

文章编号:1000-582X(2005)07-0055-04

火箭安全控制智能决策支持系统的设计与实现^{*}

李 娅^{1,2}, 魏洪波³, 李 伟², 黄席樾²

(1. 重庆工学院 计算机系, 重庆 400050; 2. 重庆大学 自动化学院, 重庆 400030;
3. 西昌卫星发射中心, 四川 西昌 615000)

摘 要:安全控制问题是火箭发射中的首要问题,也是各个航天国家关注的焦点问题.文章论述了火箭安全控制的重要性,对现有安全控制系统进行了分析,针对其特点,结合人工智能技术特别是专家系统,提出了火箭安全控制智能决策支持系统.介绍了系统的结构和功能,引入了把产生式表示和面向对象表示相结合的一种混合性的知识表示方法,并对系统的推理控制策略进行了研究,提出了与/或决策网和基于规则的通用不确定推理模型.

关键词:安全控制;智能决策支持系统;知识库;推理机

中图分类号:TP273.2

文献标识码:A

目前,随着科学技术的不断进步,航天事业蓬勃发展,火箭发射成为各个航天国家共同研究的课题.而火箭发射中,安全控制问题一直是有待解决的首要问题,也是各个航天国家关注的焦点问题.

火箭安全控制系统实质上是通过火箭飞行中姿态及其他数据的分析,判断火箭当前的飞行是否安全进而进行报警;当火箭失控且落点计算表明对地面目标构成威胁时发出信号,提醒安全控制部门给出炸毁指令.系统是通过计算机的计算能力,通过对测量数据的分析,为安全控制的最终决策提供支持.

现有的火箭安全控制决策系统是依据专家给出的安全控制规则,通过布尔逻辑运算得出最终的安全控制决策.这些确定性的安全控制规则并没有反映出实际各种安全控制信息的重要性、精确性程度及安全控制规则的优先程度,最终形成的安全控制决策也未能反映出基于不精确测量信息的真实可信度和相应的可靠度.因此,针对现有安全控制系统存在的缺陷和不足,结合人工智能技术特别是专家系统,建立和完善火箭安全控制智能决策系统.

1 系统的结构与功能

火箭安全控制智能决策支持系统 RSCIDSS(Intelligent Decision Support System of Rocket Safety Control)

采用面向对象的程序设计方法和系统分析方法,采取人工智能技术和数值计算相结合的方法处理安全控制决策领域中难以用严格数学模型描述的信息、知识和安全控制决策过程.

该系统的功能是辅助安控军官对火箭的飞行状态进行实时监控,正确判断火箭的飞行状态,及时发出相应的处理信号等.它主要由安全属性数据库、知识库、决策推理机和其它辅助模块组成.安全属性数据库存储火箭飞行状态的各种信息参数,它主要包括外测弹道落点、遥测弹道落点和遥测压力参数等;知识库是系统工作的基础,用来描述火箭安全控制的知识和专家经验,包括安判参数、规则元和安全控制规则3个部分;决策推理机由定性的知识推理和模型运算构成.知识推理采用与/或决策网构成,在安全控制决策过程中,推理机根据安全属性数据,通过宽度优先搜索选用适当的规则,最终提出各种安全控制决策方案.

2 RSCIDSS 知识库的设计

本系统的安全控制决策知识主要来自于领域专家的经验知识,它主要包括安判参数、规则元和安全控制规则三类.安判参数体现了火箭飞行在不同时刻的状态参数,如落点 β_c 、射程 L_c 、速度 V_c 、倾角 θ_c 和偏角 σ_c 等;规则元用以描述安全控制规则的一个条件或结论,

* 收稿日期:2005-03-27

基金项目:国防预研基金资助项目(2001285)

作者简介:李娅(1979-),女,重庆人,重庆工学院助教,重庆大学硕士研究生,研究方向:人工智能、专家系统及数据库.

如 $S_1(W, \beta_c, 10, J)$ 的形式;安全控制规则是将若干规则元按一定的方式和次序相关联而形成的一个知识单元,体现了安全控制的原则和规律。

在 RSCIDSS 中,领域专家是以产生式的表示形式给出的安全控制决策知识,结合所给知识的结构特征,采用了基于产生式的不确定表示与面向对象表示相结合的知识表示方法。

2.1 基于产生式的不确定知识表示

在 RSCIDSS 中,安全控制决策知识常常不能用常规的准确的数据度量,或不能精确地描述,这种不确定的模糊的知识表示和处理方法多种多样。笔者采用的是基于产生式的不确定性知识表示方法,其表示形式如下:

$$R: \text{IF } E_1(\omega_1) \text{ AND } E_2(\omega_2) \text{ AND } \dots \text{ AND } E_n(\omega_n) \\ \text{THEN } H(CF(H, E), \lambda),$$

其中 $E_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是规则的前提条件, H 是结论; $\omega_i (i=1, 2, \dots, n)$ 是规则子条件 $E_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的权值, $\sum \omega_i = 1$; $CF(H, E) (0 < CF(H, E) \leq 1)$ 是规则的可信度; $\lambda (0 < \lambda \leq 1)$ 是规则可否应用的阈值,只有当前提条件 E 的可信度 $CF(E)$ 达到或超过这个限度,即 $CF(E) \geq \lambda$ 时,相应的规则才会被应用,上述表示方式比较符合人们自然的逻辑推理方式^[1-2]。例如:

```
IF (外测落点连续报警超界 60 次) (1.0)
THEN (外测告警)(0.8,0.7),
应用规则元的表示形式,即:
IF  $S_{20}(1.0)$  THEN  $S_w(0.8,0.7)$ 。
```

2.2 面向对象知识表示

随着面向对象技术 OOT(Object-Oriented Technology)的发展,它的一系列优点如表达自然,支持数据抽象、代码重用以及采用它所开发的程序具有良好的界面和结构,易于维护和易于扩充等越来越为人们所认识,已经被广泛应用于各个领域。

一般地,用面向对象的类或对象表示知识的方法,都可以称为面向对象知识表示 OOKR^[3](Object-Oriented Knowledge Representation)。OOKR 借助面向对象的抽象性、封装性、继承性和多态性,以抽象数据类型为基础,能方便地描述安全控制决策知识对象的静态特征和动态行为。在系统中,OOKR 是将多种单一的知识表示方法如规则表示方法按照面向对象的原则组成一种混合的知识表示形式,即以对象的属性、动态的行为特征、安全控制决策知识和数据处理方法等有关知识封装在表达对象的结构中。用 OOKR 既能实现符号推理,又能进行数值计算。

对象是面向对象知识表示方法的主体。在 OOKR

中,知识由对象构成,具有相同数据结构和方法的知识对象的抽象称为一个知识类,知识对象是知识的实例,具有这个知识类所描述的数据结构和方法特性。知识对象将知识和处理这些知识的方法封装在一起,一个对象可以描述和求解一个独立的子问题。在 RSCIDSS 中,根据安全控制决策知识的结构特点及其分类,可以分别定义 3 个知识类:安判参数类、规则元类和安全控制规则类。

2.3 产生式规则与面向对象表示相结合

RSCIDSS 是在产生式系统形式的基础上引入了面向对象的知识表示方法,向用户提供了传统产生式系统所不具有的封装性和对象局部存储机制,以增强系统的结构化知识表示能力。

在产生式系统中,知识主要是指事实和规则,面向对象的知识则以类、实例、消息来组织和表示的。RSCIDSS 模型结合产生式和面向对象的知识表示,对系统中描述的产生式知识,即事实与规则采用面向对象方法以类、实例进行表达、组织和管理。

3 RSCIDSS 推理机制

在 RSCIDSS 中,采用了面向对象的知识表示方式,同样采用面向对象的推理机制,这种推理机制是通过类的继承,对象间的消息传递方法来实现的。根据安全控制决策知识的特点,本系统采用了与/或决策网和基于规则的通用不确定推理模型。

3.1 RSCIDSS 决策网的形成

根据安全控制决策知识的表示形式,很容易建立安判规则的决策网络。这里以“外测告警”模型为例来建立决策网络。

“外测告警”模型的知识如下所示:

```
 $R_1: \text{IF } S_1(0.5) \text{ AND } S_3(0.5) \text{ THEN } S_{w1}(0.8, 0.6);$ 
 $R_2: \text{IF } S_1(0.5) \text{ AND } S_4(0.5) \text{ THEN } S_{w1}(0.8, 0.6);$ 
 $R_3: \text{IF } S_1(0.75) \text{ AND } S_5(0.25) \text{ THEN } S_{w1}(0.9, 0.7);$ 
 $R_4: \text{IF } S_2(0.5) \text{ AND } S_3(0.5) \text{ THEN } S_{w1}(0.9, 0.6);$ 
 $R_5: \text{IF } S_2(0.75) \text{ AND } S_4(0.25) \text{ THEN } S_{w1}(0.8, 0.6);$ 
 $R_6: \text{IF } S_2(0.5) \text{ AND } S_5(0.5) \text{ THEN } S_{w1}(0.9, 0.6);$ 
 $R_7: \text{IF } S_{w1}(1.0) \text{ THEN } S_w(0.8, 0.7);$ 
 $R_8: \text{IF } S_{20}(1.0) \text{ THEN } S_w(0.8, 0.7);$ 
 $R_9: \text{IF } S_{21}(1.0) \text{ THEN } S_w(0.8, 0.7);$ 
```

由上面这些安全控制决策知识的表达形式,可以看出它们之间的关系可以用逻辑与门“AND”和逻辑或门“OR”这两种关系来表示,因此,在系统的安全控制决策过程中,问题的求解过程自然地可以用一个与/或树来表示.如图 1 所示.

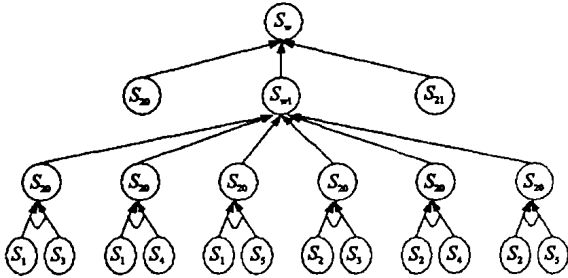


图 1 “外测告警”决策网络

由图 1 可见,用决策网所表示的知识更为直观,可以明显的知道所需的结点数目,所需的观测证据的结点以及安全控制决策规则的数目等.由“外测告警”模型,所建立的决策网表示成与/或树的形式,而不是通常的网络.

3.2 RSCIDD 不确定推理模型

在充分考虑了各种不确定性因素的基础上,系统采用了一种基于规则的通用不确定推理模型.不确定性的推理方法主要是采用可信度方法,它是肖特里菲 (E. H. Shortliffe) 等人在确定性理论的基础上,结合概率论等提出的一种不确定性推理方法^[4].在 RSCIDD 中,推理方式采用的是带权值和阈值限度的不确定性推理.

3.2.1 几种可信度的讨论

1) 条件的可信度 $CF(E)$

这里,仍采用原有的方法——领域专家评定给出初始证据的可信度.即:在决策推理过程中, $CF(E)$ 的值是由领域专家根据经验在模糊规则中直接给出的,不需要采用建立数学模型的方法来实现,因为就现阶段来说,建立数学模型较为复杂,也是比较困难的.

2) 规则的可信度 $CF(H, E)$

$CF(H, E)$ 的取值范围是 $[0, 1]$, 其值表示当前前提条件 E 所对应的证据为真时,该前提条件对结论 H 为真的支持程度^[5]. $CF(H, E)$ 的值也是根据经验统计出来,由领域专家在模糊规则中直接给出的.

3) 结论的可信度 $CF(H)$

当条件可信度 $CF(E) \geq \lambda$, 该规则就被应用,可由规则的可信度 $CF(H, E)$ 推出相应的结论 H 的可信度 $CF(H)$. 即:

$$CF(H) = CF(E) \times CF(H, E).$$

3.2.2 三种基本模型的讨论

1) 逻辑组合模型

已知条件的可信度,求条件的逻辑组合关系式的可信度.在安全控制规则中只有两种基本的逻辑组合:证据析取、证据合取^[5].如表 1 所示:

表 1

条件	条件的可信度
$(E_1 \cap E_2)$	$\omega_1 \times CF(E_1) + \omega_2 \times CF(E_2)$
$(E_1 \cup E_2)$	$\max[CF(E_1), CF(E_2)]$

2) 顺序规则模型

已知规则:

IF E' THEN E ,
IF E THEN H

的可信度分别为 $CF(E, E')$ 和 $CF(H, E)$, 规则

IF E' THEN H

的可信度 $CF(H, E')$ 应为:

$$CF(H, E') = CF(H, E) \times CF(E, E').$$

3) 并行规则模型

如果可由多条知识推出一个相同结论,并且这些知识的前提相互独立,结论的可信度又不相同,则可通过如下定义的确定性因子的组合函数来计算该结论的综合可信度^[5].

$$CF_{\text{COMBINE}}(H, E_1 \cup E_2) = \begin{cases} CF(H, E_1) + CF(H, E_2) - CF(H, E_1) \times CF(H, E_2), & CF(H, E_1) \geq 0, CF(H, E_2) \geq 0 \\ \frac{CF(H, E_1) + CF(H, E_2)}{1 - \min[CF(H, E_1), CF(H, E_2)]}, & CF(H, E_1) \text{ 与 } CF(H, E_2) \text{ 异号} \\ CF(H, E_1) + CF(H, E_2) + CF(H, E_1) \times CF(H, E_2), & CF(H, E_1) < 0, CF(H, E_2) < 0 \end{cases}$$

其中, CF_{COMBINE} 中各公式的使用取决于各确定性因子的正负,多于两个确定性因子的组合函数要迭代应用.即是说,先计算出两个 CF 值的 CF_{COMBINE} , 然后再用这个 CF_{COMBINE} 和第 3 个 CF 值代入上式计算,依次类推.

3.3 不确定推理步骤

根据前面提出的不确定性推理模型,来详细介绍系统的不确定推理过程^[6].

- ①开始时,将初始事实(数目不确定,由系统判断生成)加入基本事实链表中;
- ②如基本事实链表为空,则转入②;
- ③根据所形成的决策网,按照宽度优先搜索策略,形成推理规则链表;
- ④把推理规则链表的头指针赋给当前正在执行的规则;
- ⑤从当前正在执行的规则中得到前提条件数据项

的个数、名字等;

⑥判断前提条件数据项的名字是否都在基本事实链表中,若是,则计算出该规则前提条件的可信度 $CF(E)$;

⑦当 $CF(E)$ 的值大于该规则的阈值 λ 时,该条规则才能激活. 然后计算出该规则结果的可信度 $CF(H)$;

⑧判断该规则的结果是否已存在基本事实链表中,若不存在,则把它加入基本事实链表中;

⑨若当前正在执行的规则不是推理规则链表的最后一个规则,则把推理规则链表的下一条规则赋给它,并转入⑤;

⑩根据规则结论标志,把对应规则的结论,置于期望结论链表中,判断期望结论链表中的结论在基本事实链表中是否存在,若是,则返回推理的结论;

⑪清空基本事实链表;

⑫推理结束.

4 结束语

RSCIDSS 运用了不确定推理机制,针对安全判定知识结构的特点,采用了面向对象分析的系统模型,用面向对象的程序设计语言 Visual C++ 开发,系统界面友好,操作方便,能大大提高火箭飞行安全控制的准确性,对火箭的飞行状态进行有效的管理. 图 2 给出了安全控制系统的界面,它包括 3 个组成部分:数据列表、弹道数据显示和安判结果.

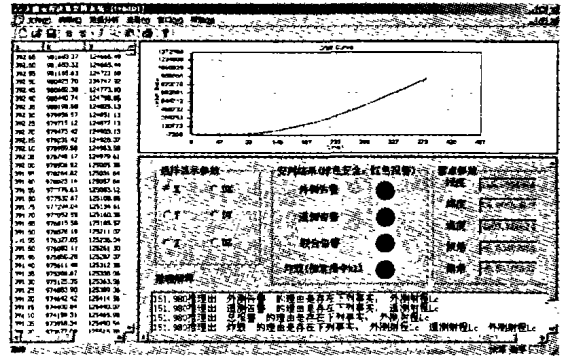


图 2 安全控制系统的界面

参考文献:

- [1] JORMAZ D N, KHOSHNEVIS B. Process Planning Knowledge Representation Using an Object-oriented Data Model [J]. International Journal of Computer Integratee Mannufacturing, 1997, 10(1-4): 92-104.
- [2] 王永庆. 人工智能原理与方法[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1998.
- [3] 唐明述. 关于碱集料反应的几个理论问题[J]. 硅酸盐学报, 1996, 33(1): 17-23.
- [4] GIARRATANO J, RILEY G. Expert Systems Principles and Programming [M]. Third Edition Beijing: China Machine Press, 2002.
- [5] 蔡自兴, 徐光佑. 人工智能及其应用[M]. (第二版) 北京:清华大学出版社, 1996.
- [6] 刘卫红. 基于神经网络与专家系统集成的智能决策系统的应用研究[D]. 重庆:重庆大学计算机学院, 2002.

Design and Realize Intelligent Decision Support System of Rocket Safety Control

LI Ya^{1,2}, WEI Hong-bo³, LI Wei², HUANG Xi-yue²

(1. Department of Computer Science, Chongqing Institute of Technology, Chongqing 400050, China;

2. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

3. Xichang Satellite Launching Center, Xichang 615000, China)

Abstract: The problem on rocket safety control is important during the rocket launching proceeding, and is also the focus of every space country. The importance of rocket safety control is introduced, and the characteristics of the existing system are analyzed. Because of the special characteristics, the paper proposes an intelligent decision support system of rocket safety control, adopting the technique of artificial intelligent especially expert system. First, the authors introduce rocket safety control architecture and function. Then, a new method is proposed to represent the knowledge which is integrated with production rule and object-oriented technique. Furthermore, the reasoning is investigated, and decision-making network and uncertainty reasoning model are introduced.

Key words: safety control; intelligent decision support system; knowledge base; inference engine