

基于模型的民机适航要求自动捕获方法

刘泽林, 张方

中国商用飞机有限责任公司上海飞机设计研究院, 上海 201210

摘要 民机型号设计任务中包含的适航要求往往种类多、数量大,如果在型号研制初期不能准确、完整地捕获相关适航要求,将会造成后期因不满足相关适航要求而导致设计方案的更改和设计过程的反复。提出了一种基于模型的民机适航要求自动捕获方法,包括建立设计任务模型以形成对不同型号设计特征的统一表达,建立适航条款约束模型以支持对适航要求的语义描述,在建模基础上分析两者之间的映射规则,并开发相应的检索算法,以根据当前设计任务中包含的型号设计特征自动捕获其适用的适航条款要求。根据理论方法进行相应的软件实现,并通过飞机燃油系统设计特征实例检索过程验证了方法的可行性。

关键词 民机;适航;适航条款;模型

民机(民用运输类飞机)型号研制必须遵循适航规章要求,只有满足适航要求的民机型号才能进入市场。中国的适航规章CCAR-25部(中国民用航空规章运输类飞机适航标准)^[1]标准级别等同于美国的FAR-25部(联邦航空条例),内容覆盖民机产品全生命周期的各个阶段,包括功能性要求、操作要求、性能要求、物理和装配要求、维修要求等^[2],是中国民机型号按照国际标准水平进行设计研制的重要保证。然而,由于适航要求种类多、数量大,民机设计人员如何根据当前设计任务识别适用的适航条款,并将其作为产品设计约束(design constraints)落实到型号设计实践中,往往面临很多困难:1) 适航规章作为一种航空工业界的法规、标准,具有一定的通用性,即它是对一类飞机的技术要求/规定而不特定于某一具体型号,因此很多条款中对飞机设计特征的描述往往非常不具体;2) 适航条款作

为人类航空技术进步及事故经验教训的总结,具有一定的概括性和抽象性,即条款条文本身蕴含了大量设立背景、目的和历史变迁等相关知识^[3-4];3) 很多适航条款具有跨专业性,可能需要从多个专业角度进行解读。如果在民机型号研制初期不能有效地识别和捕获这些条款要求,将很可能造成后期型号设计方案的更改和设计过程的反复,这将大幅增加研制成本,影响研制进度,并最终导致飞机的延迟交付。

由于适航要求的上述特点,可以采用基于模型的方法,分别建立民机的设计任务模型和CCAR-25部适航规章的条款约束模型,以形成结构化的领域知识模型。然而,设计任务和适航条款约束中对民机设计特征的描述形式往往是不同的。因此,需进一步研究异构模型之间的映射机制,并开发相应的条款约束识别和检索算法,从而快速、准确地根据设计任务自动捕获

收稿日期:2018-11-23;修回日期:2019-01-23

基金项目:中国商飞科技创新项目(GS2013003)

作者简介:刘泽林,高级工程师,研究方向为系统工程、智能化设计、适航工程;电子信箱:collin524@163.com

引用格式:刘泽林,张方. 基于模型的民机适航要求自动捕获方法[J]. 科技导报, 2019, 37(7): 80-87; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.07.012

其适用的适航条款要求。目前,基于模型的产品知识建模和知识捕获主要包括两个方面的研究^[5]:一方面是通过建立公共本体(shared ontology)模型的方式,在更高的抽象层面上建立通用的、共享的本体模型,以实现不同领域模型中概念的统一。这方面研究,例如文献[6]~[8],主要针对不同CAD系统的异构参数化模型建立统一的特征本体;以及文献[9]~[11],研究建立不同学科产品的统一功能描述(功能本体)等。但实际上,由于不同领域本体中概念表达的特殊性和差异性,很多情况下难以建立完全通用的公共本体;另一方面研究是采用基于启发式搜索(heuristic search)的方式建立异构模型之间的映射。这方面研究通常对不同模型的组成元素、节点或对象进行相似性分析,继而开发相应的映射算法/检索算法,例如文献[12]~[14]等,但目前这种方式在民机适航领域尚未有相关应用。因此,本文以民机型号设计为背景,针对民机适航要求的特点,提出一种基于模型的适航要求自动捕获方法。包括建立基于模型的设计任务表达和适航条款约束表达;进而研究两种模型之间的映射机制,并开发相应的检索算法,从而帮助设计人员在型号研制初期快速、准确地捕获产品设计必须满足的相关适航条款要求。

1 领域建模

1.1 设计任务模型

民机是一种复杂的多学科产品系统,其设计任务的划分往往都要经过由飞机级到系统级,再由系统级到子系统级设计任务的层层分解。每一层级的设计任务均主要包括民机型号的部分设计特征(某个系统、子系统及其物理结构组成),以及与当前设计特征相关的产品设计要求/设计约束。由于不同民机型号(一组产品变体)的设计特征往往存在一定的差异,民机设计任务建模的主要目的在于建立不同民机型号通用的设计特征模型,形成统一性的表达,并将其作为当前某设计任务定义及其适用适航要求捕获的依据。这里,将民机的设计特征本体DF概念化为以下三元组:

$$DF = \langle O_f, A_f, R_f \rangle \tag{1}$$

式中, O_f 为民机的某部分设计特征的集合,例如起落架系统、燃油系统等; A_f 为该设计特征的属性约束集合,类型包括“枚举型”属性约束(例如起落架的布置形式:前三点式或后三点式)和“数值型”属性约束(例如,燃油

箱内的压力范围:[min, max]); R_f 为不同设计特征之间的关系集,主要类型如表1所示。

表1 设计特征之间的关系

Table 1 Relationships between different design features

关系类型	关系名称	关系的表达
R_1	类与实例关系	An Instance of/Has Instance
R_2	继承关系	A Subclass of/Has Subclass
R_3	组成关系	A Part of/Has as Part

1.2 条款约束模型

作为民机型号设计必须满足的国际安全标准,CCAR-25部适航规章是一套完整的民机产品安全性设计约束体系,内容包括8个分部和14个附录。适航要求的范围覆盖了民机的飞行性能、结构强度、设计构造、动力装置、机载设备及系统等各个方面。前文中提到适航要求具有概括性、复杂性和跨学科性等特点,通过条款约束建模可以采用一种基于模型的方式形式化地表达适航条款要求,并在此基础上建立与设计任务模型之间的映射。从产品设计约束的角度上讲,适航条款要求(主要是技术性要求)必然围绕着某一部分民机设计特征进行定义,可分为功能性约束、行为约束和结构约束,如图1所示。

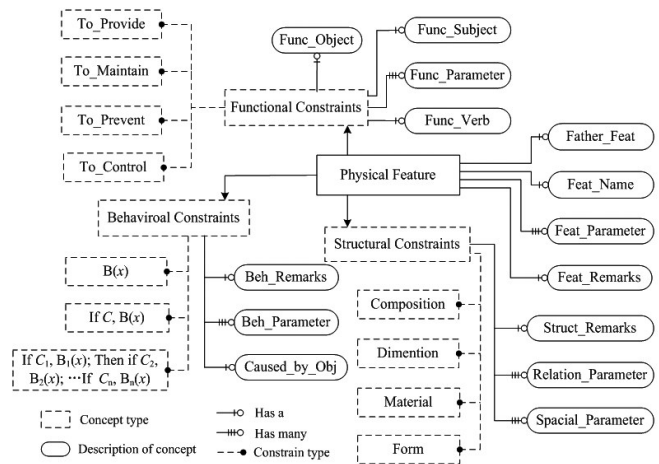


图1 适航条款约束模型

Fig. 1 Airworthiness constraint model

1) 功能约束

功能是指系统为实现一定的预期目的而进行的某种转换或作用。适航要求中的功能约束规定了民机某部分系统或子系统必须达到或实现的预期效果。主要可以分为4种类型:To_Provide型,系统能够提供某种功

能;To_Maintain型,使系统保持某种预定状态;To_Prevent型,防止系统出现某种状态;To_Control型,控制系统的状态变化在预定的范围内。对于功能性约束的表达可采用以下四元组的形式:

$$\langle S_f, O_f, V_f, F_p \rangle \quad (2)$$

式中, S_f 代表功能约束的主体,一般是指某目标设计特征; O_f 指代功能约束的客体,即与目标设计特征相作用而产生一定状态变化的环境对象,如客舱环境控制系统中的空气、乘客,燃油系统中的燃油,驾驶舱操作系统中的驾驶员等; V_f 代表功能动词; F_p 指代该条功能约束中包含的定性或定量的功能参数。

例如,压力加油系统条款CCAR 25.919(a)“每一压力加油系统燃油歧管接头必须有措施,能够在燃油进口阀一旦失效时防止危险量的燃油从系统中溢出”为一条To_Prevent型的功能约束,功能主体 S_f 为“燃油歧管接头处的防护装置”,承受功能作用的客体 O_f 为压力加油系统中的“燃油”,功能动词 V_f 为“防止(PREV)”,相应的逻辑表达形式(采用Lambda表达式^[15])为

[燃油歧管接头: λ]→(Part)→[压力加油系统: \forall]

[燃油进口阀: λ]→(Part)→[压力加油系统: \forall]

IF[燃油进口阀: λ]→(Agent)→[失效];THEN [燃油歧管接头]←(At)←[防护措施: λ]→(PREV)→[燃油]→(Agent)→[溢出].

2) 行为约束

设计方法学中,行为一般是指对象的状态及其一系列状态的变化^[16]。适航要求中的行为约束主要是对飞机运行中的各种状态(滑行、起飞、爬升和着陆等)及飞机操纵性能(操纵稳定性)的要求和限制。此类要求常见于CCAR-25部B分部(飞行),主要可分为3种类型: $B(x)$,系统所处的某种状态;IF $C, B(x)$,某种条件或状况下系统处于的某种状态;以及IF $C_1, B_1(x)$, THEN IF $C_2, B_2(x), \dots$,连续的条件或作用下系统发生的一系列状态变化。对于行为约束的表达采用以下二元组的形式:

$$\langle O_b, B_p \rangle \quad (3)$$

式中, O_b 代表行为的主体对象,如飞机的某部分系统或子系统; B_p 指代行为约束中包含的行为参数。例如,CCAR 25.965条款中规定了燃油箱试验的各项要求。25.965(a)中提到“装机后的油箱在(1)和(2)两者中最大压力下,油箱不会发生损坏变形和漏油。其中,(1)为24.2 kPa的内部压力;(2)为在油箱内产生的最大冲

压空气压力的125%”。此行为约束中,行为的主体对象 O_b 是装机状态下的“燃油箱”,行为参数包括:[油箱内部压力: $\{*\}$ @“24.2千帕”];[油箱内部压力: $\{*\}$ @“最大冲压空气压力的125%”]。相应的逻辑表达形式为

[内部压力: $\{*\}$ @=Max{“24.2千帕”,“最大冲压空气压力的125%”}]→(Condition)→[油箱: λ]→(Agent)→[变形].

3) 结构约束

适航要求中的结构约束主要包括民机某部分系统或子系统必须具有的物理结构组成及对象的某些形状、尺寸要求。此处将物理对象的材料类型和相应的强度要求也纳入了结构约束的范畴。此类要求常见于CCAR-25部C分部(结构),D分部(设计与构造)等。对于结构约束的表达采用以下形式:

$$\langle O_s, (E_s, P_s) \rangle \quad (4)$$

式中, O_s 代表物理结构特征的主体; E_s 和 P_s 代表两种结构约束类型; E_s 为结构组成约束,如要求必须存在某种物理结构; P_s 为某物理结构的尺寸、形状限制。仍以燃油系统相关的适航条款为例,例如CCAR 25.971条规定了“每个燃油箱均必须有沉淀槽,其有效容积在正常地面姿态时不小于油箱容积的0.10%或0.24 L”,其相应的逻辑表达形式为

[燃油箱: \forall]←(Part)←[沉淀槽: \exists];

[正常地面姿态]←(Condition)←[燃油箱: λ]→(Attribute)→[有效容积: $\{*\}$ @≥Max{“油箱容积的0.10%”,“0.24 L”}].

2 异构模型映射规则

模型映射的目的在于实现不同领域模型之间概念表达上的对应和关联,从而消除语义异构。这里,由设计任务模型到条款约束模型之间的映射规则主要包括3种类型。

规则1:直接映射。当前型号设计任务中的设计特征 O_f 与适航条款约束中功能要求的功能主体 S_f 、行为主体 O_b 或结构主体 O_s 之间的直接对应关系,如图2(a)所示。由这种映射关联可以根据当前设计特征捕获对其具有直接约束作用的适航要求。例如,对于当前设计特征“起落架系统”,CCAR 25.721条“起落架总则”,CCAR 25.723条“起落架减震试验”等都是与其具有直接约束关系的适航条款要求。

规则2:间接映射。与当前设计特征 O_f 存在某种关系 R_i (表1中关系的一种)的设计对象 O_f' 与适航条款约束中的功能主体 S_F 、行为主体 O_B 或结构主体 O_S 之间存在对应关系,如图2(b)所示。因此, O_f 与这些适航条款约束的对象之间是一种间接映射关系。例如,对于当前设计特征“收放机构”,其父级特征“起落架系统”对应的适航要求CCAR 25.721条“起落架总则”和子级特征(如机轮)对应的适航要求CCAR 25.731条“机轮”和CCAR 25.733条“轮胎”等都是与其具有间接约束关系的条款要求。

规则3:衍生映射。当前设计特征 O_f 与适航要求中功能约束的客体 O_F 之间的对应关系,如图2(c)所示。例如,设“防冰/除雨系统”中的“发动机短舱防冰系统”为当前设计特征 O_f ,其功能要求为“防止进气道前缘产生不利于发动机运转或引起功率或推力严重损失的冰聚集”。功能作用的主体 S_F 为“短舱防冰系统”,客体 O_F 为“进气道前缘”和“空气中的水蒸气”。则与“进气道前缘”设计相关的条款要求CCAR 25.1193条“发动机罩和短舱蒙皮”对于 O_f 也是具有约束作用的适航要求。

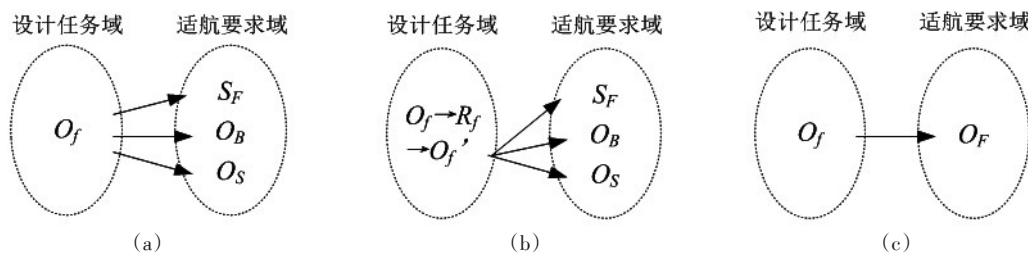


图2 3种类型的模型映射规则

Fig. 2 Three types of model mapping rules

3 检索算法

由以上论述可知,基于异构模型映射的适航要求自动捕获过程,实际上就是根据当前设计任务中涉及的型号设计特征捕获其适用的适航条款要求的过程。并且,这种映射建立在对设计任务和适航条款约束表达的基础上。基于该思路,设计了相应的模型映射算法(图3)。

输入:当前设计任务中包含的民机设计特征。

输出:适用于当前设计特征的CCAR-25部适航条款要求的集合。

步骤1:输入当前设计特征(民机)作为目标设计特征 F_T ;

步骤2:遍历CCAR-25部适航规章数据库,从中读取第一条未被检索过的适航条款要求,作为当前条款 R_p ;

步骤3:判断 R_p 的设计约束类型,即 R_p 属于功能要求、行为要求或结构要求;

步骤4:若 R_p 为功能要求,则读取功能约束的主体;若 R_p 为行为要求,则读取行为作用的主体;若 R_p 为结构要求,则读取结构约束的主体;用 S_r 表示本步中读取的主体对象;

步骤5:判断上步读取的条款约束主体 S_r 和目标设

计特征 F_T 是否一致;

步骤6:若 $S_r=F_T$,则进一步遍历 S_r 和 F_T 的参数约束并进行匹配;此处,设 x_i 为 S_r 的第 i 个参数值, y_i 为 F_T 与之对应的参数值($i=0,1,2,\dots$)。当 x_i 和 y_i 为数值型参数时,如果 $x_i=y_i$,则两者匹配;否则,两者不匹配;当 x_i 和 y_i 为枚举型参数时,如果 $x_i=y_i$,则两者匹配;否则,两者不匹配;

步骤7:若匹配成功(S_r 的任意一个参数 x_i 与 F_T 相应的参数 y_i 均匹配),则当前条款为目标设计特征的适用条款,存入适用条款集;否则,当前条款不适用于目标设计特征,继续读取下一条未被检索过的条款;

步骤8:若读取成功,则转到步骤3;

步骤9:若读取失败,则条款数据库中无未被检索过的适航条款。此次检索结束,输出适用条款集,退出程序。

4 实现与应用

采用ASP.NET技术,利用Visual Studio 2008软件开发平台和SQL Server 2008数据库系统开发出一套面向民机型号设计的适航要求识别和检索系统(图3),用于根据型号设计任务中特定的民机设计特征快速捕获其适用的适航条款要求,从而帮助民机设计人员在型

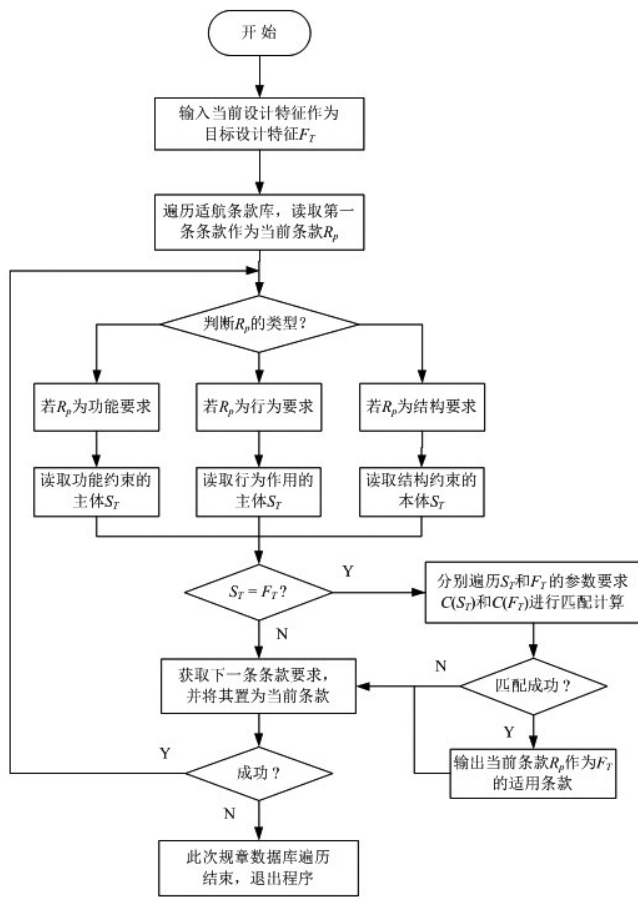


图3 检索算法

Fig. 3 Searching algorithm

号研制初期全面、准确地把握当前设计任务及其相关要求,避免后续设计过程中不必要的设计迭代和方案更改。

4.1 系统架构

该软件系统主要由基础数据管理子系统、条款约束知识管理子系统和适航条款要求的识别与检索子系统3部分组成,系统的基本架构如图4所示。

基础数据管理子系统主要包括民机设计特征管理,通用对象特征管理,适航规章CCAR-25部中的条款,条款相关的咨询公告、条款修正案等拓展信息的管理,以及条款的符合性方法管理等模块;在基础数据管理的基础上,建立了条款约束对象管理、条款适用性知识管理、条款关联性知识管理等模块,用以录入根据基础数据形成的不同类型的适航条款知识;在适航知识管理的基础上进一步实现了基于设计特征识别和匹配的适航要求检索和捕获过程,即适用适航条款检索子系统,目的在于根据实例化后定义的型号设计特征检

索到其适用的适航条款要求,也是本系统的核心功能模块。

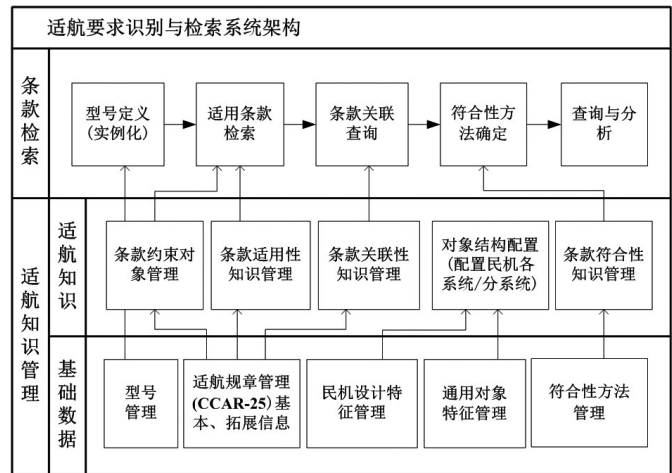


图4 适航要求识别与检索系统架构

Fig. 4 Architecture of airworthiness requirements acquisition system

4.2 案例与应用

此处以燃油系统为例,将燃油系统作为当前系统,具体来讲,特征模型匹配检索过程包括以下4个步骤。

首先,定义一个当前民机型号,包括定义飞机级的型号设计特征,如载容量、发动机类型、电传操纵方式、起降特性和着陆特性等。

其次,识别目标设计对象的名称是否与条款束对象相一致,此处,目标对象为燃油系统,其特征模型片段如图5所示,主要由燃油储存(燃油箱)、分配等子系统组成。

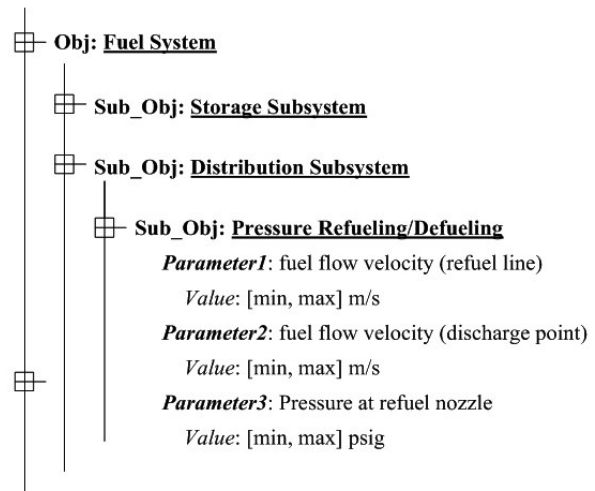


图5 燃油系统的目标设计特征

Fig. 5 Typical target physical structure of oil system

再次,识别当前(设计对象所属的)民机型号的特征参数与条款中关联对象的特征参数是否匹配,例如, [飞机:λ]→(Part)→[燃油系统:V]。

最后,在以上两步都满足的条件下,进一步判断目标设计对象的特征参数是否与条款约束对象的特征参数相互匹配,如图6所示。例如, “[正常地面姿态]←(Condition)←[燃油箱:λ]→(Attribute)→[有效容积:{*}@≥Max {“油箱容积的0.10%”, “0.24 L”}]”。

此处,在判断目标设计对象与条款约束对象的匹

配性时,可以调用异构模型映射规则。这些直接映射、间接映射和衍生映射规则需要在适航规章结构化索引数据库中提前建好,作为条款关联性知识的一种。例如,当前特征为燃油系统时,适航条款 25.721(a)(2)的结构化索引 “[燃油系统]←(Part)←[防护措施]→(PREV)→[撞击]”与当前特征为直接映射关系;适航条款 25.969[油箱]→(Attribute)→[膨胀空间:{*}@油箱容积的2%]与当前特征为间接映射关系。

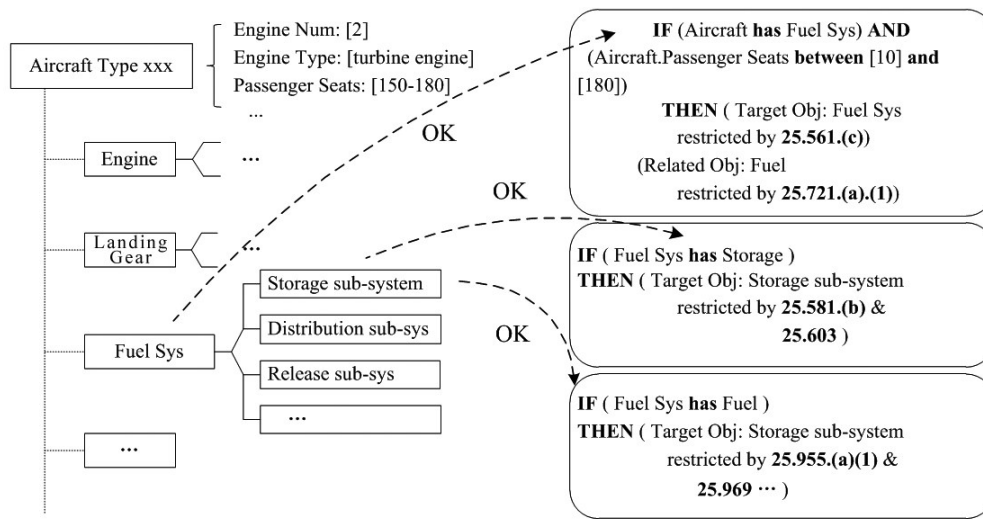


图6 燃油系统特征模型匹配实例

Fig. 6 Attribute mapping example of oil system

图7中是软件系统的基本操作与应用过程,包括:在事先建立的民机通用设计特征结构树中勾选出当前设计任务中包含的民机特征,如图7中的用户界面2,并配置其若干特征参数及参数值。例如,此处选择飞机动力燃油系统中的“燃油系统”作为当前设计特征,此系统主要由燃油储存(燃油箱)、分配和泄放3个子系统组成;之后,系统平台根据当前设计任务包含的型号设计特征(及其关联特征),按照图3所示的检索算法遍历适航规章数据库,通过设计任务模型和条款约束模型之间的3类映射关系检索适航条款(根据第1.2节中建立的条款约束本体),最后形成一个备选的适用条款列表,如图7中的用户界面3所示。部分检索到的条款要求见表2。

目前,该软件系统已应用于国内某民机制造企业的型号设计工作,用于辅助设计人员制定民机型号某部分子系统对应的适航审定计划中适用条款集的初步方案。

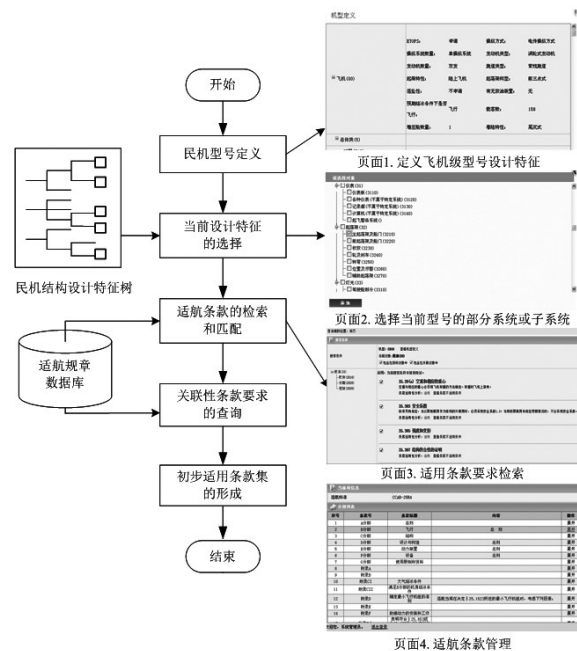


图7 系统操作过程及典型用户界面

Fig 7 Operation flow chart and typical user interfaces

表2 部分检索后的适用条款(燃油系统)

Table 2 Several airworthiness requirements after mapping (fuel system)

条款号	条款标题	条款结构化索引
25.561(c)	应急着陆	[油箱] → (PREV) → [闪击]
25.581(b)	闪电防护	[油箱] → (Agent) → [材料耐久性]
25.603	材料	[油箱] → (PREV) → [穿透破坏]
25.721(a)(2)	起落架	[燃油系统] → (Avoid) → [区域:起落架零件残骸] [燃油系统] ← (Part) ← [防护措施] → (PREV) → [撞击]
25.471	地面载荷总则	[可燃液体:燃油] → (Agent) → [渗漏]
25.863(a)	可燃液体的防火	[电器系统] → (Interact) → [燃油系统]
25.869(a)	系统防火	[燃油系统] ← (Part) ← [电搭接]
25.899(a)	电搭接和防静电	[燃油系统] ← (Part) ← [防静电保护设计]
25.953(a)(b)	燃油系统的独立性	[燃油系统:λ] → (Interact) → [发动机:λ] [燃油系统:β] → (Interact) → [发动机:β]
25.955(a)(1)	燃油流量	[燃油] → (Attribute) → [燃油压力:{*}@限制范围]
25.969	燃油箱的膨胀空间	[油箱] → (Attribute) → [膨胀空间:{*}@油箱容积的2%]
...

5 结论

提出一种基于模型的民机适航要求自动捕获方法,用于在民机研制初级阶段辅助设计人员根据型号设计特征捕获与当前设计任务相关的适航条款要求。主要内容包括:1) 设计任务建模,针对不同民机型号设计任务中包含的设计特征构建通用的设计特征描述模型;2) 将CCAR-25部适航条款要求作为一种产品设计约束,分析约束的类型(功能约束、行为约束和结构约束),并在此基础上建立条款约束模型,以形成对不同类型适航条款要求的形式化表达;3) 设计任务模型和条款约束模型之间的映射规则研究,并开发相应的适航条款要求检索算法;4) 根据理论方法研究进行相应的软件实现。最后,以燃油系统的适用条款要求检索为例介绍了软件系统的操作和应用过程。

通过以上研究,可使民机设计人员在型号研制早期阶段尽可能准确、有效地捕获与当前设计任务相关的适航要求,从而形成对当前设计任务比较全面的把握。这对于减少后期设计过程中不必要的设计迭代,大幅降低研制成本具有重要意义。

然而,在实际的民机型号研制工作中,适航审定基础中适用条款集的最终拟定还需要经过与丰富经验的型号设计师、局方(适航审定)专家等反复论证,并结合民机制造商当前技术能力水平共同确定。因此,本方法提供的结果是一个初步的方案,后续研究将围绕如何根据国内外同类机型的数据对比,及适航条款内部

关联性分析以提高适用条款集的可参考性等方面做更多的工作。

参考文献(References)

- [1] 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011. CCAR-25-R4.
Airworthiness standards: Transport category airplanes[S]. Beijing: Civil aviation authority of China, 2011. CCAR-25-R4.
- [2] Society of Automotive Engineers. Guidelines for development of civil aircraft and systems (SAE ARP 4754A)[S]. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 2010.
- [3] De Florio F. 适航性: 航空器合格审定引论[M]. 张曙光, 柯鹏, 等译. 北京: 航空航天大学出版社, 2011.
De Florio F. Airworthiness: An introduction to aircraft certification [M]. Zhang Shuguang, Ke Peng, translated. Beijing: Beihang University Press, 2011.
- [4] 于敬宇, 路遥, 舒小华. 民航适航标准体系[C]/2010年航空器适航与空中交通管制学术年会论文集, 2010.
Yu Jingyu, Lu Yao, Shu Xiaohua. Framework for civil airworthiness standard[C]/Aircraft Airworthiness Division, China Academy of Civil Aviation Science and Technology, 2010.
- [5] Zhan P, Jayaram U, Kim O, et al. Knowledge representation and ontology mapping methods for product data in engineering applications[J]. Journal of Computing and Information Science in Engineering, 2010, 10: 021004-1-021004-11.
- [6] 陈磊, 叶修梓, 潘翔, 等. 基于本体的产品语义数据互操作[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(4): 821-828.
Chen Lei, Ye Xiuzi, Pan Xiang, et al. Ontology-based semantic interoperability of product data[J]. Computer Integrated

- Manufacturing Systems, 2008, 14(4): 821-828.
- [7] 秦飞巍, 李路野, 高曙明. 面向异构参数化特征模型检索的本体映射方法[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(7): 1472-1483.
- Qin Feiwei, Li Luyue, Gao Shuming. Ontology mapping method for retrieval of heterogeneous parametric feature models[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(7): 1472-1483.
- [8] Bai J, Gao S, Tang W, et al. Design reuse oriented partial retrieval of CAD models[J]. Computer-Aided Design, 2010, 42(12): 1069-1084.
- [9] 胡玉杰, 李善平, 郭鸣. 基于本体的产品知识表达[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 15(12): 1531-1537.
- Hu Yujie, Li Shanping, Guo Ming. Ontology-based product knowledge representation[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 15(12): 1531-1537.
- [10] 吴江, 陈宗基. 基于本体的多无人机系统语义互操作方法[J]. 上海交通大学学报, 2011, 45(2): 290-294.
- Wu Jiang, Chen Zhongji. Semantic interoperability based on domain ontology for multi-UAVs[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2011, 45(2): 290-294.
- [11] Kitamura Y, Mizoguchi R. Ontology-based systematization of functional knowledge[J]. Journal of Engineering Design, 2004, 15: 327-351.
- [12] 高鹏, 林兰芬, 蔡铭, 等. 基于本体映射的产品配置模型自动捕获[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(9): 810-816.
- Gao Peng, Lin Lanfen, Cai Ming, et al. Automatic acquisition of product configuration model based on ontology mapping[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9(9): 810-816.
- [13] 蔡文沁, 彭培林, 姜寿山. 航空产品设计知识的表示与重用技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(1): 55-58.
- Cai Wenqin, Peng Peilin, Jiang Shoushan. Knowledge representation and reuse in aircraft design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(1): 55-58.
- [14] 肖杭, 张秀彬. 基于分层模型与本体映射的异构电力信息系统集成[J]. 上海交通大学学报, 2009, 43(8): 1238-1242.
- Xiao Hang, Zhang Xiubin. Integration of heterogeneous electric power information system based on hierarchy model and ontology mapping[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2009, 43(8): 1238-1242.
- [15] Sowa J F. Knowledge representation: Logical, philosophical and computational foundations[M]. Salt Lake City: Brooks Cole Publisher, 2000.
- [16] Welch R V, Dixon J R. Guiding conceptual design through behavioral reasoning[J]. Research in Engineering Design, 1994, 6: 169-188.

Model-based automatic capture of airworthiness requirements in civil aircraft design

LIU Zelin, ZHANG Fang

Shanghai Aircraft Design and Research Institute of COMAC, Shanghai 201210, China

Abstract Civil aircraft design must be carried out in accordance with a large amount of airworthiness requirements. Failure to capture proper requirements in early design stage may lead to unnecessary design iterations and solution alternations. Therefore, a model based method is proposed for automatically mapping proper airworthiness requirements to a current design task in the early design. It mainly includes a design task model for formal representation of different aircraft features, and an airworthiness constraint model for semantically representing airworthiness regulations. Based on the study of model mapping rules, a searching algorithm is also developed to facilitate requirements acquisition. Finally, a software tool is also implemented using the above method and tested through a case study.

Keywords aircraft; airworthiness; airworthiness requirements; model ●



(责任编辑 祝叶华)