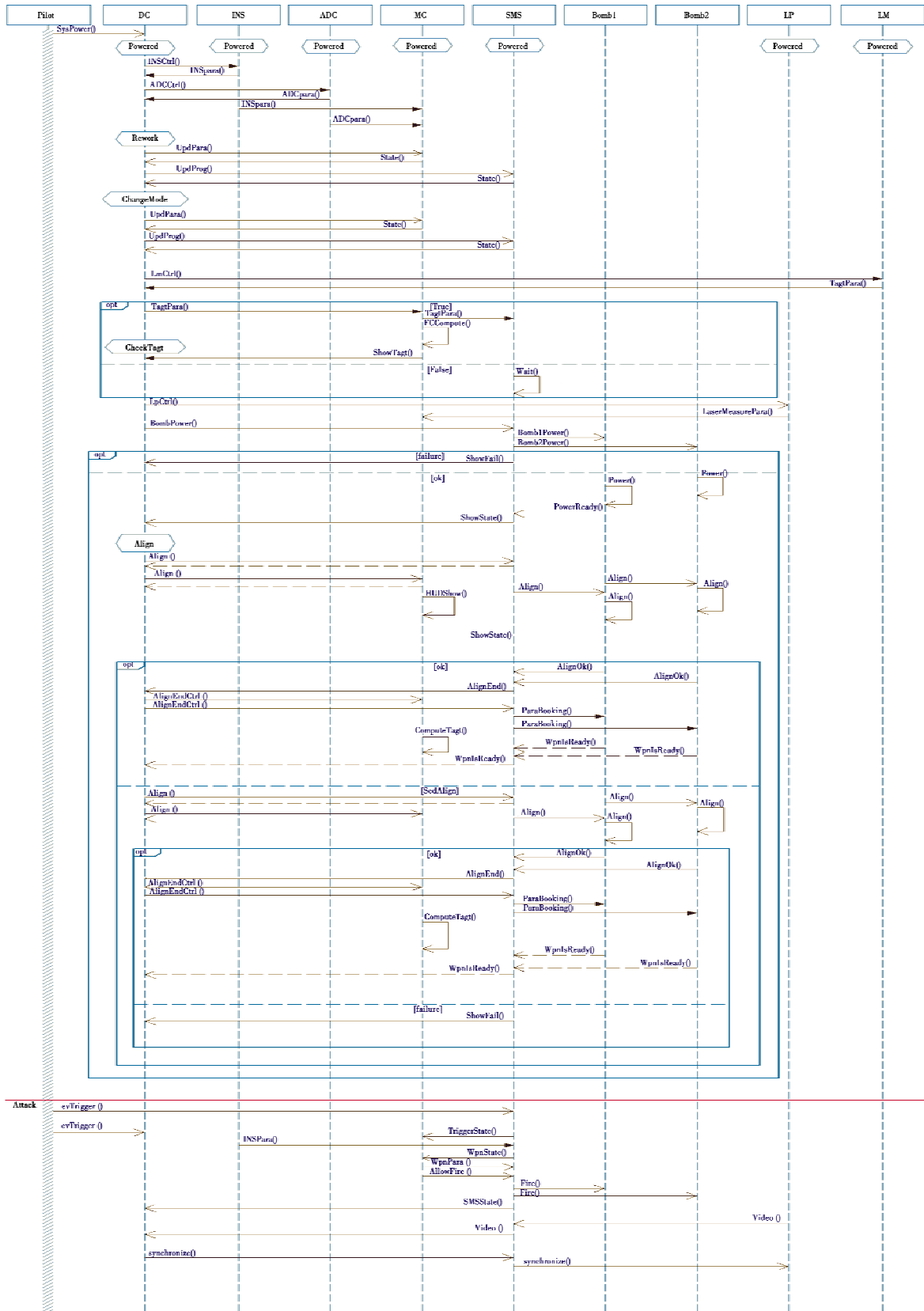


图 6 系统的 Sequence Diagram
Fig. 6 Sequence Diagram of the avionics system

2.6 使用 Statechart Diagram 建立系统的状态机模型

在 Rhapsody 软件中,可以使用状态机来验证系统模型的正确性。从系统全局的角度出发,描述系统的状态行为和控制结构。状态行为包括系统中对象生存期内可能的状态以及事件发生时状态的迁移,还包括

对象之间动态交互关系,显示对象的交互过程以及交互顺序,同时描述了为满足 Use Case Diagram 要求所进行的活动及活动间的约束关系,见图 7。

Statechart Diagram 是一种对基于离散事件的系统进行行为功能建模的图形化语言,具有层次性和并发性,可以清晰地描述基于状态的复杂系统^[8]。

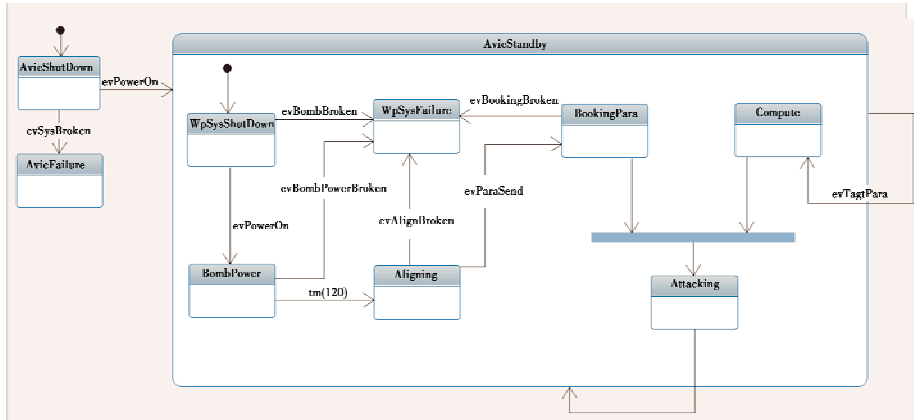


图 7 系统的 Statechart Diagram

Fig. 7 Statechart Diagram of the avionics system

2.7 系统状态验证

通过上述流程建立作战过程航电系统的 Statechart Diagram 模型,对模型进行状态仿真验证^[9-10]。跟踪调试系统的状态转换,从而证明系统设计过程中数据走向、转换条件设置的合理性和可行性,见图 8。

本文模型中,航电系统的状态转换分为两个主要状态:整个航电系统状态描述和外挂系统状态描述。其中,外挂系统内部发射条件状态转换需在航电系统工作

正常的前提下进行,这也符合系统实际工作情况。通过运行状态机,进行单步跟踪,完成验证系统的状态转换。

在系统模型 Statechart Diagram 仿真过程中不断暴露问题,发现并且解决了之前模型设计的缺陷和不合理之处。期间也不断在 DOORS 中迭代用户需求与功能实现的对应关系,最终得到合理的功能配置,能够满足用户能力需求并且通过仿真验证的系统模型,避免了在开发后期才暴露出系统的错误而造成损失。

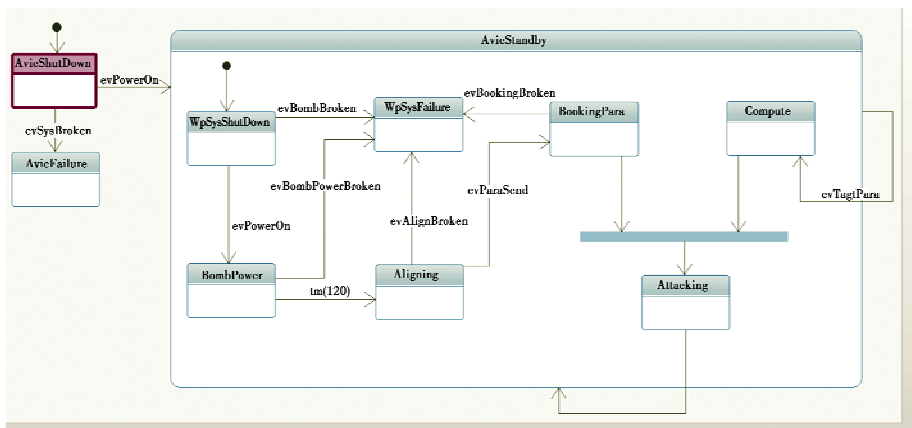


图 8 运行系统的 Statechart Diagram

Fig. 8 Statechart Diagram of execution system

3 结束语

系统设计工作中,传统方法是以文档描述顶层需求、设计要求和数据流走向,其中不可避免地会存在语义歧义或者错误。如果在设计过程中没有验证支持,到

开发后期才发现这些问题,则会造成重复工作量以及开发周期的积压。本文采用图形化设计方法,让设计中心由文件描述转化为模型描述,完成梳理系统功能建立图形化模型,能够实现设计—开发—验证通过模型进行传递,以文件描述辅助模型的理解,该方法旨在完成复杂

系统内部的任务功能分配与功能实现方法,后续可依据功能模型扩展至总线通信研究。本文以某飞机的典型作战过程为例开展研究,结果表明该方法在设计开发中能够准确快速传递系统功能模型,缩短开发周期,减少因文档描述歧义产生的错误从而提高设计质量,为后续系统设计实现全图形化开发提供了设计思路。

参 考 文 献

- [1] 茹伟,张双,胡宇凡. 基于 UML 的民用飞机电源系统设计与实现[J]. 电光与控制,2016,23(3):82-86.
- [2] 申彦君. 基于 DoDAF 的体系结构建模在反潜飞机任务系统设计中的应用[J]. 电光与控制,2014,21(9):90-94.
- [3] 张彦,肖忠炳,何金胜,等. 基于 Rhapsody 的综合数据管理软件设计与实现[J]. 航空电子技术,2014,45(3):42-45,51.
- [4] 刘兴华,曹云峰,沈春林. 模型驱动的复杂反应式系统顶层设计与验证[J]. 系统仿真学报,2009,21(14):4284-4287.
- [5] 刘兴华,曹云峰. 一种模型驱动的嵌入式控制软件设计技术研究[J]. 系统仿真学报,2013,25(7):1530-1534.
- [6] 吕伟. 基于 Simulink 与 DOORS 融合模型的系统工程方法研究[J]. 自动化应用,2017(2):24-25.
- [7] 徐文,熊智勇,张国全. 基于 Harmony 系统工程的 IMA 应用开发[J]. 北京航空航天大学学报,2015,41(11):2067-2077.
- [8] 何火军. 基于 Rhapsody 的飞行控制系统数字化设计研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
- [9] 张宇龙. 航电全任务数据仿真系统架构设计与验证[D]. 成都:电子科技大学,2015.
- [10] 文武红. Rhapsody 在柴油机电子控制上的应用研究[D]. 太原:中北大学,2005.
- (上接第 88 页)
- [3] 聂博文,马宏绪,王剑,等. 微小型四旋翼飞行器的研究现状与关键技术[J]. 电光与控制,2007,14(6):113-117.
- [4] PEDERI Y A, CHEPORNIUK H S. Unmanned aerial vehicles and new technological methods of monitoring and crop protection in precision agriculture[C]//IEEE International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD), Kiev, 2015:298-301.
- [5] GHAFOOR S S. 基于立体视觉和王维激光扫描仪的无人抗自主避障和导航技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.
- [6] KELLER J. Navy issues urgent order to equip MQ-8 UAV helicopter with maritime surveillance radar[J]. Military and Aerospace Electronics, 2013, 24(2):31-32.
- [7] 龚子然,代勇,王响,等. 基于视觉的室内四旋翼无人机目标追踪系统设计[J]. 仪器仪表用户,2018,25(1):5-8.
- [8] 黄建,胡月黎,杨文荣,等. 组合导航系统在四旋翼无人机上的实现[J]. 电子技术应用,2015,41(5):167-170.
- [9] MARKLEY F L, CRASSIDIS J L. Fundamentals of spacecraft attitude determination and control [M]. Berlin: Springer, 2014.
- [10] KHOSRAVIAN A, TRUMPF J, MAHONY R, et al. Recursive attitude estimation in the presence of multi-rate and multi-delay vector measurements[C]//Proceedings of the American Control Conference (ACC), IEEE, 2015:1-8.
- [11] 张天光,王秀萍,王丽霞. 捷联惯性导航技术[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [12] 吕印新. 基于 MEMS/GPS 的微型无人机组合航姿系统研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2013.
- [13] 马特维耶夫·拉斯波波夫. 捷联式惯性导航系统设计原理[M]. 贾福利,陶冶,王兴岭,等译. 北京:国防工业出版社,2009.
- [14] MICHAEL N, MELLINGER D, LINDSEY Q, et al. The GRASP multiple micro-UAV testbed[J]. IEEE Robotics & Automation Magazine, 2010, 17(3):56-65.