

基于 MAS 的航空机务维修差错预警专家系统

高 曙

(武汉理工大学(余家头校区)计算机学院, 武汉 430063)

摘要: 机务维修是关系到民用航空安全和效益的重要因素之一, 是飞行安全的基础, 因此迫切需要建立航空机务维修差错预警专家系统。采用 Agent 技术作为低层支撑技术, 将基于规则的不确定性推理和基于案例推理的预警方法引入航空机务维修差错预警领域, 给出了总体结构的设计以及关键技术的实现, 从而为航空机务维修差错预警提供了一种新的思路和方法。

关键词: 航空机务维修; 预警管理; 专家系统; Jess; 基于案例的推理

Early-warning Expert Based on MAS for Maintenance Errors in Civil Aviation

GAO Shu

(School of Computer Science, Wuhan University of Technology (Yujiatou), Wuhan 430063)

【Abstract】 Maintenance in aviation is one of the important factor related to the safety and efficiency of civil aviation, and is the base for flight as well. It is necessary to build an early warning expert system for maintenance errors in civil aviation. The paper introduces the method based on the rule-based uncertainty reasoning and case-based reasoning in the field of early warning expert system for maintenance errors in civil aviation by means of Agent technology. It describes the architecture of the early warning expert system and the main implementation technique. The research gives a new idea and foundation for further study of early warning for maintenance errors in civil aviation.

【Key words】 Maintenance errors in aviation; Early-warning management; Expert system; Jess; Case-based reasoning

航空器是保证航空安全的物质基础, 近年来的研究表明: 机务维修差错已经成为空难的主要原因之一。目前, 在我国航空业, 专家系统技术应用于设备故障诊断、检测、装置效能评估、仿真等研究领域较多, 而在机务维修差错预警领域却鲜有所见, 而国外已经开发了一些这样的应用系统, 如波音公司开发了维修差错辅助决策系统(MEDA), 美国海军开发了航空维修人为因素分析和分类扩展系统(HFACS-ME)^[1]。因此, 加强机务维修差错预警与控制的智能化研究具有紧迫性和必要性。

1 多 Agent 技术应用的必要性

多 Agent 系统(Multi-agent System, MAS)是由多个可计算的 Agent 组成, 其中每个成员 Agent 仅拥有不完全的信息和问题求解能力(因而其观点是有限的), 通过多个 Agent 的相互协作来求解的分布式系统。因此, 我们设计多个 Agent 来模拟机务维修中人、机、环、组织这 4 个方面的社会行为和认知: Agent 的智能性使之能够独立完成对维修差错诱因的分析与推理; Agent 之间的协作能力, 使得它们能够相互交流, 实现联合推理; Agent 所具有的能动性和社会性为机务维修差错预警专家系统提供了自然的人-机、人-人之间的交互; Agent 的灵活反应能力和学习能力, 又使之能很快适应环境的变化, 从而更好地完成了专家系统的再学习功能; 同时, Agent 技术本身是面向领域的, 因而特别适合于处理专家系统中复杂的和描述较为模糊的任务。对于像航空机务维修这种环境动态实时变化, 所需信息又不能完全获取, 总的目标必须分解为多个相互协作的子目标、由多个子系统共同完成的复杂系统, 使用 Agent 作为低层支撑技术进行开发

是可能的, 也是必要的, 它将更能体现人类社会智能, 具有更大的灵活性、适应性、健壮性和开放性。

2 航空机务人为差错预警专家系统的框架与功能

2.1 系统框架

基于 MAS 的航空机务维修差错预警专家系统采用 3 层 Browser/Server 体系结构, 如图 1 所示。其中:

(1) 用户层采用浏览器, 使之成为“瘦客户端”, 用户只需浏览器而无须安装 JADE(Java Agent Development Framework)就可访问系统资源;

(2) 中间层使用 Tomcat 作为 Web 服务器, 同时, 系统采用 JADE 作为多 Agent 系统的开发环境, JSP 与 JADE 之间的通信采用文献[2]中所介绍的方式。本系统采用两种方式进行推理: 一个是基于规则的推理, 它将利用 4 个 Agent 从“人、机、环、组织” 4 个方面模拟人的分析、推理、组织和协调能力, 综合分析机务维修差错产生的诱因, 预警可能产生的后果并给出相应的对策; 另一个是基于案例的推理, 通过与历史案例的匹配来分析当前案例产生差错的可能性, 同时也给出相应的对策。

(3) 信息系统层将使用 SQL Server 2000 作后台服务器, 目的是与现有系统的兼容性, 同时知识库将存放各 Agent 公用的知识。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70371034)

作者简介: 高 曙(1967—), 女, 副教授、博士生, 主研方向: 分布式人工智能

收稿日期: 2006-08-30 **E-mail:** gshu418@163.com

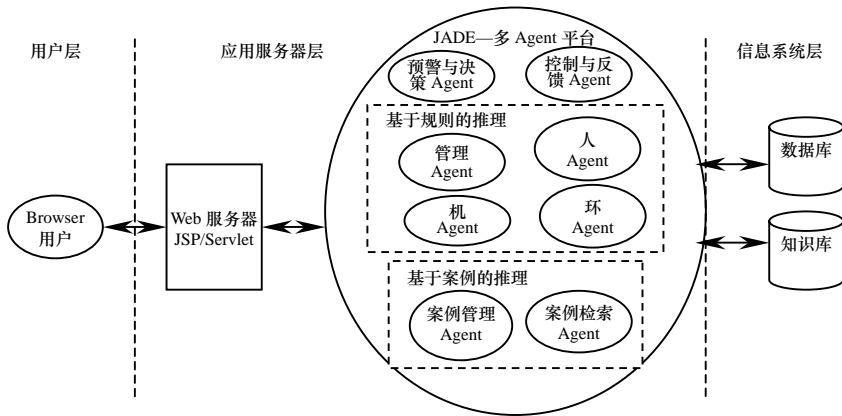


图 1 基于 MAS 的航空机务人为差错控制预警专家系统体系结构

2.2 系统功能

整个系统的功能主要由 8 个 Agent 完成,其中管理 Agent,人 Agent,机 Agent,环境 Agent 构成了基于规则的推理,它们分别负责与管理、人、机、环境有关的诱因的分析和推理。案例管理 Agent 和案例检索 Agent 构成了基于案例的推理,其中案例管理 Agent 用于案例的学习、修改以及案例的收集与汇总,案例检索 Agent 则负责建立案例索引和执行案例的检索与推理功能。预警与决策 Agent 从以上各 Agent 中获取各种可能产生的差错并给出相应预控对策,对这些信息进行分析,并将一些定性指标利用模糊综合评判法转化为定量指标,设置两级警戒值:弱预警和强预警。控制与反馈 Agent 实行反馈监督,其目的是为了使用日常观察到的各种安全隐患及时得到控制。

3 关键技术的实现

3.1 管理 Agent, 人 Agent, 机 Agent, 环境 Agent 的实现

这 4 个 Agent 的结构基本相同,都是通过扩展 JADE 中的 JessAgent 实现,因此每个 Agent 都是一个专家系统。JessAgent 是 JADE 中的第三方软件,旨在为用户提供一种通过 Agent 方便访问 Jess(The Expert System Shell for the Java Platform)^[3] 的接口。管理 Agent,人 Agent,机 Agent,环境 Agent 利用 Jess 提供的推理引擎,实现不确定性推理,

另外以上每个 Agent 有各自的知识库,存储各自领域的知识,这样做的目的是为了利用 MAS 解决传统专家系统知识在存储容量和运行速度的矛盾,通过 Agent 的通信解决分散知识的整合与协同,提高系统的速度、智能性以及灵活性。

3.2 不确定性推理的实现

3.2.1 不确定性推理模型^[4]

对待一般规则 $A \xrightarrow{f(B,A)} B$, 使用确定性因子描述规则强度,定义为 $CF(B, A)$, 若前提 A 为真,部分支持结论 B, 则 $0 < CF(B, A) < 1$, 反之, $-1 < CF(B, A) < 0$, 若前提与结论无关,则 $CF(B, A) = 0$, 在实际应用中,规则强度的值由领域专家主观给出。当某证据 A 肯定为真,为假或对其一无所知时,分别取 $CF(A) = 1, -1$ 或 0 ; 当证据 A 以某种程度为真时, $0 < CF(A) < 1$, 反之, $-1 < CF(A) < 0$ 。原始证据的确定性因子由用户在系统运行时提供,非原始证据的确定因子由如下不确定性推理算法得出:

(1)若已知规则强度 $CF(B, A)$ 和前提可信度 $CF(A)$, 则结论 B 的可信度为

$$CF(B) = CF(B, A) \times CF(A)$$

(2) $CF(A) = CF(A_1 \text{ AND } A_2 \text{ AND } \dots \text{ AND } A_n) = \min$

$$\{CF(A_1), CF(A_2), \dots, CF(A_n)\}$$

$$(3) CF(A) = CF(A_1 \text{ OR } A_2 \text{ OR } \dots \text{ OR } A_n) = \max\{CF(A_1), CF(A_2), \dots, CF(A_n)\}$$

(4)若系统中有两个规则得到同样的结论,则该结论的可信度是:(设 $CF_1(B), CF_2(B)$ 表示从不同的规则得出的某个结论的两个可信度)

1)当 $CF_1(B)$ 和 $CF_2(B) \geq 0$ 时:

$$CF(B) = CF_1(B) + CF_2(B) - CF_1(B) \times CF_2(B)$$

2)当 $CF_1(B)$ 和 $CF_2(B) \leq 0$ 时:

$$CF(B) = CF_1(B) + CF_2(B) + CF_1(B) \times CF_2(B)$$

3)否则: $CF(B) = CF_1(B) + CF_2(B)$

若有多个规则得到同样的结论,则可反复使用如上公式。

3.2.2 不确定性推理在 JessAgent 中的实现

为了在 Jess 中实现不确定性推理,系统采用 JavaBean 的形式将事实和结论封装成类,对类的成员的操作不以成员方法的形式完成,而是以规则后件的形式完成,例如对于可信度的计算。定义的 JavaBean 类中 CausationBean 存储各种诱因, ConclusionBean 存储可能导致的差错和相应对策,其中 CausationBean 如下, ConclusionBean 类似,故略。

```
import java.io.Serializable;
public class CausationBean implements Serializable
{
    private String m_name = ""; //诱因名
    private float m_cf = 0; //可信度
    public float getCf() { return m_cf; }
    public void setCf(float f) { m_cf = f; }
    public String getName() { return m_name; }
    public void setName(String s) { m_name = s; }
}
```

用 Jess 的函数实现的一个例子如下:

```
(clear all)
(defclass reason CausationBean)
(bind ?sb (new CausationBean))
(definstance reason ?sb static )
(call ?sb setName "时限管理差错")
(call ?sb setCf 0.9)
(bind ?sb1 (new CausationBean))
(definstance reason ?sb1 static )
(call ?sb1 setName "未按规定重新校验")
(call ?sb1 setCf 0.8)
(bind ?sb2 (new CausationBean))
(reset)
(defrule aa ?fact1 <- (reason (name "时限管理差错") (cf ?c1))
?fact2 <- (reason (name "未按规定重新校验") (cf ?c2))
=> (bind ?c3 (* 0.8 (min ?c1 ?c2)))
(defclass conclusion ConclusionBean)
(bind ?sb2 (new ConclusionBean))
(definstance conclusion ?sb2 static )
(call ?sb2 setError "使用超时限器材")
(call ?sb2 setCf ?c3)
(call ?sb2 setMeasure "加强时限管理, 定期进行校验")
(printout t (call ?sb2 getError) "可信度为 " ?c3 ". 相应措施: " (call ?sb2 getMeasure))
(run)
(reset)
(facts)
```

3.3 基于案例的推理

由于航空机务维修差错产生原因的复杂性决定了常规性的预警方法无法完全满足其需求,同时过去的经验和教训能够为预防同类型事故提供非常有效的帮助,因此本系统引入了基于案例推理的预警方法,它首先对已发生的维修差错案例进行总结和学习,并存入案例库中,然后当出现新案例时,检索并匹配案例库的内容,找出相似度最大的案例,如果相似度大于设定的阈值,就发出预警信号同时给出对策。由于这种方法较好地模拟了专家的联想、类比、归纳和记忆等思维能力,因此获得较好的预警效果。

3.3.1 案例的表示方法

本系统中采用三元组的方法描述机务维修差错案例:
Maintenance_Error_Case=(Causation, Error, Measure)
这里的3个参数代表3个描述域:

(1)Causation 是诱因特征描述域,它对案例中差错产生的诱因从“人、机、环、管理”4个方面分别进行描述;

(2)Error 是可能产生差错的描述域,用来设置预警阈值和差错发生情况;

(3)Measure 是对策的描述域,包括经验教训和应对措施。

以上三元组采用面向对象方法实现。

3.3.2 案例的检索方法

案例的检索与选择是基于案例推理系统中的关键步骤。本系统采用发展较为成熟、应用最为广泛的最近邻搜索策略。

设案例集是 $C = \{C_i | i \in \{1, 2, \dots, m\}\}$, 这里 $C_i = \{c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{im}\}$ 是第 i 个案例, c_{ij} 是 c_i 的第 j 个属性。又设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 是新案例, x_j 是 X 的第 j 个属性,则 C_i 和 X 的综合相似度计算公式是

$$Sim(C_i, X) = \sum_{j=1}^n sim(c_{ij}, x_j) w_j$$

其中 $Sim(C_i, X)$ 表示第 i 个历史案例 C_i 与新案例 X 的综合相似度, w_j 为第 j 个属性在参与匹配检索的属性中所占的权重,且所有的权重之和为 1,本系统通过专家评价法结合层次分析法确定权重, $sim(c_{ij}, x_j)$ 表示历史案例 C_i 的第 j 个属性与新案例 X 的第 j 个属性的相似度,其计算公式依据属性变量的类型而分别采用如下方法:

(1)属性变量是字符型,则

$$sim(c_{ij}, x_j) = \begin{cases} 1 & \text{当属性值相等} \\ 0 & \text{当属性值不相等} \end{cases}$$

(2)属性变量是连续数值型,则

$$sim(c_{ij}, x_j) = 1 - \frac{|c_{ij} - x_j|}{\max(|x_{*j} - y_j|)}$$

其中 x_{*j} 的取值范围是案例库中所有案例的第 j 个属性值。

(3)属性变量是离散数值型,则

$$sim(c_{ij}, x_j) = 1 - \frac{|c_{ij} - x_j|}{\max_j}$$

其中 \max_j 是案例库中所有案例的第 j 个属性取到的最大值。

当计算得到的案例综合相似度超过了预警阈值,说明案例库中存在与新案例极为相似的案例,则发出预警信息并向相关部门提交可能产生的差错及应对措施的报告。

3.3.3 案例的修改与学习

案例库中的初始案例来源于近 20 年来国内外与机务维修差错有关的民航事故,在系统运行过程中,还需要不断学习、积累,以便案例库更加丰富、完整。案例的学习是指当有新的事故发生时,按照案例表示方法描述此事故,并检索案例库中是否有类似的案例,如果有,则可综合这些类似的案例,使之内容更丰富,描述更准确,如果没有,则说明此案例具有新的特征,需要加入;案例的修改是当某新案例检索到了相似的案例后,系统发出了预警信息和相关对策,但是根据反馈的信息,没有取得良好的效果,则需要调整案例中 Error 和 Measure 两个域的内容以适应新形势,解决新问题。

4 小结

本系统采用 Agent 技术作为低层支撑技术,将基于规则的推理和基于案例的推理的预警方法应用于航空机务维修差错预警领域,为民航机务维修差错的预测提供了新的尝试和有益的探索,并且取得了良好的效果,从而为民航机务维修部门更好地组织维修工作,提高维修质量,消除不安全因素,减少维修差错,保障飞行安全奠定了基础。

参考文献

- 1 李克武,郭建胜,周长飞.航空维修人为因素事故分析系统研究[J].航空维修与工程,2005,28(6):42-43.
- 2 Berre D L, Fourdrinoy O. Using JADE with Java Server Pages(JSP)[Z]. <http://jade.tilab.com/doc/tutorials/jsp/JADE4JSP.html>.
- 3 Ernest J, Friedman-Hill. Jess. The Rule Engine for the Java Platform[Z]. <http://www.jessrules.com/>.
- 4 吴慧中,陈定方,万耀青.机械设计专家系统研究与实践[M].北京:中国铁道出版社,1994:102-104.

(上接第 194 页)

参考文献

- 1 Wei G Q, Brauer W, Hirzinger G. Intensity and Gradient-based Stereo Matching Using Hierarchical Gaussian Basis Function[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1143-1160.
- 2 Roy S, Cox L J. A Maximum-flow Formulation of the N-camera Stereo Correspondence Problem[C]// Proc. of IEEE Int. Conference on Computer Vision, Bombay, 1998.
- 3 Veksler O. Efficient Graph-based Energy Minimization Methods in Computer Vision[D]. Cornell University, 1999.
- 4 韦穗,杨尚俊,章权兵,等.计算机视觉中的多视图几何[M].合肥:安徽大学出版社,2002.
- 5 Kolmogorov V. Graph Based Algorithms For Scene Reconstruction From Two or More Views[D]. The Graduate School of Cornell University, 2004.
- 6 Boykov Y, Veksler O, Zabih R. Fast Approximate Energy Minimization via Graph Cuts[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(11): 1-18.