

飞机主最低设备清单建议书相似案例 提取技术研究

闫 锋¹ 袁旭峰^{1*} 尹楚雄² 李小凡¹

(1. 中国民用航空飞行学院, 广汉 618307; 2. 上海飞机客户服务有限公司, 上海 200241)

摘 要: 国内外民机获得批准使用的主最低设备清单(master minimum equipment list, 简称 MMEL)项目, 特别是在用户中认可度较高的民机 MMEL 项目, 可作为备选目标机型主最低设备清单建议书(proposed master minimum equipment list, 简称 PMMEL)项目进行考虑。以高频空调系统为例, 研究飞机系统相似性算法, 在分析目标机型的 PMMEL 需求时, 考虑该设备或项目所处系统功能和结构的相似性, 制定相似准则判定技术, 利用该技术提取目标机型相似 PMMEL 项目, 可形成目标机型相似 PMMEL 项目清单, 使民机制造商的用户需求分析具有可比性。以欧式距离与权重为主进行相似度计算, 以航线中 MEL(最低设备清单)条目使用率较高的空调分配系统为例, 验证了相似性算法与相似案例提取技术研究的可行性, 得出在确定 PMMEL 备选建议清单时可考虑依据相似机型确定的方法; 汇总 A320 与波音 737 飞机部分空调系统相似部件, 为完成编制 PMMEL 项目及建立相似机型数据库提供理论基础。

关键词: 相似性算法; PMMEL(主最低设备清单建议书); 欧氏距离; 权重

中图分类号: V21

文献标识码: A

OSID: 

0 引言

航空器制造商应当根据型号设计及运行标准的要求编制主最低设备清单建议书(proposed master minimum equipment list, 简称 PMMEL)手册, 在工程上主要的方法有安全性分析方法与对比分析方法。第一种方法是确定 PMMEL 手册项目的重要方法, 此方法对航空器设备进行定性和定量分析, 以保证 PMMEL 手册项目的完整性和准确性; 第二种方法是使制定出的 PMMEL 手册更满足用户需求, 通过民航法规、相似机型对比得出符合航空器运营商实际使用的可行方案, 对通过安全性分析方法得出的 PMMEL 手册有补充作用。

曼尼托巴大学的 Dekang 在 1998 年对相似性提

出了一个基本的定义, 即两个样本之间的相似性跟他们之间的共性和差异有关^[1]。在实际计算过程中, 通常用 Sim 表示样本之间的相似性, 不同样本之间包含的属性共同点越多, 那么它们之间的相似度越高, 当相似度的值越接近 1 时, 则两个样本越相似, 即 Sim 值越大; 反之, 不同样本之间所包含的属性不同点越多, 那么相似性越低, Sim 值越小^[2]。把具有相似特性的实物放到一起是人类解决问题的常用方法之一, 但如何求得样本之间的相似度是关键问题。在工程应用上, 通常通过样本在空间中所映射点之间的距离来计算样本之间的相似性, 例如使用欧氏距离(euclidean metric)、余弦相似度方法等。

国内有许多专家学者对相似性算法进行了探索研究。张德青在《基于 CBR 的儿科疾病诊疗系统的

* 通信作者。E-mail: yuanxflin@163.com

基金项目: 工信部民机专项(MJ-2018-Y-56)、中央高校教改项目(E2021014-2 和 E2021013-4)、民航局教育人才类项目(0252002)和中国民航飞行学院研究生课程建设项目(XKJ2019-2)

引用格式: 闫锋, 袁旭峰, 尹楚雄, 等. 飞机主最低设备清单建议书相似案例提取技术研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2022(3):112-117. YAN F, YUAN X F, YIN C X, et al. Similar cases extraction technology for aircraft PMMEL[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2022(3):112-117(in Chinese).

数据库设计和案例相似度算法研究》中利用欧氏距离计算出相对应两属性距离差异的结果作为两属性之间的相似度,用于从案例库中检索出与目标案例相似的案例^[3]。张肖南^[4]在《基于案例的手机故障相似度匹配算法研究》中提出了一种基于粗糙集合欧氏距离的相似度匹配算法,以提高对手机故障的诊断能力。张恺和王应明^[5]为调高应急案例库检索的精确度,提出了一种应急案例调整方法,首先利用欧氏距离、高斯距离、FAN 计算出综合相似度,再利用灰色关联分析得出案例之间的关系,最后以火灾应急案例库为例,验证了算法的可行性。丁义和杨建^[6]在《欧氏距离与标准化欧氏距离在 k 近邻算法中的比较》中对欧氏距离、标准化欧氏距离以及 KNN 算法的定义进行了解释,研究了欧氏距离和标准化欧氏距离运用在 KNN 算法中时,对数据分类的影响。柳玉等^[7]在《基于 VSM 的软件故障案例相似性匹配算法研究》将 CBR 的思想运用到软件故障诊断中,利用余弦相似度的求解方法,将软件故障数据通过提取文本特征项得到特征向量,从而求得案例之间的相似度。邓兴宇等^[8]在《基于 SVSM 的装备故障案例相似度匹配算法》中采用余弦相似度来计算案例之间的相似度,提出了一种改进的基于案例推理的电子防护装备故障诊断算法。在系统工程方面,王艾伦等^[9]在《基于功能/结构相似度的复杂系统相似准则研究》中为求得两复杂系统之间的相似度,将系统分为各个子系统,直至组成系统的最基本单元部件,然后利用矩阵计算系统级、子系统级、部件级的功能及结构相似度。

以航线中 MEL 条目使用率较高的典型系统空调系统为例,分析波音 737NG 与 A320 飞机空调系统各个部件的功能,进行相似度解析,为后续研究相似性算法及建立相似机型数据库提供理论基础。在熟知飞机空调系统结构以及功能的基础下,提出飞机系统相似性算法,以空调分配系统为例验证了算法的可行性,为 PMMEL 用户需求原型系统的相似机型数据管理模块建立与实现系统计算相似部件的流程提供了理论基础。

1 相似算法解析

1.1 功能本体的建立

功能本体将功能领域的知识进行统一的描述,有利于知识的共享和重用^[11]。功能本体是根据本体论

的方法来建立描述系统功能的共享词表,是表达功能的专业性术语以及术语之间关系的规范性说明。

在相似性算法中,功能本体库的构建是根据飞机系统部件所完成的操作及流经部件流本体来建立功能本体库。流本体是用于表达系统部件所完成功能的对象,将流可分为气体、液体、电信号、热能、机械能等,但在实际的运用中很难运用到这些概括性的专业词汇,于是就细化成二级流,比如气体又可以分为空气和惰性气体。操作本体是描述系统设备所进行功能操作的概括性词汇,比如产生、分离等,这些概括性的词汇又可以细化为一般化的词汇,比如产生可细化为混合、引入等。

部件功能的表达方法是利用功能本体建立功能数据库,每个部件的功能描述为“输入流、操作、输出流”,可以将每个部件完成的操作以及部件前后介质的变化都表示清楚。

1.2 相似度计算方法

在进行求解飞机系统相似度之前,应当明确所应用的相似度计算方法。飞机相似性算法主要采用欧几里得距离来计算不同飞机系统相对应属性之间的相似度,按照数据类型主要分为两类,第一类为数值类型,第二类的布尔值(逻辑值)类型。

第一类数值类型相似性计算方法:

数值型数据主要运用于飞机子系统功能部件的功能相似性对比。在进行相似性对比前,首先得确定“输入流、操作、输出流”特征属性的权重 ω_i ,利用专家打分法,邀请专家对“输入流、操作、输出流”进行权重打分,然后通过汇总,计算平均值得出最后的权重,具体如表 1 所示。

表 1 “输入流、操作、输出流”特征属性权重

特征属性	权重
输入流	0.3
操作	0.4
输出流	0.3

确定各个特征属性的权重后按欧氏距离的方法计算不同飞机子系统功能部件之间的相似度,有:

$$\text{dis}(y_p, x_p) = \sqrt{\sum_{i=1}^n w |y_{pi} - x_{pi}|} \quad (1)$$

设 $\text{Sim}(Y_i, X_i)$ 为目标机型 y_i 和备选相似机型 x_i 两功能部件之间的相似度,则根据最近邻匹配法的计算公式,有:

$$\text{Sim}(Y, X) = 1 - \text{dis}(y_{pi}, x_{pi}) \quad (2)$$

通过公式(1)和公式(2)可知,两功能部件之间所求得距离越小,说明功能部件所完成功能越相似,案例相似度 *Sim* 值越大,则说明两机型功能部件之间的相似度越高。

按此方法进行计算,就可以在相似机型案例库中计算出与目标机型案例相似的建议解。

第二类为布尔值(逻辑值)类型相似性计算方法:

布尔值(逻辑值)是数据类型为 0 和 1 的数值,此数据类型主要运用于计算目标机型与相似机型是否为同一制造商;同级别飞机。系统功能相似等则逻辑值数据类型的相似性计算公式有:

$$S(x, y) = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n x_i y_i + \sum_{i=1}^n (1 - x_i)(1 - y_i) \right\}}{n} \quad (3)$$

对于计算系统级功能相似,并不是所有的子系统在整个系统中的重要度都为 1,则需要引入权重 ω_i 概念。首先确定各个子系统在整个系统中的权重,结合公式(3)可得加入权重概念的相似度计算公式有:

$$S(x, y) = \sum_{i=1}^n \omega_i x_i y_i + \sum_{i=1}^n \omega_i (1 - x_i)(1 - y_i) \quad (4)$$

2 飞机系统相似性算法

飞机相似性算法具体如图 1 所示。

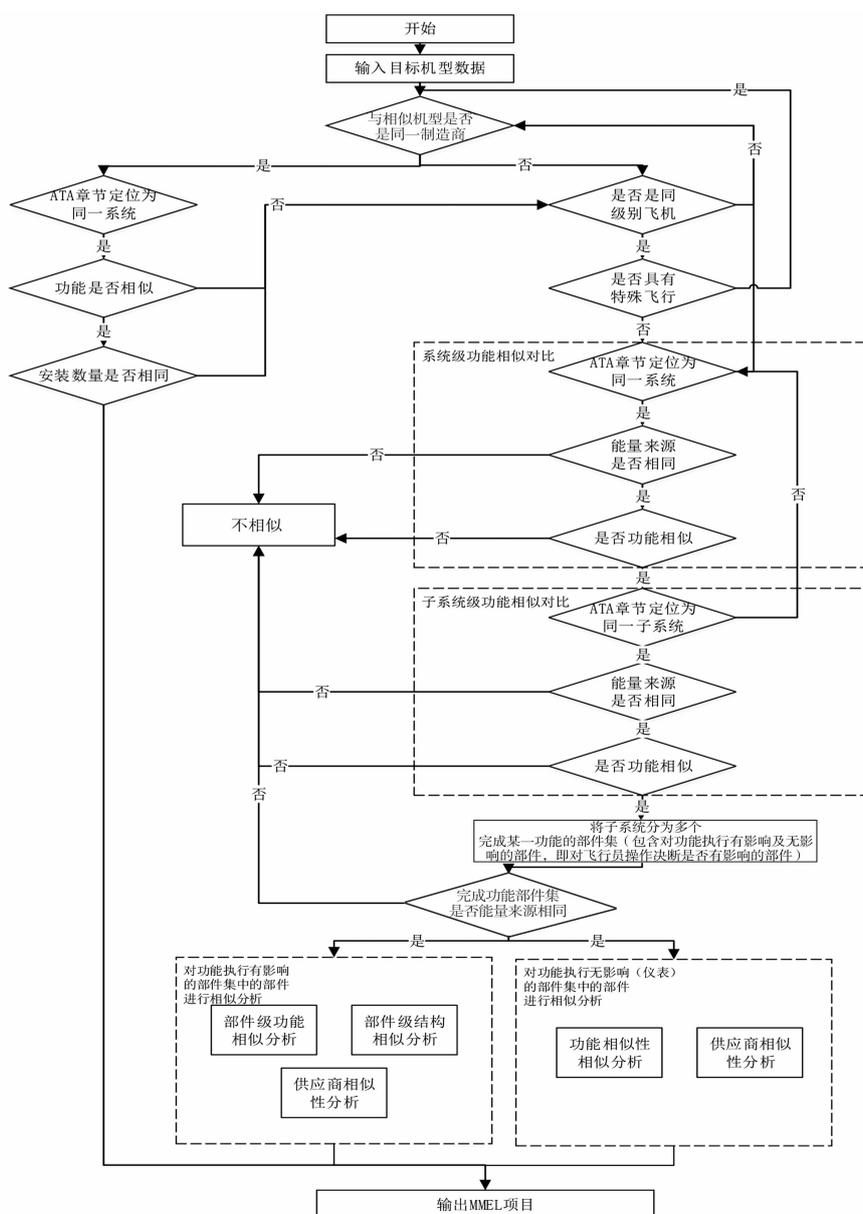


图 1 飞机系统相似性算法

飞机系统的相似性分析算法是为了航空器制造商在 PMMEL 手册的编制过程中,参考成熟相似机型的 MMEL 手册,确定系统功能和结构相似部件的 MMEL 条目是否可以添加至目标机型的 PMMEL 手册中。飞机相似性分析算法包括了对飞机级别、特殊飞行任务、系统级、子系统级、部件集的相似性分析。

第一步:判断是否为同一制造商,若为同一制造商,则依次对比 ATA 章节(是否为同一系统);所完成的功能;安装数量是否相同,若都为相同则输出建议 MMEL 项目,反之则进行下一步;

第二步:判断是否为同级别飞机,是则进行下一步,否则返回第一步;

第三步:判断是具有特殊飞行任务,是则进行下一步,否则返回第一步;

第四步:进行系统级功能相似性对比,依次判断是否为同一系统,能量来源是否相同,完成功能是否相似,相似则进行下一步,反之则认为不相似;

第五步:进行子系统级功能相似性对比,同上一步一样,依次判断是否为同一系统,能量来源是否相同,完成功能是否相似,相似则进行下一步,反之则认为不相似;

第六步:进行子系统某一功能部件集功能及结构相似性对比,首先确定功能部件集的能量来源是否相同,再判断是否对功能执行有影响,对功能执行有影响的部件进行功能、结构以及供应商相似性分析,对功能执行无影响的部件只进行功能及供应商相似性分析。

第七步:输出与备选相似机型的相似部件。

3 系统相似性算法验证

以 A320 与波音 737 飞机空调分配系统为具体案例,以 A320 为目标机型,波音 737 为备选相似机型进行相似算法的验证分析,在验证分析的过程中,由于缺少部件供应商的数据,则默认 A320 飞机与波音 737 飞机空调分配系统的供应商相似,具体验证过程如下所示。表 2 为以 A320 与波音 737 制造商为例的对比表。

表 2 飞机制造商对比表

机型飞机制造商	波音公司	空客公司	中国商飞
波音 737	1	0	0
A320	0	1	0

第一步:是否为同一制造商。根据公式(3)可得: $Sim = 0$,则认为不是同一飞机制造商生产的飞机,进行下一步。

第二步:是否为同级别飞机。根据公式(3)可得: $Sim = 1$,认为波音 737 飞机与 A320 飞机为同级别飞机。

第三步:是否具有特殊飞行任务。根据公式(3)可得: $Sim = 1$,认为波音 737 与 A320 飞机不具有特殊飞行任务。

第四步:系统级功能相似性对比。

(1)利用 ATA 章节名称确定所进行相似对比的系统。本文以 ATA-21 空调系统为例。相似度计算公式有:

$$d_{x,y} = |X_i - Y_i| \quad (5)$$

若 $d_{x,y}$ 为 0,则距离为 0 时,相似度为 1,即认为所进行相似对比的为同一系统。波音 737 和 A320 空调系统的计算结果为 $d_{x,y} = |21 - 21| = 0$,确定所对比的为同一系统。

(2)能量来源相似。根据公式(3)可得波音 737 与 A320 的能量来源相似度为 1。即认为波音 737 飞机与 A320 飞机空调系统的能量来源相似,进行下一步的相似性计算。

(3)系统功能相似。空调系统按功能可分为:分配功能、冷却功能、温度控制功能、加温功能、压力控制功能、臭氧以及空气清洁功能。首先确定飞机空调系统各个子系统所对应的权重,运用专家打分法,邀请专家对飞机空调系统各个子系统进行权重打分,然后通过汇总,计算平均值得出最后的权重。

相似性计算如下:

根据公式(4),求得: $S(x,y) = 0.9$

则 A320 与波音 737 飞机空调系统所完成的功能相似度为 90%,认为 A320 飞机与波音 737 飞机空调系统所完成的功能相似。

第五步:子系统功能相似性对比。

在进行子系统能量相似性对比之前,需要确定飞机空调系统子系统完成功能所对应的权重,与系统功能相似一样,运用专家打分法,邀请专家对飞机空调系统各个子系统所完成的功能进行权重打分,通过汇总,计算平均值得出最后的权重。

根据公式(4),求得: $S(x,y) = 0.9$

则 A320 与波音 737 飞机空调系统分配系统所完成的功能相似度为 90%,认为 A320 飞机与波音

737 飞机空调分配系统所完成的功能相似。运用此方法相继得出空调分配系统、冷却系统功能、温度控制系统功能、加温系统功能、压力控制系统功能相似,臭氧控制以及空调气清洁功能不相似。

第六步:子系统功能部件集功能及结构相似性对比。

飞机空调分配系统需完成地面空调气连接功能、空调气混合功能、驾驶舱及客舱空调气分配功能等。

$$dis = \sqrt{0.3 |211 - 211|^2 + 0.4 |141 - 141|^2 + 0.3 |211 - 211|^2} = 0$$

$$S = 1 - dis = 1$$

则视为 A320 与波音 737 飞机组成地面空调气连接功能的部件相似度为 1,认为相似。

(3)结构相似度计算。因为 A320 与波音 737 飞机构成地面连接功能的部件只有一个,默认为结构相似。

运用此方法相继得出地面空调气连接功能、空调气混合功能、驾驶舱空调气分配功能、客舱空调气分配功能、厨房/厕所通风功能、空调气再循环相似,个人通风功能、设备冷却功能、货舱通风功能不相似。

第七步:输出与目标机型相似的部件。

由第六步可知 A320 飞机与波音 737 飞机所完成空调部分功能是相似的,具体相似的部件如表 3 所示。

表 3 A320 与波音 737 飞机空调系统相似部件汇总

子系统所完成功能	A320 飞机部件名称	波音 737 飞机所对应相似部件
地面空调气连接功能	低压地面连接器	地面空调接头
空调气混合功能	混合单元	混合总管
驾驶舱空调气分配功能	立管 空调气出口	立管 空调气出口
客舱空调气分配功能	主输送管道 立管 空调气出口	舱顶分配管 侧壁竖管 侧壁扩压器出气口 集气/喷嘴组件
厨房/厕所通风功能	排气风扇 排气管道 排出阀	进气口 软管 排气嘴
空调气再循环功能	气滤 风扇 单向阀	气滤 风扇 单向阀

(1)能量来源相似计算。根据公式(3)可得波音 737 与 A320 的空调气地面空调气连接功能部件集能量来源相似度为 1,即认为波音 737 飞机与 A320 飞机空调气再循环功能的能量来源相似度为 1,可进行下一步的相似性计算。

(2)功能相似性计算。地面空调气连接功能的功能代码中,波音 737 地面空调接头与 A320 低压地面连接器代码同为 211,141,211。根据公式(1)可得:

4 结论

本文以飞机空调系统为例进行了飞机系统相似性算法的研究,首先进行了相似度解析,然后阐述了所研究飞机系统相似性算法,最后以空调分配系统为例验证了飞机系统相似性算法的可行性,为 PMMEL 用户需求分析原型系统的建立奠定了基础。

参考文献:

- [1] DEKANG L D. Automatic retrieval and clustering of similar words [C]//Association for Computational Linguistics. [S. l.]: ACL,1998.
- [2] 刘佳琪. 基于知识元的应急案例表示与相似度算法研究[D]. 大连:大连理工大学,2018.
- [3] 张德青. 基于 CBR 的儿科疾病诊疗系统的数据库设计和案例相似度算法研究[J]. 韶关学院学报,2018, 39(6):25-30.
- [4] 张肖南. 基于案例的手机故障相似度匹配算法研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2014.
- [5] 张恺,王应明. 考虑多角度效用的应急案例调整方法[J]. 浙江大学学报(理学版),2017,44(3):314-321.
- [6] 丁义,杨建. 欧式距离与标准化欧式距离在 k 近邻算法中的比较[J]. 软件,2020,41(10):135-136,140.
- [7] 柳玉,贲可荣. 基于 VSM 的软件故障案例相似性匹配算法研究[J]. 武汉理工大学学报,2010,32(20): 189-193,199.
- [8] 邓兴宇,胡双演,李钊,等. 基于 SVSM 的装备故障案例相似度匹配算法[J]. 无线电工程,2016,46(2): 31-35.
- [9] 王艾伦,张营营,殷杰. 基于功能/结构相似的复杂系统相似准则研究[J]. 系统工程理论与实践,2015 (12):3225-3232.
- [10] 宋静波,李佳丽. 波音 B737NG 飞机系统[M]. 北京:

航空工业出版社,2016.

- [11] 吴俊. 基于功能本体的产品设计知识表达与应用研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2013.

作者简介

闫锋 男,硕士,教授。主要研究方向:民用航空器系统工程与可靠性。E-mail: yfcafuc@163.com

袁旭峰 男,硕士,研究生。主要研究方向:民用航空器系统工程与可靠性。E-mail: yuanxflin@163.com

尹楚雄 男,硕士,工程师。主要研究方向:主最低设备清单研究。E-mail: yinchuxiong@comac.cc

李小凡 男,硕士,研究生。主要研究方向:民用航空器系统工程与可靠。E-mail: 93641173@qq.com

Similar cases extraction technology for aircraft PMMEL

YAN Feng¹ YUAN Xufeng^{1*} YIN Chuxiong² LI Xiaofan¹

- (1. Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China;
2. COMAC Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

Abstract: MMEL (master minimum equipment list) projects approved for use by domestic and foreign civil aircraft, especially those with high recognition among users, can be considered as PMMEL projects of alternative target aircraft. Taking the air conditioning system of high frequency as an example, the similarity algorithm of aircraft system was studied. When analyzing the PMMEL requirements of the target aircraft, the similarity of the system function and structure of the equipment or project was considered, and the similarity criterion judgment technology was formulated. By using this technology, the PMMEL project list of the target aircraft can be extracted, which makes the user demand analysis of civil aircraft manufacturers comparable. The similarity calculation was based on Euclidean distance and weight. Taking the air-conditioning distribution system with high utilization rate of MEL (minimum equipment list) items in the route as an example, the feasibility of similarity algorithm and similar case extraction technology was verified, and it is concluded that the method of determining the PMMEL alternative suggestion list can be considered according to similar models. This paper summarizes some similar parts of air conditioning systems of A320 and Boeing 737 aircraft, which provides a theoretical basis for compiling and establishing a database of similar aircraft.

Keywords: similarity algorithm; PMMEL (proposed master minimum equipment list); Euclidean distance; weight

* Corresponding author. E-mail: yuanxflin@163.com