

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.03.001

大型客机设计中的功能分析

Functional Analysis of Civil Aircraft Development

李浩敏 / LI Haomin

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘 要:

介绍了大型民机研制中功能分析流程及方法,采用基于 SysML (Systems Modeling Language) 语言的行为模型方式建立用例、功能流、时序关系及状态机,指导系统架构的实施,探索功能分析方法在民机研制中的应用,解决大型客机设计中的需求和接口定义的模糊性和不匹配性的问题。

关键词: 功能分析; SysML 语言; 大型民机

中图分类号: V221

文献标识码: A

OSID:



[Abstract] This paper introduces process and method of Functional Analysis in the development of civil aircraft. Use case, function flow, sequence relations and state machine were established by behavior models with SysML (Systems Modeling Language). Functional analysis is used to guide the implementation of system architecture, explore the application of functional analysis method in the development of civil aircraft design. The functional requirements and functional interface were captured and validated.

[Keywords] functional analysis; SysML language; large civil aircraft

0 引言

现代大型民机设计是高度复杂的多系统综合集成设计,具有技术密集、学科交叉、综合集成、适航验证等复杂的技术特征,研制过程投入巨大、管理复杂、时间紧、任务重。需求作为支持整个研制过程的公共基础^[1],基于需求的工程 (Requirements Based Engineering, 简称 RBE) 即是民机研制中面向安全性、面向适航建立置信度和过程保证的重要手段。

如图 1 所示的“双 V” (Validation & Verification) 研制流程,正向的民机设计过程是顶层需求不断向下分解的过程,飞机顶层需求到飞机级功能需求,再分配到系统需求及产品需求,并在整个过程中不断地确认和验证需求^[2]。

对于高度复杂系统的研制,需求作为整个研制过程的基础,产品开发过程中会遇到如下问题:

- 1) 如何保证这些海量需求的正确性与完整性;
- 2) 如何保证各方对于需求理解的一致性;
- 3) 如何解决系统间接口不清的问题;

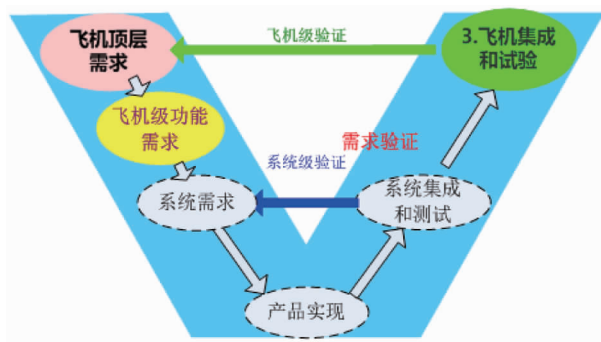


图 1 民机研制的“双 V”流程

4) 需求的确认和验证缺乏手段。

这些成为了急需设计人员解决的问题,设计需求源自功能,为解决以上问题,下文将探讨功能分析方法。

1 功能分析概述

功能分析是功能在预期场景中的行为分析,通过定义功能的运行特性,解析系统的主要工作内容和工作机理,将上层功能逐级分解成各个层级的功能,并将相应功能需求分配到这些功能层级,把相关

方的需要转换成功能逻辑架构的过程,由此提出功能性需求和内部、外部功能接口。值得注意的是,功能分析描述的行为不涉及物理层次,不会提出具体的系统解决方法^[3]。

功能分析的主要工作包括:(1)确定系统工作的边界,描述系统的任务、运行场景;(2)定义顶层功能;(3)根据运营状态组织功能逻辑关系;(4)把高层级功能分解成低层级功能;(5)评估多种功能向下分解的方式;(6)形成功能分析的基线,记录形成功能架构及功能描述文档。

2 基于模型的功能分析

基于模型的功能分析方法是基于模型的系统工程(Model-Based Systems Engineering,简称 MBSE)的重要组成部分,设计者之间通过易于理解的图形交流系统设计方案,减少因误解造成的隐患。可执行的功能模型使得在设计各个阶段都能分析系统对功能性需求的符合性,并验证系统需求是否符合利益相关方的原始需求,能加速复杂系统开发过程,减少研制错误。

建模语言、建模方法和建模工具是基于模型的功能分析过程的三大支柱。

2.1 建模语言

在特定的建模语言中定义的规则会使得模型的元素和关系更加清晰。UML(Unified Modeling Language)是针对软件工程领域的标准化建模语言,SysML(Systems Modeling Language)是UML的一种扩展,通过图形化的语言描述系统运行的过程,它是系统工程的标准建模语言,为系统的行为模型、结构模型、需求模型和参数模型定义语义。

SysML语言定义了九种基本图形来表示模型的各个方面。从模型的不同描述角度来划分,这九种基本图形分成三类:行为图、需求图和结构图。行为图包括用例图、活动图、时序图和状态机图^[4-5],结构图包括包图、内部模块图和模块定义图。如图2所示。

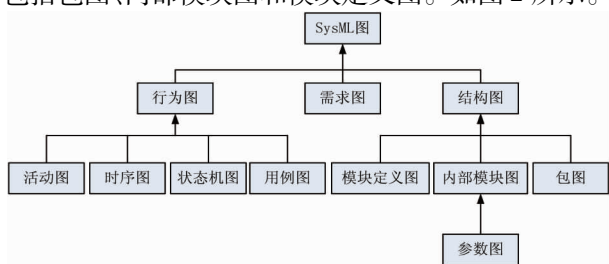


图2 SysML框图组成

2.2 建模方法

建模方法是建模团队创建系统模型要执行的以系统设计任务的合集,它确保团队中所有人按一致的方式构建模型,没有这样的指导,团队中每个成员建模的模型深度、广度和准确度方面就会有很大差别。

本文介绍基于 Harmony 的系统工程方法,一般来说,Harmony 将系统设计分为 3 个阶段,需求分析、功能分析(黑盒)和设计综合(白盒),在功能分析阶段按图3所示的方法进行建模。

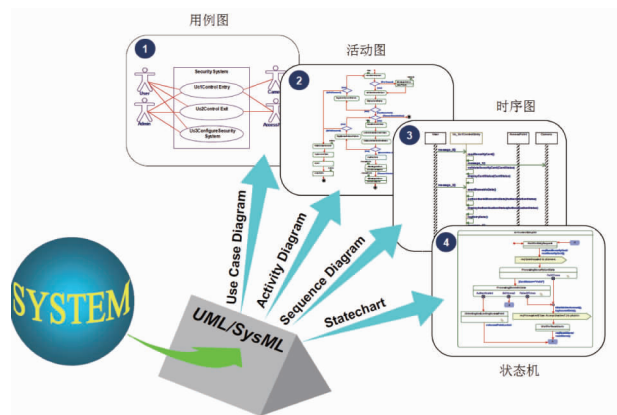


图3 基于 SysML 语言的行为建模方法

1) 根据需求分析的结果构建用例图

用例图一般会在系统周期的早期创建,它定义系统的边界和外部执行者,并将外部执行者和用例关联。

用例图是系统的一种黑盒视图,所以适合展示飞机的运行场景。对于一个给定功能/系统,可能需要考虑各种不同的场景,用来描述在不同环境和操作模式下的情况。用例可以作为需求表达的重要组织形式,可以在需求开发过程中,保证需求的正确性与完整性,同时也是基于需求测试和验证的基础。能建立完整的飞机功能用例和运行场景,对飞机系统开发有重要意义。

2) 针对每个用例,建立系统活动图

活动图描述某个用例下的功能流,包括功能运行活动、层级结构规划、决策跳转逻辑、状态条件监控、外部交互响应定义以及中断应急措施等。应对各个活动的颗粒度应充分地进行把控,应基于功能层次的考虑作出适当的抽象概括,避开物理实现和软硬件层次的具体设计。顶层活动的颗粒度应以清晰明确的方式概括性地表明系统的主要活动,底层

活动的颗粒度应细化到可以满足建模的分析要求,以支持功能分配、交联分析等。

在上述两个阶段可以建立需求矩阵,反映需求与用例之间的追溯关系以及需求与系统活动的满足关系,并进行需求覆盖率的统计。

3) 对于每个活动图,生成时序图和内部块图

时序图是采用时间序列的方式,对并排分列的目标系统和外部对象之间的信息交互关系进行描述,并对信息的内容进行确认和反馈。内部接口模块图能清晰地表征研究对象与外部交互对象的交互信息,反映功能接口信息,体现功能架构。

4) 建立状态图,运行并验证模型

状态图是根据活动图和时序图,用基于相互跳转的状态的方式来描述系统功能的模型。状态图可以进行执行运算,通过运行各个状态检验系统功能运转是否符合预期。状态图可以对功能逻辑和设计需求进行验证,确保设计早期发现问题,减少后期的迭代。

2.3 建模工具

功能建模的工具软件有很多,如 Enterprise Architecture、IBM Rational Rhapsody、Magic Draw 等,建模工具间的通用性非常重要,可以通过中间格式或软件接口实现模型的共享,摆脱对某一种工具的依赖。

3 功能分析在大型客机自动飞行系统研制中的应用

首先,根据自动飞行系统的涉众需求确定系统的用例,确定系统的边界和外部交互对象,图 4 展示了自动着陆用例,该用例包括多个外部相关的交互对象,具体的接口信息将在下文中体现。

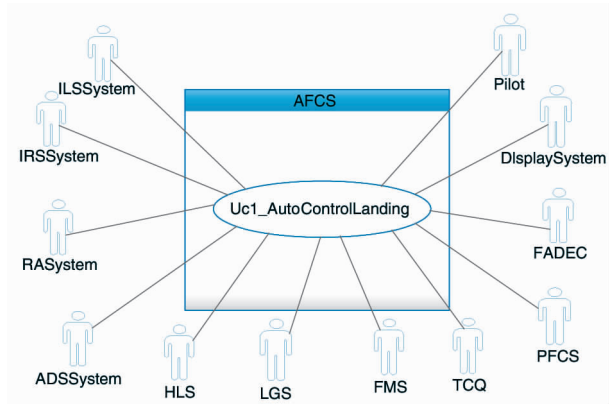


图 4 自动飞行系统的用例分析

针对每一用例,通过活动图可以直观地展示功能流的运转情况,表征自动飞行系统在自动着陆过程中的功能运行活动、层级结构规划、决策跳转逻辑、状态条件监控和外部交互响应等,如图 5 所示。

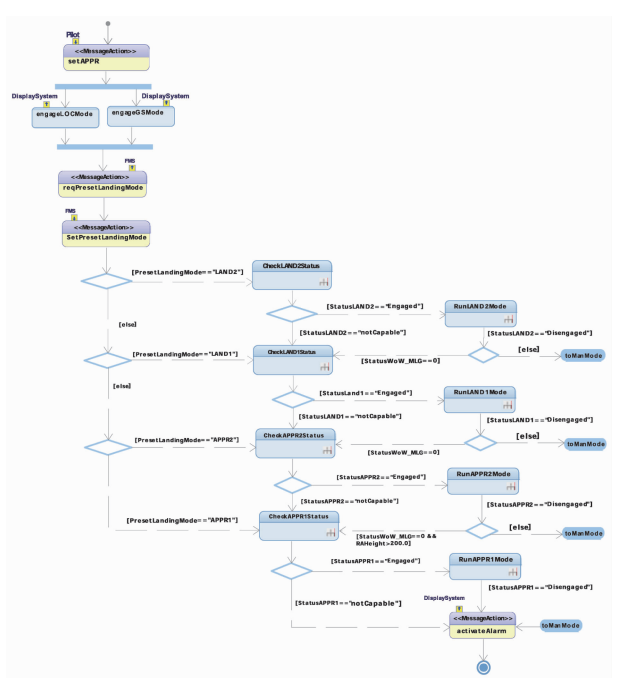


图 5 自动飞行系统的活动图

在用例图和活动图完成后,可以对模型进行需求覆盖率分析,需求覆盖率分析包含关联关系分析和满足关系分析。关联关系相对简单,只需把所有功能性需求关联到对应的用例即可,满足关系则需要把每条功能性需求链接到模型中相应的活动、事件和属性参数上,再建立需求矩阵。

图形化的显示可以直观地反映需求的覆盖率,如图 6 所示,导入的 431 条需求中有 353 条关联到了自动着陆用例,覆盖到该用例的需求比例为 82%。

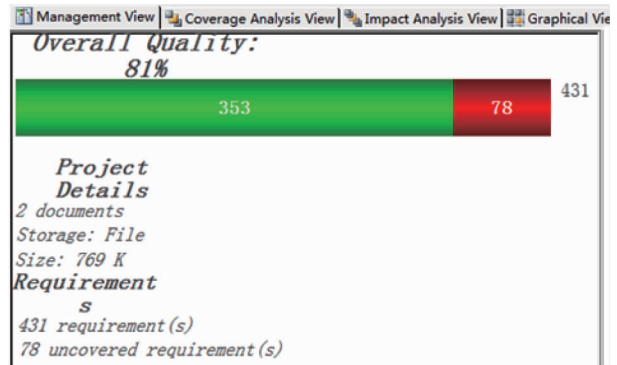


图 6 自动飞行系统的需求覆盖率分析

基于活动图,可以用生命线的方式建立自动飞行系统和各相关系统的交互关系,形成时序图。它一般反映了系统在活动图中沿着某一条或者多条特定的路径下的各种内外部运行活动。如图 7 所示。

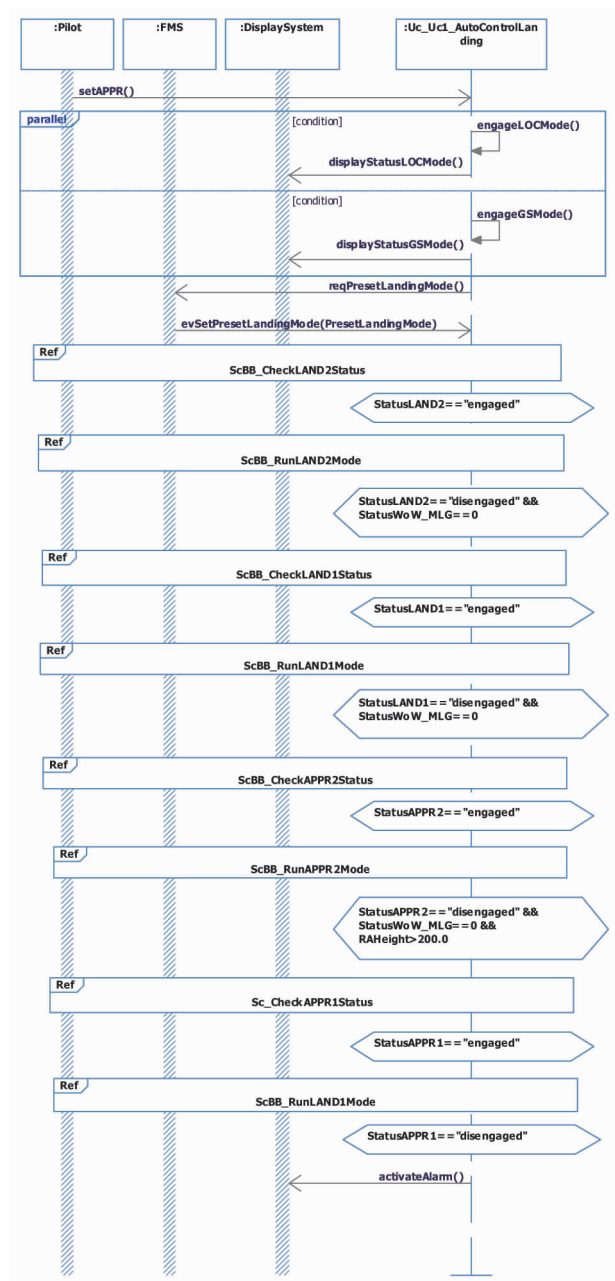


图 7 自动飞行系统的时序分析

在黑盒阶段可以根据创建好的用例图、时序图自动生成内部模块图,它反映的是系统和外部交互对象间的接口关系,此时,时序图中的交互信息已经在接口中体现。如图 8 所示。

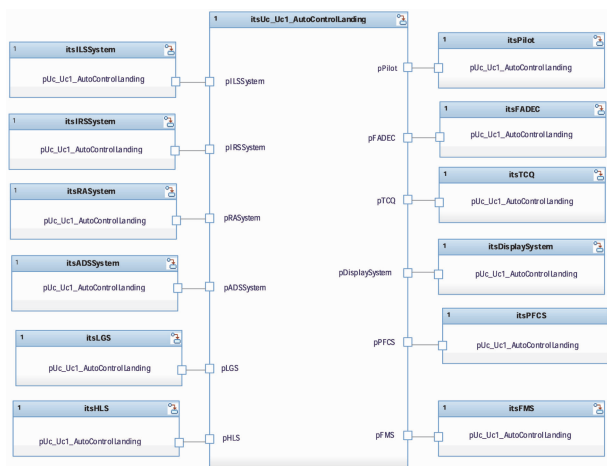


图 8 自动飞行系统的内部模块图

最后,用状态机图从机器运转的角度对系统进行阐述,如图 9 所示,可执行的状态机图可以有效地对功能逻辑、功能接口进行虚拟验证,以便在设计初期及早发现问题,减少后期的更改。

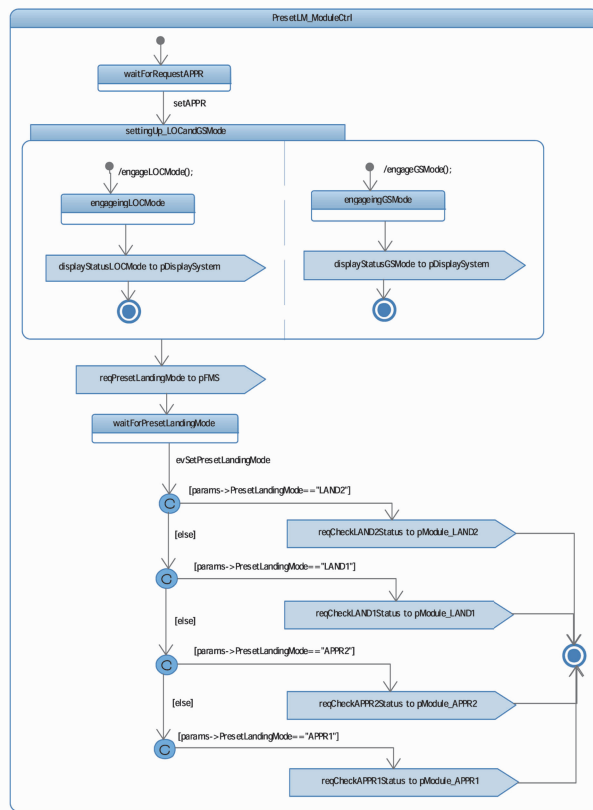


图 9 自动飞行系统的状态机分析

此外,在后续的设计和架构综合中,还可以按需采用参数图、模块定义图来进行系统的约束和架构的分析。

4 结论

针对民用飞机研制特点与研制需求,阐述了大型客机中的功能分析工作,详细介绍了功能分析、基于模型的功能分析等内容,及其在大型客机研制过程中的应用情况。实践表明,功能分析为复杂产品的自上而下的正向设计提供了很好的基础,保证了民机研制过程中需求的正确性和完整性、各方对需求理解的一致性以及系统间接口完整清晰,对大型客机项目取得研制、市场和商业成功具有重要意义。

参考文献:

[1] Society of Automotive Engineers. Guidelines for development of civil aircraft and systems; SAE ARP 4754 A[S]. [S. l. ; s. n.], 2010.

[2] 郭博智,李浩敏. 大型客机设计中的需求管理[J]. 民用飞机设计与研究,2013(4):1-5.

[3] BISHOP C. System engineering fundamentals[M]//Modeling and simulation in the systems engineering life cycle. London: Springer, 2001:257-271.

[4] International Council on Systems Engineering. Systems engineering handbook: a guide for System life cycle processes and activities[M]// SEBoK. Hoboken, NJ, USA: John Wiley and Sons, Inc, 2015.

[5] Federal Aviation Administration. FAA NAS systems engineering manual[M]. [S. l.]; Federal Aviation Administration, 2006.

作者简介

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