

航电系统开发过程中的权衡研究

Trade Study during Avionics System Development Process

赵净净 徐见源 / Zhao Jingjing Xu Jianyuan

(上海飞机设计研究院, 上海 200235)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 200235, China)

摘要:

航电系统的开发既要满足系统需求、保证系统完整性、达到系统安全性目标, 同时还要满足相关条例、公务要求和商业要求。而这些要求往往相互制约、相互冲突, 这就使得权衡研究在航电系统的开发过程中成为一项必不可少的工作。阐明了权衡研究在航电系统开发过程中的必要性和重要性; 然后说明了权衡研究在航电系统开发过程各阶段中的作用; 接着分析了权衡研究应遵循的过程; 最后, 将权衡研究分析方法中的效用曲线法应用到了航电系统的网络权衡中, 并提出航电系统开发过程中如何进行权衡研究的一些建议。

关键词: 航电系统; 权衡研究; 权衡研究分析方法

[Abstract] During the development process, avionics system shall meet the system requirements, ensure system integrity, meet system safety objective. Also, avionics system is driven by regulatory, business requirement and commercial requirement. However, these requirements are mutually effected, which resulting the trade study to be the necessary activity in the avionics system development process. This paper firstly illustrates the necessary and importance of that apply the trade study in avionics system development process. Secondly, functions that trade studies are conducted in avionics system development process are illustrated. Third, analyze the process that trade study shall follow in. Lastly, an example of trade study analysis methodology called Utility Curve applied in avionics network and the advice of trade study during avionics development process was given.

[Keywords] Avionics System; Trade Study; Trade Study Analysis Methodology

0 引言

民用航空电子系统(以下简称航电系统)是现代客机和公务飞机的关键组成部分, 它们为繁忙的商业航线的飞机操作提供导航、人机接口和外部通信等必不可少的功能^[1]。在市场和技术的驱动下, 航电系统在日益复杂化、高度集成化、技术尖端化的同时, 也给系统开发带来了更大的复杂性和困难。既要满足系统需求、保证系统间的相互关系、达到系统安全性目标、保证系统完整性以及其他很多因素, 同时还要满足相关条例、公务和商业要求, 这些要求都使航电系统处在一个必须认真权衡研究各种因素的环境中^[2]。

国外已开始对权衡研究进行理论分析, 并且有将这些研究结果应用在民机上的先例^[3-4]。但在国内, 尚未开展权衡研究在民机开发过程中的应用。

本文首先阐明了权衡研究在航电系统开发过程中的必要性和重要性; 然后说明了权衡研究在航电系统开发过程各阶段中的作用; 接着分析了开发权衡研究应遵循的过程; 最后将权衡研究分析方法中的效用曲线法应用到了航电系统的网络权衡中, 并提出航电系统开发过程中如何进行权衡研究的一些建议。

1 权衡研究在航电系统开发过程中的必要性和重要性

航电系统开发是一项复杂的系统工程, 既要满足系统需求、保证系统性能、控制研制进度以及研制费用等很多因素, 同时还要满足相关条例、公务和商业要求, 这些都使权衡研究成为必需。在权衡研究过程中, 将考虑上述的需求、性能、研制进度、研制费用等因素, 确定出所有合理的可选方案, 然后使用权衡研究中定义的一组标准, 对上述的可选方案进行评估, 选择最优方案。航电系统开发实际上是在各设计阶段和各设计层次上对相互冲突的目标进行权衡的过程^[3], 同时也是充满各种决策的过程^[4]。

航电系统开发本身是由多组权衡和综合组合而成的有机整体, 其复杂性随着可获得的设计选择数量和子系统规模的增加而增加^[5]。航电系统开发过程中“信息-自由度-花费费用”变化情况如图1所示。从图1可以看出: 航电系统在概念设计阶段, 所需费用较少, 可用信息较少, 而设计自由度最大, 这种情况就需要对多种可选方案进行权衡研究, 作出较好的、有依据的决策, 选择出最优的解决方案; 随着航电系统开发的进行, 设计

自由度减小而设计信息量、所需费用逐渐增加，这种情况，面临费用约束条件的限制和庞杂的信息量，在做决策时，仍需要权衡研究，合理有效地分析已有信息，考虑约束条件，在设计自由度较小的情况下也能作出正确的决策，选出最优的解决方案。

所以，在航电系统开发过程的每个阶段，做出的很多决定都需要权衡研究来支持。

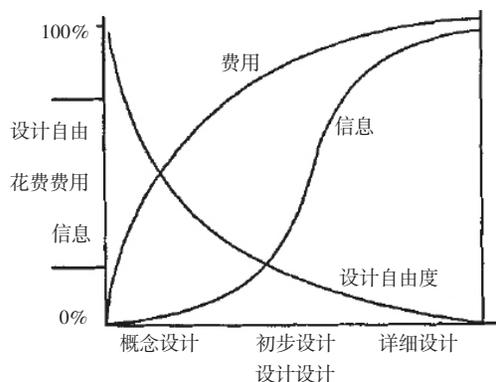


图1 航电系统设计自由-信息-费用变化状况

2 权衡研究在航电系统开发过程各阶段中的作用

基于SAE ARP 4754对复杂系统设计的考虑，航电系统开发过程如图2所示。随着航电系统需求分析的进行，航电系统各项功能逐渐形成并分配到子系统，接下来是建立系统架构，之后是将部件需求分配到硬件和软件，最后是航电系统实现。

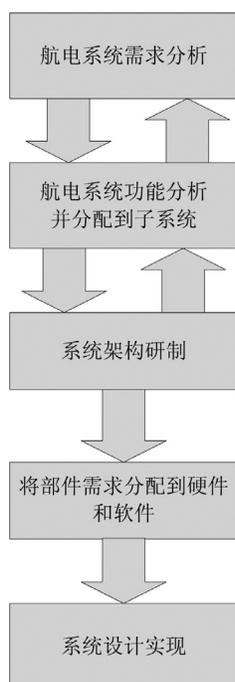


图2 航电系统开发过程

根据系统工程学，权衡研究在航电系统开发过程的每个阶段中都起了重大作用。

在需求分析过程中，需求的确定需要考虑各种需求和约束条件。而权衡研究在该过程中对性能需求和功能需求进行权衡分析和研究，以解决各种因素之间的冲突，满足客户的需求。

在航电系统功能分析和分配过程中，功能的确定需要考虑接口需求、指定的设备、功能划分、需求逐层分解和构型项等方面。权衡研究在该过程中，支持功能分析；根据功能接口，定义一套满足要求的性能需求；支持性能需求的分配；解决性能需求和功能需求分配时遇到的困难和冲突；评估所有可选的功能架构。

在设计集成过程中，为了使成本、项目进度、性能和风险之间达到最优，可使用权衡研究对可选的方案进行评估。权衡研究在该过程中，比较新研和货架产品，决定采用哪种产品；在选择系统概念、设计和解决方案时，解决期间出现的冲突；衡量可选的技术是否满足功能和设计需求；权衡材料和过程对环境成本的影响；评估可选的物理架构；权衡部件、技术、服务和设备的选择，以减少系统的生命周期成本；以及在开发或自研等其他方面进行判断时进行权衡。

3 航电系统开发过程中的权衡研究过程

3.1 权衡研究过程基础

权衡研究是一个过程，该过程检查各种可行的方案，以决定哪种方案是最优方案。在权衡研究过程中，首先最重要的是制定一个公认的标准作为做决定的基础。其次，需要有一个统一的方法来衡量这些可行的方案。若按照这些原则，根据权衡研究得到的决定则是合理的、客观的、可重复的。最后，对于客户或决策者来说，权衡研究的结果应是容易理解的。若该结果太复杂不容易理解，则这个权衡研究过程就不能及时地做出决定。

3.2 权衡研究过程

在航电系统开发过程中，权衡研究过程采用系统工程学方法，如图3所示。该过程包括问题定义、问题约束、建立权衡方法、选择可行的解决方案、确定每个可行方案的关键特性、评估可行方案，最后选择一个解决方案。

建立权衡研究分析方法是其中一个重要的过程，包括选择比较的数学方法、用于比较的开发标准和量化标准以及确定权重因子。使用恰当的模型和方法能保证权衡研究的合理性、客观性和可重复性。（所选择的权衡分析方法在对各种可行性方案进行比较时，应尽可能的基于对客户和开发者具有真正的好处。在做权衡研究分析时，各种因素关系的确定应当是一种比例的、合理的

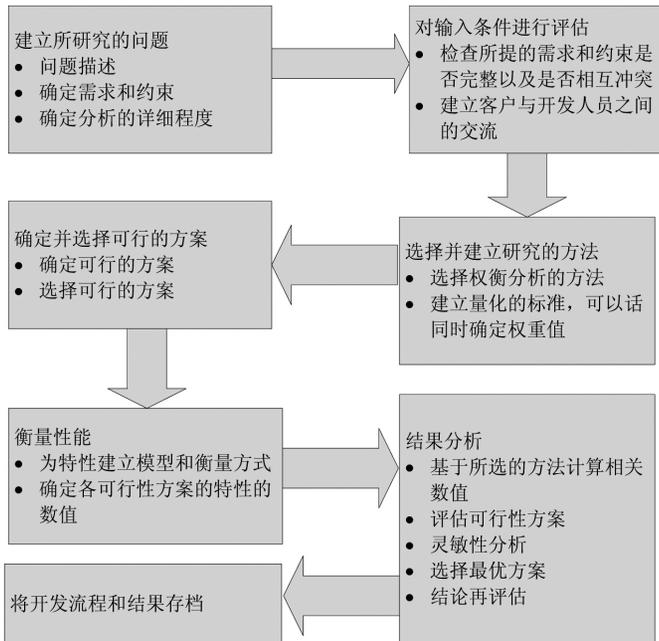


图3 权衡研究过程

关系。例如，在使用“效用曲线法”进行权衡分析时，必须要明确所选的“效用”和“权重”值是基于什么的，同时它们代表了系统什么样的实际性能。）

另一个重要的阶段是评估可行方案。在该阶段中，将产生一个权衡矩阵，该矩阵用来比较可行方案、灵敏度分析、选择一个优化的可选方案、以及可行方案和权衡研究过程的再评估。由于权重因子和某些量化数据可能有随机性，所以灵敏度分析很关键。若由于输入数据的相关微小变化会引起解决方案的改变，那么这个研究是无效的，应评审和修改采用的方法。当以上这些任务完成后，选择一个解决方案，建立文档并存储在数据库中。

其他阶段对于整个权衡研究过程也是非常关键的，在实际的开发过程中，应以客户和开发者的利益为出发点，进行各个因素的考虑和权衡。

4 航电系统开发过程中使用的一种权衡研究方法——效用曲线法

由于权衡研究在系统开发中的必要性和重要性，国外对权衡研究特别是权衡研究方法做了理论研究。研究的方法主要有：集成产品和工艺设计(integrated product and process design, 简称IPPD)、蛛网图法(spider chart)^[6]、多目标决策方法^[6-7]、技术边界法、遗传算法^[8-11]、模糊数学及博弈论方法^[12]、模糊优选理论、正交设计法、质量功能配置(QFD)理论^[13]。国外有将这些研究结果应用在民机上的先例。但在国内，尚未开

展权衡研究方法在民机开发过程中的应用。

下面，作为一个实例，将权衡研究方法中的效用曲线法应用到航电系统的网络权衡中。

4.1 效用曲线

在该方法中，将权衡研究的每一个需要考虑的因素进行规格化。在航电网络中，需要考虑的因素有网络的完整性、可用性以及传输速率等。以其中某一因素规格化值为输入，以相应产生的效用值为输出，形成一条曲线，即为效用曲线，如图4所示。该因素的效用曲线可以清晰地表明该因素不同规格化值对效用值的影响程度。该曲线可以是定值关系（直线）、渐增值关系（凹曲线）、渐减值关系（凸曲线）或者阶跃值关系。而根据每个因素的效用曲线，可以清晰地比较各个因素对效用值的影响程度。

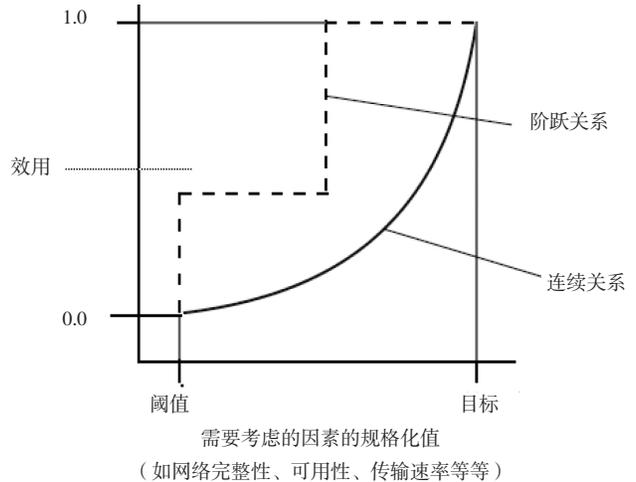


图4 效用曲线

4.2 决策矩阵

各个需要考虑的因素之间是相互关联的，这种关系可以用关系值来表示。这种关系值可以用来确定每个需要考虑的因素的权重因子，而权重因子区分了每个需要考虑的因素的优先级，实现了各个因素的直接比较。

决策矩阵的作用是评估可行方案并选出最佳方案，如表1所示。在表1中，考虑的因素有网络的完整性、可用性和速率三个因素，其中网络的完整性的权重因子是2.0，可用性的权重因子是1.0，速率的权重因子是2.5；效用值是4.1节中得到的值。在计算过程中，每个因素的效用值与相应的权重因子相乘得到该因素的加权值，每个可行方案的三个因素的加权值相加，则可以得到每个可选方案的评估分数。评估分数最高的可选方案就是最佳的可选方案。从表1中数据可以看出，第三种可选方案即为最佳方案。

(下转第72页)

通过仿真可知,飞机在进场姿态下,驾驶员正前方1200ft处照度为4.5lx;在触地姿态下,驾驶员前方400ft处照度为35lx;在滑行姿态下,驾驶员前方300ft处照度为11lx。

5 结论

着陆灯角度的设计是民用飞机照明系统的重要设计环节,本文介绍的以主起落架旋转点为参考基准的着陆灯系统安装角度计算方法思路清晰、计算简单、实用性

强,对民用飞机照明设计具有一定参考价值。

参考文献:

[1] SAE International Group. Landing and Taxiing Lights – Design Criteria for Installation. Rev C.
[2] 北京照明学会照明设计专业委员会.照明设计手册[M].北京:中国电力出版社,2006:188-193.
[3] 郑作棣.运输类飞机适航标准技术咨询手册[M].北京:航空工业出版社,1995:F56-F57.

(上接第12页)

表1 航电系统网络权衡的决策矩阵

因素	完整性		可用性		速率		总值
	Wt. =2.0		Wt. =1.0		Wt. =2.5		
	U	W	U	W	U	W	
可行方案							
网络方案1	0.8	1.6	0.7	0.7	0.6	1.5	3.8
网络方案2	0.7	1.4	0.9	0.9	0.4	1.0	3.3
网络方案3	0.6	1.2	0.7	0.7	0.8	2.0	3.9
网络方案4	0.5	1.0	0.5	0.5	0.9	2.25	3.75
U=效用值							
W=权重值							

4.3 灵敏度分析

表1也反映了效用曲线法存在的一个问题。在该方法中,效用曲线和决策矩阵中的权重因子都是可以变化的,有一定的随机性。表1中,三个网络方案1、3、4的评估分数都在3.8左右,即对于效用曲线或者决策矩阵中的权重因子,若有一点变化,可能导致最佳方案选择的变化。所以,类似于表1这种情况,应该进行灵敏度分析,研究随着效用曲线和权重因子的变化,最佳方案的选择是如何变化的。决策者应根据研究结果修改评估标准,消除评估标准对微小变化的敏感度。

针对表1中存在的问题,一种简单的解决办法就是将各个需要考虑的因素的权重因子进行再评估。再评估的标准是:权重因子相较以前更能为客户带来收益。比如,在实例中,客户更关心的是网络的传输速率,应将速率的权重值增大,则第四种方案将为最佳方案。

在开发或者修改效用曲线和决策矩阵的权重因子时,最关键的是要与客户和决策者进行沟通。很多需要灵敏度分析的问题,不会像表1所示的那样明显。在各可选方案的最终评估分数中,不应有明显的灵敏性。因此为了确保权衡研究的生存能力,在权衡研究中应坚持进行灵敏度分析,以检查权衡研究中所选方法是否正确。

5 结论

本文首先阐明了权衡研究在航电系统开发过程中的必要性和重要性;然后说明了权衡研究在航电系统开发过程各阶段中的作用;接着分析了开发权衡研究应遵循

的过程;最后将权衡研究分析方法中的效用曲线法应用到了航电系统的网络权衡中,并提出航电系统开发过程中如何进行权衡研究的一些建议。

通过上述分析和研究,表明权衡研究在航电系统开发过程中具有重要意义,是确保航电系统满足适航要求和用户需求、保证飞机型号成功的一种有效方法。

参考文献:

[1] Ian Moir, Allan Seabridge. Civil Avionics System [M]. B. London and Bury St Edmunds, UK: Professional Engineering Publishing, 2003:xvi.
[2] Ian Moir, Allan Seabridge. Civil Avionics System [M]. B. London and Bury St Edmunds, UK: Professional Engineering Publishing, 2003:33.
[3] Mavris D N, DeLamaais D. An integrated approach to military aircraft selection and concept evaluation [R]. AIAA 953921,1995.
[4] Raymer D P. Aircraft design: A concept approach [M]. AIAA Education Series, 1992.
[5] 解建喜.飞行器顶层设计决策权权衡研究[C].中国航空学会青年科技论坛文集,1999.
[6] Kirby M R, Mavris D N. A method for technology selection based on B benefit, available schedule and budget resource [R].SAE 2000-01-5563, 2000.
[7] Cartagena M A, Rosorio, J E, Mavris D N. A method for technology identification, evaluation and selection of aircraft propulsion system[R]. AIAA-2000-3712,2000.
[8] Toch B, German B, Mavris D. Adaptive selection engine technology solution sets from a large combinatorial space[R]. AIAA 2001-3208,2001.
[9] Mavris D N, Mantis G, Kirby M R. Demonstration of a probabilistic technique for the determination of economic viability[R]. AIAA-97-5585.
[10] Mavris D N, Delaurentis D A. A stochastic design approach for aircraft affordability [R]. ICAS Paper 98-6.1.3, 1998.
[11] Mavris D N, Soban D S, Largent M C. An application of a technology impact forecasting method to an uninhabited combat serial vehicle[R]. SAE 99-01-5633,1999.
[12] Hacker K. Comparison of design methodologies in the preliminary design of a passenger aircraft[R]. AIAA 99-0011, 1999.
[13] Future aircraft technology enhancement[R]. A report by Boeing-Phantorn, 1997.