

# 基于 CBR 的飞行事故及事故征候辅助调查方法

石 荣<sup>1,2</sup>, 刘 澜<sup>1</sup>, 杨家忠<sup>2</sup>, 李明捷<sup>3</sup>

(1. 西南交通大学 交通运输学院, 四川 成都 610031; 2. 中国民航飞行学院 飞行技术学院, 四川 广汉 618307; 3. 中国民航飞行学院 空管学院, 四川 广汉 618307)

**摘 要:**为找出事故或事故征候的深层次原因,实现飞行事故及飞行事故征候辅助调查分析的案例推理,总结了飞行事故及飞行事故征候案例的特征,给出了飞行事故及事故征候案例的框架以及基本工作过程图,利用飞行事故及事故征候历史数据建立案例库,在案例检索中采用最近相邻算法计算相似度,最后给出飞行事故及事故征候案例相似度的计算实例。结果证明了该方法的可行性、实用性和有效性。

**关键词:**案例推理;飞行事故;飞行事故征候;事故调查;相似度

**DOI:**10.3969/j.issn.1009-3516.2010.05.005

**中图分类号:** V328.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)05-0021-05

飞行事故及事故征候调查的主要目的在于搞清楚与该次事故有关的事实及环境条件因素,以便确定其可能原因,从而采取适当的措施来防止类似的事故及其导致因素再次出现<sup>[1]</sup>,提高民航安全水平。国内,赵勇等人应用数据仓库技术,对飞行事故历史数据作深层次分析<sup>[2]</sup>;杨全法等人应用了飞行数据译码技术<sup>[3]</sup>;李春香等人 AutoCAD Map 平台下开发了事故调查分析系统,根据事故现场实际情况绘制事故现场残骸分布图<sup>[4]</sup>。国外,S. K. Bhaumik 提出事故调查中对飞机的残骸进行再次分析,以确保能在实验室中找出导致故障的确切原因<sup>[5]</sup>;Goranco 等人运用专家系统来辅助飞行事故调查<sup>[6]</sup>。这些研究有的是单一建立事故数据库,有的主要侧重对飞机残骸和记录仪以及模拟事故现场图的分析,而对如何找出类似的事故或事故征候来辅助调查研究不足。随着航空技术的发展,由单一原因造成的飞行事故及事故征候已经大为减少(只占事故总数的 20% 以下)<sup>[7]</sup>。同时大量统计分析表明<sup>[8-9]</sup>,许多飞行事故及事故征候都有着类似的原因,因此,本文应用案例推理技术,根据事故或事故征候的基本表征情况,参考历史上类似事故或征候,找出该次事故的深层次原因。

## 1 CBR 的基本原理

案例推理(Case - Based Reasoning)最早由美国耶鲁大学 Roger Schank 教授在其 1982 年的著作“Dynamic Memory”中提出。CBR 来源于人的认知心理活动:人类在面临一个新问题时,往往将其与过去类似的案例相联系,参考过去的经验和方法来解决当前问题。作为人工智能领域新崛起的一项重要的推理技术,CBR 方法目前广泛应用于机械辅助设计、故障诊断、医疗诊断、金融和财务预警、软件成本评估等<sup>[11-14]</sup>。

案例推理主要包括案例表示、案例检索和案例库的更新 3 部分<sup>[12]</sup>。案例表示是案例推理的基础,主要任务是设计出可机读和便于管理的案例记录结构,实现经验知识的结构化和组织化,达到易于检索、学习和记忆的目的。案例检索是利用案例库的索引和组织结构,根据待解决问题的描述,在案例库中找到与该问题

\* 收稿日期:2010-01-15

基金项目:中国民用航空局软科学基金资助项目(MHRKX200560);中国民航飞行学院青年科学基金资助项目(Q2007-04)

作者简介:石 荣(1979-),男,湖北黄石人,讲师,博士生,主要从事飞行安全和航空安全管理研究;  
E-mail:b0\_00@126.com

刘 澜(1965-),男,四川彭山人,教授,博士生导师,主要从事交通运输工程研究。

或情况最相似的案例。案例库的更新即当计算出各案例的相似度后,待新问题及其解决方案确定后,根据新的案例具体情况加入到案例库中,对案例库进行更新。将上述过程简化一下,结合飞行事故及事故征候调查的特点,可以得到基于CBR的飞行事故及事故征候辅助调查工作过程见图1。

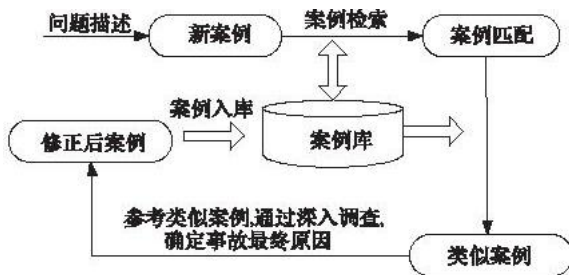


图1 基于CBR的调查基本工作过程

Fig. 1 Working progress of investigation based on CBR

## 2 基于CBR的飞行事故及事故征候辅助调查的主要技术

### 2.1 案例的知识表示

案例的表示即对一次飞行事故或事故征候的具体情况尽可能地完整描述,对可能的原因进行合理划分,以便获得事故原因的完整资料。在用来表示知识的方法如产生式、语义网、框架、面向对象的方法等形式中,框架法具有表示简便直观、修改易于操作、检索快速方便等特点<sup>[15]</sup>。考虑到飞行事故及飞行事故征候的发生过程复杂,可能引发事故的原因较多,知识不全,因此,采用框架结构的方法。一个框架由若干个被称为“槽”的结构组成,每一个槽又可根据实际情况划分为若干个“侧面”。一个槽用于描述所论对象某一方面的属性,一个侧面用于描述相应属性的一个方面,槽和侧面的属性值分别被称为槽值和侧面值。本文采用框架表示法来描述飞行事故及飞行事故案例,同时参考文献[1]、[7]给出案例框架,见表1。

表1 飞行事故及事故征候案例识别框架

Tab. 1 Framework of accident and incident case

框架名称	飞行事故或事故征候案例
槽1(a)	飞机及事件基本情况(权重:0.1)
侧面1(a1)	飞机型号(权重:0.25)
侧面2(a2)	事件发生时间(昼/夜)(权重:0.1)
侧面3(a3)	事件发生的飞行阶段(起飞/爬升/巡航/进近/着陆/滑行)(权重:0.35)
侧面4(a4)	飞机是否失火(是/否)(权重:0.15)
侧面5(a5)	人员是否伤亡(是/否)(权重:0.15)
槽2(m)	维修情况(权重:0.3)
侧面1(m1)	维修部门安全管理状况(模糊定量)(权重:0.25)
侧面2(m2)	维修人员安全记录情况(模糊定量)(权重:0.35)
侧面3(m3)	事前飞机、发动机维修工作情况(正常/异常)(权重:0.15)
侧面4(m4)	事前一天飞机维修情况和事当天飞机放行情况(正常/异常)(权重:0.15)
侧面5(m5)	适航指令(AD)完成情况及服务通告执行情况(正常/异常)(权重:0.05)
侧面6(m6)	油料检查情况(正常/异常)(权重:0.05)
槽3(p)	飞行组技术和身体情况(权重:0.35)
侧面1(p1)	公司对机组安全管理情况(模糊定量)(权重:0.35)
侧面2(p2)	机组飞行安全记录情况(模糊定量)(权重:0.25)
侧面3(p3)	机组对此次飞行的准备情况(正常/异常)(权重:0.2)
侧面4(p4)	机组心理状况(正常/异常)(权重:0.1)
侧面5(p5)	机组身体健康状况(正常/异常)(权重:0.1)
槽4(c)	空中交通服务保障情况(权重:0.15)
侧面1(c1)	管制部门安全管理情况(模糊定量)(权重:0.25)
侧面2(c2)	天气情况(正常/异常)(权重:0.25)
侧面3(c3)	管制员以前安全记录情况(模糊定量)(权重:0.2)
侧面4(c4)	管制指挥情况(正常/异常)(权重:0.25)
侧面5(c5)	通信导航设备保障情况(正常/异常)(权重:0.05)
槽5(b)	飞机配载情况(正常/异常)(权重:0.05)
槽6(s)	安全保卫情况(正常/异常)(权重:0.05)

### 2.2 案例库的建立

利用飞行事故及事故征候的历史数据可以建立案例库,根据2.1节中案例的框架表示方法,单个案例可以采用SQL Server的关系型数据库技术,通过设计一张主表和一系列关联表来存储相关知识。即案例由 $n$ 个可能导致飞行事故的槽共同决定,每个槽下面又有若干个侧面,则案例中的每个槽或者侧面指标在数据库

中分别用一个表来描述,如在 SQL server2000 中槽 2 中的侧面  $i$  表示如下:槽 2 编号 (varchar),侧面  $i$  编号 (varchar),侧面  $i$  特征值(float 或者 varchar),侧面  $i$  权重值(float),该特征详细描述及原因说明 (varchar)。

每个案例以及案例中每个槽、侧面的编号都是唯一的,侧面的特征值在这里有 2 种情况,一种是用模糊量值来表述的如:维修部门安全管理状况,该值可通过相关专家对部门进行调查评估给出。一种是用文字表述,如槽 2 中的侧面 4:事前一天飞机维修情况和事故当天飞机放行情况,事故调查人员通过对维修情况的初步调查,如是否更换零件,机务人员是否完成了航前的检查和维护工作,飞机技术是否状态合格,是否符合适航要求,是否按规定签字放行等,给出结论。只有上述条件都符合要求时,我们才认为是正常,否则都是异常,都需要进一步进行深入调查分析确认。其他侧面值的确定方法都类似。

由于每个槽及槽中的侧面对于决定案例的重要程度不一样,因此必须考虑它们的权重。权重的确定通常可以采取层次分析法 (AHP)。本文在参考文献[7,10]的基础上,给出各个槽及侧面的权重,见表 1。可根据侧面特征值的情况、特征详细描述及原因说明给出事实的描述及原因说明,以供事故调查人员参考。

### 2.3 案例的检索

案例的检索就是在案例库中,依据案例的特征向量(案例中的槽及侧面),寻找与当前飞行事故或事故征候最相似的案例。案例检索作为案例推理的中心环节,其速度和精度关系到整个案例推理的好坏,因而也是 CBR 技术实现的一个研究重点。目前使用的检索策略主要有最近相邻法、归纳索引法和知识引导法等,其中最近相邻法是 CBR 中应用最为广泛也较为简单的一种方法。考虑到飞行事故及事故征候原因案例的描述特点,本文采用最近相邻法进行检索<sup>[12]</sup>。

最近相邻算法通过累加目标案例与案例库中案例的每个特征(即槽和侧面)的相似度值,来确定总的相似度,然后把超过形似度阈值的案例返还给用户。最近相邻算法的通用公式可表示为:

$$S_{IR} = \text{sim}(f_i^I, f_i^R) \sum_{i=1}^n w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (1)$$

式中: $S_{IR}$ 为输入案例  $I$  同存储在案例库中案例  $R$  的总体相似度; $f_i^I$ 和  $f_i^R$ 分别为输入案例和检索到的案例的特征  $i$  的值; $\text{sim}(f_i^I, f_i^R)$ 为案例特征属性  $i$  的相似度函数; $w_i$ 为第  $i$  个案例特征属性在案例匹配中的权值,且  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。 $\text{sim}(f_i^I, f_i^R)$ 的计算公式分 2 种情况:

1)当案例特征属性  $i$  对应的特征值为描述性文字时,如正常/异常,是/否等,则  $\text{sim}(f_i^I, f_i^R)$ 可计算如下:

$$\text{sim}(f_i^I, f_i^R) = \begin{cases} 1 & , f_i^I = f_i^R \\ 0 & , f_i^I \neq f_i^R \end{cases} \quad (2)$$

2)当案例特征属性  $i$  对应的特征值为模糊值时,如公司对机组安全管理状况为 0.85,引入模糊数学的知识,采用模糊集定义的方法来表示,将公司对机组安全管理状况定义为{很好,良好,一般,较差,很差},对应模糊集值可定义为{0.95,0.80,0.75,0.6,0.4},值越大表示安全状况越好,值越小表示安全状况越差,此时  $\text{sim}(f_i^I, f_i^R)$ 计算如下,式中  $\alpha$  与  $\beta$  分别表示案例特征属性  $i$  的特征值的下限值和上限值:

$$\text{sim}(f_i^I, f_i^R) = 1 - |f_i^I - f_i^R| / (\beta - \alpha) \quad f_i^I, f_i^R \in (\alpha, \beta) \quad (3)$$

### 2.4 案例的修正重用

CBR 采用增量式学习,能够不断地积累经验和知识,这要归因于对新案例的保存。在一般行业中,会设置一个相似度阈限( $s_1, s_2$ ),即检索到案例中与检索到的案例相似度大于  $s_2$  时,表示新案例与检索到的案例很相似,信息量和知识含量不高,参考价值不大,不对此案例进行保存;如果新案例与检索到的案例相似度小于  $s_1$ ,表示新案例信息量和知识含量具有较大参考价值,对该案例进行存储。本文对发生的飞行事故及严重的飞行事故征候都对其进行保存。

## 3 实例分析

根据上文给出的案例表示以及案例相似度的计算方法,选取 3 个典型飞行事故案例作为检索案例,选取一个已发生的飞行事故,假设在具体原因未知,根据事故初步调查所能获的知识给出实例,见表 2。

表2 实例分析表  
Tab.2 Example analysis

案例编号	案例 1	相似度	案例 2	相似度	案例 3	相似度	新案例
槽 1(a)		0.65		0.4		0.15	
侧面 1(a1)	TY154	0	737-300	0	Y7-100	0	伊尔 18
侧面 2(a2)	昼	0	夜	1	昼	0	夜
侧面 3(a3)	进近	1	着陆	0	着陆	0	进近
侧面 4(a4)	是	1	是	1	否	0	是
侧面 5(a5)	是	1	是	1	是	1	是
槽 2(m)		0.837 5		0.88		0.88	
侧面 1(m1)	0.75	0.95	0.9	0.8	0.9	0.8	0.70
侧面 2(m2)	0.70	1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.70
侧面 3(m3)	正常	1	正常	1	正常	1	正常
侧面 4(m4)	异常	0	正常	1	正常	1	正常
侧面 5(m5)	正常	1	正常	1	正常	1	正常
侧面 6(m6)	正常	1	正常	1	正常	1	正常
槽 3(p)		0.93		0.662 5		0.88	
侧面 1(p1)	0.70	0.8	0.65	0.75	0.70	0.8	0.9
侧面 2(p2)	0.90	1	0.70	0.8	0.70	0.8	0.9
侧面 3(p3)	正常	1	异常	0	正常	1	正常
侧面 4(p4)	正常	1	正常	1	正常	1	正常
侧面 5(p5)	正常	1	正常	1	正常	1	正常
槽 4(c)		1		0.75		0.38	
侧面 1(c1)	0.9	1	0.9	1	0.70	0.8	0.9
侧面 2(c2)	正常	1	异常	0	异常	0	正常
侧面 3(c3)	0.9	1	0.9	1	0.80	0.9	0.9
侧面 4(c4)	正常	1	正常	1	异常	0	正常
侧面 5(c5)	正常	1	正常	1	异常	0	正常
槽 5(b)	正常	1	正常	1	正常	1	正常
槽 6(s)	正常	1	正常	1	正常	1	正常

通过 2.3 节给出的计算方法计算出新案例与案例库中 3 个案例的总相似度分别为 0.892, 0.748 和 0.744。可见,新案例与案例 1 最为相似,在实际飞行事故及事故征候的调查中,调查人员可以查阅事故 1 的相关原因的详细描述,为调查实际发生的飞行事故提供参考。

## 4 结束语

本文把案例推理方法应用到飞行事故及事故征候调查中,通过建立飞行事故及事故征候的案例识别框架及相应的案例库,采用最近相邻算法计算相似度,找出与新事故及事故征候相似的历史事故,辅助事故调查员查出事故或事故征候的深层次原因,从而采取适当的措施来防止类似事故及导致因素再次出现。实例分析验证了该方法的可行性、实用性和有效性。

## 参考文献:

- [1] ICAO Annex 13 - 2001. Aircraft Accident and Incident Investigation[S]. New York: ICAO Press, 2001.
- [2] 赵勇,赵厚仁. 数据仓库技术在飞行事故中的应用研究[J]. 微计算机信息, 2009, 25(9): 143 - 145.  
ZHAO Yong, ZHAO Houren. The Application of Data Warehouse Technique to Flight Accident[J]. Control and Automation, 2009, 25(9): 143 - 145. (in Chinese)
- [3] 杨全法, 任意. 飞行事故调查中的飞行数据记录器译码分析技术[J]. 工程与技术, 2004(5): 40 - 42.  
YANG Quanfa, REN Zhang. The Decoding and Analysis Techniques of Flight Data Recorders in An Aviation Accident Investigation[J]. Engineering & Technology, 2004(5): 40 - 42. (in Chinese)
- [4] 李春香, 赵志昌. 飞行事故调查辅助分析系统的开发及应用[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2007, 19(1): 130 - 134.

- LI Chunxiang, ZHAO Zhichang. Computer Aided Analysis System for Flight Accident Investigation[J]. Journal of Computer – Aided Design & Computer Graphics, 2007, 19(1): 130 – 134. (in Chinese)
- [5] Bhaumik S K. An Aircraft Accident Investigation: Revisited[J]. J Fail Anal and Preven, 2008, 8: 399 – 405.
- [6] Goranco, Cees Bil. Improvement of Aircraft Accident Investigation through Expert Systems[J]. Journal of Aircraft, 2009, 46(1): 10 – 21.
- [7] 武维新, 张楠. 飞行事故调查与分析导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.  
WU Weixin, ZHANG Nan. Introduction of Flight Accident Investigation and Analysis[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008. (in Chinese)
- [8] 霍志勤, 罗帆. 近十年中国民航事故及事故征候的统计分析[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(12): 65 – 71.  
HUO Zhiqin, LUO Fan. Statistic Analysis on Accidents and Incidents in the Last Decade in China Civil Aviation[J]. China Safety Science Journal, 2006, 16(12): 65 – 71. (in Chinese)
- [9] 罗晓利. 人因(HF)事故与事故征候分类标准及近十二年中国民航 HF 事故与事故征候的分类统计报告[J]. 中国安全科学学报, 2002, 12(5): 55 – 62.  
LUO Xiaoli. Categorization Norm for Human Factor Accidents and Accidental Signs and the Statistics of China Civil Aviation in Recent Twelve Years[J]. China Safety Science Journal, 2002, 12(5): 55 – 62. (in Chinese)
- [10] 罗帆, 余廉. 航空交通灾害预警管理[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2004: 339 – 349.  
LUO Fan, SHE Lian. Aviation traffic calamity early – warning Management[M]. Shijiazhuang: Hebei Science Technique Publishing Company, 2004: 339 – 349. (in Chinese)
- [11] Wang W M, Cheung C F. Knowledge – based Treatment Planning for Adolescent Early Intervention of Mental Healthcare: A Hybrid Case – based Reasoning Approach[J]. Expert System, 2007, 24(4): 232 – 250.
- [12] Faez F, Ghodsypour S H. Vendor Selection and Order Allocation Using An Integrated Fuzzy Case – based Reasoning and Mathematical Programming Model[J]. Int J Production Economics, 2009, 121(2): 395 – 408.
- [13] 邵荃, 翁文国. 城市火灾案例库辅助决策方法的研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(1): 113 – 117.  
SHAO Quan, WENG Wenguo. Research on Assistant Decision – making Method with Urban Fire Case Base[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(1): 113 – 117. (in Chinese)
- [14] 李青, 史雅琴. 基于案例推理方法在飞机故障诊断中应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(5): 622 – 626.  
LI Qing, SHI Yaqin. CBR Methodology Application in Fault Diagnosis of Aircraft[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(5): 622 – 626. (in Chinese)
- [15] 年志刚, 梁式. 知识表示方法研究与应用[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(5): 234 – 237.  
NIAN Zhigang, LIANG Shi. Study and Application of Knowledge Expression[J]. Application Research of Computers, 2007, 24(5): 234 – 237. (in Chinese)

(编辑: 徐敏)

## Research on Method of Aircraft Accident and Incident Auxiliary Investigation Based on CBR

SHI Rong<sup>1,2</sup>, LIU Lan<sup>1</sup>, YANG Jia – zhong<sup>2</sup>, LI Ming – jie<sup>3</sup>

(1. College of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. College of Flight Technology, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China; 3. College of Air Traffic Management, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China)

**Abstract:** In aircraft accident and incident investigation, locating the similar accidents or incidents in the past can help investigators to find out the deep – seated reasons of the accident or the incident. CBR methodology is applied to aircraft accidents and incidents investigation. In the paper, the reasons for the aircraft accident and incident are summarized, and a frame of the accident and incident case is proposed. The historical data of accidents and incidents are used to build a case base. The nearest neighbor method is adopted to search similar cases. Finally, a similarity matching application example is given.

**Key words:** case – based reasoning; aircraft accident; aircraft incident; accident investigation; similarity match