

飞机顶层需求捕获经验介绍

The Top Level Aircraft Requirements Capture Experiences Summary

李慧颖 Susan Ying / Li Huiying Susan Ying

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

飞机顶层需求是飞机研制过程的关键环节。长期以来,对飞机研制中的需求捕获和分析工作一直用自然语言定性或定量地描述,主观因素较多。采用系统工程过程思维,对需求捕获经验进行了描述,通过过程控制来保证最终获得的飞机顶层需求文件的完整性、全面性、正确性和可实施性。

关键词: 系统工程;需求捕获;客户需要;需求;研制过程;飞机

中图分类号: F273.2

文献标识码: A

[Abstract] The top level aircraft requirements (TLAR) development is the most critical part for the aircraft development processes. Normally, qualitative or quantitative natural language is used for requirements description. This paper adopts system engineering process, describing the experiences concluded during the requirements capture process. It aims to guarantee the TLAR document is comprehensive, integrated, correct and can be implemented via process control.

[Key words] systems engineering; requirements capture; customer needs; requirements; development processes; aircraft

0 概述

随着新技术的发展,民用飞机系统复杂度在不断地提高,给研制工作带来巨大的挑战。能否提供满足客户需要的飞机决定了项目的成功与否。因此,全面地、正确地捕获客户需要至关重要。系统工程是从整体出发,合理开发、设计、实施和应用的工程技术。系统工程专注于项目开发早期,在正式立项前就与客户一起捕获和定义客户需要,将需要转化成飞机需求并文件化;然后综合考虑运行、成本、进度、性能、培训、试验、制造和退出等问题,进行设计综合和系统确认。本文以飞机顶层需求捕获工作为例,介绍系统工程在需求捕获工作中的应用。

为了更好的表述顶层需求捕获过程,本文对需要和需求分别定义如下:

(1)需要(Needs):需要通常是定性的,有时候甚至不能确定其是否具有可实现性,需要不是产品

需求。系统工程师、型号研制者与客户一起工作,通过权衡研究和分析等方法,将客户需要转化成产品需求。

(2)需求(Requirements):需求是对产品必须具备的性能或设计约束的描述。需求的一大特征是其必须具有可验证性。

1 飞机顶层需求的理论研究

1.1 《商用飞机系统工程》中飞机需求的理解^[1]

Scott Jackson 在《商用飞机系统工程》一书中写到:飞机需求主要包含外部需求和内部需求两大类,再进一步细化,外部需求来源于客户和局方,内部需求来源于技术驱动、生产制造驱动、可靠性驱动、主机所驱动等一些列因素。

客户需要处于飞机设计经典 V 字模型的最左上角,它代表的是客户的强制要求、期望或建议,不是产品需求。客户需要首先被转化成飞机顶层需求,然后才可以层层分解,向下分配,成为系统级、

子系统级或软、硬件需求。

对于如何确认飞机顶层需求已经捕获完整的问题,Scott Jackson 是这样解释的:答案就是取决于客户(包括局方),当客户说需求已经捕获完整时,就认为需求是完整的。对于民用飞机而言,航空公司是最大的客户。

在《商用飞机系统工程》一书中对需求的分类还有另外一种介绍:适航需求和经济性需求。适航需求来源于局方,与飞机安全息息相关;经济性需求由航线客户驱动,主要与购买飞机的成本、飞机运营、维修和服务相关。大部分的经济性需求来源于客户需要,客户需要的是可以盈利、赚钱的飞机。

1.2 《系统工程基本原理》中客户需要的理解^[2]

在《系统工程基本原理》一书中对客户需要的定义是:描述了整个生命周期内客户对产品期望的环境中工作效果的要求和目标。狭义来看,在民用飞机领域就是客户(航空公司等)对飞机在运营环境中可以安全、有效工作,为航空公司盈利的要求和目标。主机所需要与客户保持持续地联系,通过对话不断明确任务,更好地理解需求、实施设计、综合集成和试验验证,一次达成目标。

系统工程的主要目的是将客户需要转化成产品需求和技术需求,并且将这一需求传递给下一层级的系统。客户需要主要包含任务目标、环境和约束条件几方面,强调运营者为关键客户。约束条件是由外在的客观因素导致的限制,例如:环境要求、技术可行性、公司知识积累等。

1.3 INCOSE 系统工程手册参考^[3]

INCOSE 系统工程手册中对利益攸关方需求定义过程进行了单独介绍。包括:识别产品整个生命周期的利益攸关方或利益攸关方类别,及其需要、期望和愿望,分析并将原始/初始的期望转化为利益攸关方需求,并定义运营环境。典型的利益攸关方包括:客户、运营者、决策机构、局方和研发机构等。

捕获用户需要是一个项目的开始,定义用户需要通常开始于 Exploratory Research (型号立项前的研究阶段)阶段,一直持续到概念和工程研制阶段。

典型的输入包括:

(1)新的或者更新的客户需要、需求、目标。形式为:任务描述、运营概念文件, MOEs, 技术性能、使用环境和约束条件。

(2)专业技术、关键技术、性能、成本、风险、构型、合同要求、技术目标、客户会议记录。

1.4 NASA 系统工程手册参考^[4]

根据 NASA 系统工程手册,明确利益攸关方的期望是系统工程的初始流程,利益相关者可以分为客户和其他关注团体。利益攸关方期望包括:任务目标、约束条件、设计方向、运行使用目标和任务成功准则。

客户是那些直接接受产品或服务的人。

2 推荐的民用飞机顶层需求捕获过程

参考上述理论研究以及实际型号工作经验,推荐的民用飞机顶层需求捕获过程及内容总结如下。

2.1 明确飞机需求层级定义

需求捕获工作开始之前,需要明确项目中需求文件的体系架构和层级关系,定位好客户需要和飞机顶层需求的关系。本文推荐的需求层级关系如图 1 所示,本文仅关注客户需要和飞机顶层需求这一个层级。

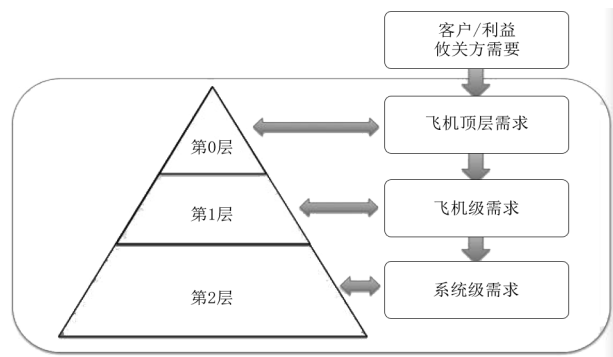


图 1 飞机需求层级关系图

2.2 定义飞机顶层需求捕获、分析过程

1) 捕获定义客户需要

(1)识别型号整个生命周期内的利益攸关方或者利益攸关方的大的类别;

(2)捕获利益攸关方的需要、期望和期待等。

2) 捕获定义飞机顶层需求

(1)对利益攸关方的需要进行分析,将其转化为利益攸关方需求,即飞机顶层需求;

(2)飞机顶层需求和客户需要的链接。

2.3 推荐的利益攸关方

典型的利益攸关方包括使用者、操作者、做决定的组织、局方、主机所、其他支持组织等。当不能

一一与利益攸关方进行谈话、沟通和交流时,可以通过市场或政府机构等组织进行需求捕获。

对于利益攸关方的识别可以用头脑风暴、功能流分析的方法来确定。

考虑到民用飞机的特殊性,推荐的利益相关者类别定义如图2所示,具体分类描述如下:

(1) Customer(客户)分类:包括航空公司、驾驶员、乘客等。

(2) Operational(运营)分类:包括空中交通管制、机场等。

(3) Market(市场)分类:包括市场竞争性驱动的需要等。

(4) Training / Services(培训/服务)分类:包括飞行机组、客舱服务人员、地面服务人员、乘客等。

(5) Maintenance(维修)分类:包括维修人员、第三方维修公司等。

(6) OEM / Suppliers(主机所/供应商)分类:包括主机所的战略、公司政策、供应商合作等。

(7) Regulatory(适航条款)分类:包括 CAAC/FAA/EASA 等适航条款、咨询通告要求和其他适用的标准等。

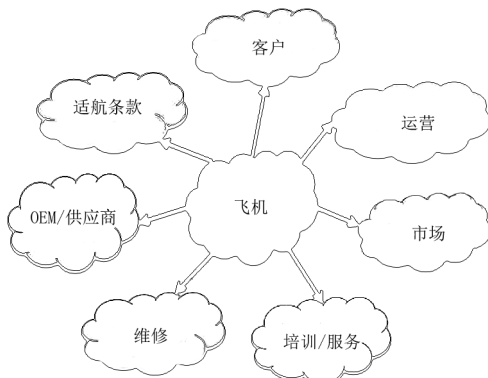


图2 利益相关者类别定义

2.4 推荐的捕获方法

可以采用采访、交流、调查问卷等方法捕获利益攸关方需要、期望和期待。参考波音777飞机并结合实际型号研制经验,推荐的捕获方法为:建立需求捕获团队,各个利益攸关方代表加入到团队中,尤其是首家客户和主要客户应有专职人员参与到团队,与需求捕获团队面对面工作,更好地完成需求捕获和确认。另外,对于主机所而言,需要设置客户代表,根据实际工作需要,定期或不定期拜访客户,深入了解客户需要。

3 飞机顶层需求文件架构总结

在客户/利益攸关方需要的基础上,结合飞机整个生命周期的特点,通过质量功能展开(QFD)等方法将粗略的客户/利益攸关方需要转化为飞机顶层需求,推荐的飞机顶层需求文件架构包括如下几个方面:

(1) 市场需求,包括产品定位、目标市场、投入市场的时间和系列化发展需求等;

(2) 经济性需求,包括与飞机研制相关的运营成本、燃油消耗、单机成本和研发成本等;

(3) 环境需求,包括飞机内外噪声、排放和振动等;

(4) 商载航程需求、性能需求、重量需求;

(5) 舱室需求、系统选用需求,包括发动机和其他系统;

(6) 合格审定需求、安全性需求和制造需求;

(7) 主制造商/供应商需求,包括公司策略、设计指导、标准、规范、方法和流程等;

(8) 运营要求,包括运营性能、可靠性需求、维修性需求、地面服务需求、培训需求和机场设备设施需求等;

(9) 客户服务和担保。

4 总结

飞机顶层需求作为产品需求的最高层级,向上追溯到利益攸关方需要,直接反映客户等利益攸关方的要求和期望;向下层层分解,最终融入到产品的软硬件设计。因此能否全面、正确、清晰地捕获到可以被确认和验证的顶层需求,对于项目成功与否至关重要。飞机顶层需求文件本身固然重要,然而,需求捕获过程中的人员、组织、角色、职责和具体指标的权衡分析工作,以及由此形成的过程和方法更为重要。本文从理论和实际经验出发,概述了飞机顶层需求捕获工作的思路和范围,而对其中更为深入的指标权衡分析,例如:成本分析、风险分析、重量分析等没有具体阐述,这也是作者后期的重点研究方向。

参考文献:

- [1] Scott Jackson. Systems Engineering for Commercial Aircraft [M]. Second Edition. England: Ashgate Publishing

Limited, 2015.

[2] Defense Acquisition University. System Engineering Fundamentals [Z]. Jan. 2001.

[3] SE Handbook Working Group International Council on System Engineering (INCOSE). INCOSE-TP-2003-002-03. 2. 2

System Engineering Handbook [S]. Oct. 2011.

[4] National Aeronautics and Space Administration NASA Headquarters. NASA System Engineering Handbook [EB/OL]. Dec. 2007.

(上接第 71 页)

“自动着陆”用例(UC2_Autoland)主要描述了自动飞行系统在着陆阶段的自动控制功能,图 3 是自动着陆场景用例的顶层逻辑状态图,着重于仪表导引着陆过程中的各种导引模式逻辑以及自动/人工驾驶模式的控制。前置条件是飞机下降结束,盘旋等待中,准备进入进近程序中;后置条件是在飞机退出自动近进或者自动着陆模式,进入人工操控,此时对于 LAND2、LAND1 两种子模式来说,可以引导到地面跑道上,对于 APPR2、APPR1 两种子模式来说,可以自动引导到近地面一定的高度。用例描述了自动飞行系统在仪表着陆导引下的四种精密进近和着陆模式的选择,这些模式之间从 LAND2→LAND1→APPR2→APPR1 成降级序列,根据飞机的系统能力不同和飞行员的设置选择,可以进行降级切换,不同程度上导引飞机的进近和下降。每一个模式的功能均包含了硬件配置检测逻辑、主运行模块、能力监控逻辑、模式退出/任务完成逻辑等,其中硬件配置的检测逻辑主要是出于安全性的考虑对系统设备,特别是传感器的冗余进行分析判断。

本研究中,功能建模工具选用了 IBM 公司的 Rational Rhapsody 商业软件,该软件可构建各种图例,包括需求分析矩阵、功能分析四类基本框图,以及综合架构和权衡分析等模块。本研究中建立的模块如表 1 所示,其中功能分析包含了黑盒和白盒阶段。

4 功能建模设计总结

以上分析和讨论表明,基于模型的系统工程(MBSE)适用于民用飞机自动飞行系统的功能分析与架构权衡过程,通过规范建模仿真的标准,充分联系系统的功能与运营的实际需要,能有效地表明系统功能在各种运行决策、人机交互和外部环境中的变化,指导后续的设计。系统级功能结构化设计需要充分考虑静态和动态特性,把握飞机及其系统的各种运行场景,对各种外部对象、应用用例、功能定义、关联时序和状态跳转进行逻辑化的表达和确认。该研究

检验了飞行导引控制系统、自动推力、自动着陆、机组通告及告警等功能正确性和完整性,为设计实现和软硬件架构提供良好的参考和对照。

表 1 使用 Rational Rhapsody 构建的模块列表

阶段	内容构成	用例	
		TakeOff AndInAir	Autoland
黑盒	用例图	包含	包含
	活动图	包含	包含
	时序图	包含	包含
	状态图	包含	包含
	内部模块交互图	包含	包含
白盒	活动图(带泳道)	包含	包含
	时序图	包含	包含
	状态机	包含	包含
	模块定义图	包含	包含
	内部模块交互图	包含	包含
合成	集成架构图	包含	包含
需求分析	Trace 关联	包含	包含
	Satisfaction 关联	包含	包含
	需求关联矩阵	包含	包含
	需求覆盖率统计	包含	包含

参考文献:

- [1] ARP4754A Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems[S]. SAE,2010.
- [2] System Engineering Manual[S]. Federal Aviation Administration, 2006.
- [3] Scott Jackson. System Engineering for Commercial Aircraft [J]. Gower Technical,1997.
- [4]陈奎兆,王江云.飞行仿真器自动飞行系统研究[J].系统仿真学报,2006,18(2):706-709.
- [5]李庆.飞机开发技术的全新突破——基于模型的系统工程[J].航空制造技术,2011,12(12):48-53.