

文章编号:1000-582X(2004)12-0102-05

# 基于对象的火箭安全控制智能决策系统设计\*

李 娅<sup>1,2</sup>, 赵国庆<sup>3</sup>, 黄席樾<sup>1</sup>, 乔 宇<sup>1</sup>, 李 伟<sup>1</sup>

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

**摘 要:**在传统的火箭安全控制系统中,由于受到设备测量系统误差和弹道跟踪系统误差的影响,使测量所得的弹道参数精度不高,导致系统经常产生误报警。针对此问题,采用了面向对象方法建造火箭安全控制智能决策系统。首先对系统的总体结构进行了分析与设计,并对面向对象技术产生式规则知识表示以及知识库构建技术在火箭安全控制中进行了研究,最后对系统的推理过程进行了探讨。实践表明,由该方法开发的火箭安全控制智能决策系统,具有准确率高、易扩充、易维护等优点。

**关键词:**安全控制;智能决策系统;专家系统;知识库;面向对象

**中图分类号:**TP273.2

**文献标识码:**A

火箭的安全控制就是依据火箭飞行中的各种参数来确定火箭的飞行状态即正常、超越告警线还是炸毁线等,并能在超界的情况下,及时、准确地产生报警信号。而传统的火箭安全控制系统,一方面,设备测量和弹道跟踪产生的系统误差,使得弹道参数的准确采集和实时处理十分困难;另一方面,弹道参数的范围广且层次复杂,弹道出现的故障征兆表现形式多样且混乱,这些使得系统极易产生误报。近十几年来,随着专家系统(Expert System)和知识工程的迅速发展,特别是面向对象(Object-Oriented)方法越来越多地应用于专家系统中。为此,笔者开发了基于对象的火箭安全控制智能决策系统,以消除传统的火箭安判系统的弊端。

专家系统<sup>[1]</sup>是一个具有大量的专业知识与经验的程序系统,它应用人工智能技术和计算机技术,根据某领域一个或几个专家提供的知识和经验进行推断和判断,模拟人类专家的决策过程,以便解决那些需要人类专家处理的复杂问题。由于面向对象的方法具有封装性(encapsulation),继承性(inheritance)和多态性(polymorphism)<sup>3</sup>大重要特性,因此采用该方法来建造的专家系统,能够较好地实现知识库(Knowledge Base)的建立和推理机制的各种相互关系,开发的系统

也具有较理想的效果<sup>[2-4]</sup>。

笔者介绍了基于对象的火箭安全控制智能决策系统,采用 Visual C++6.0 和 Microsoft SQL Server 2000 为开发平台,利用面向对象的编程技术实现。面向对象的程序设计具有模块化的优点,能够集成人工智能程序与传统应用程序,并为智能系统的构造提供多种策略,使知识表示的框架结构易于维护、管理<sup>[2-4]</sup>。用该方法设计的系统,不仅提高了弹道参数和弹道跟踪系统误差的估计精度,而且系统也具有较好的人机界面,便于操作;同时,也提高了系统的易维护性和易扩充性。在使用过程中,该系统能灵活地处理各种输入信息,较好地对火箭的飞行状态进行判断,及时地产生各种报警信号。

## 1 安全控制系统总体结构

基于对象的火箭安全控制智能决策系统采用面向对象的程序设计方法,把弹道专家判断火箭飞行状态的知识分为安判参数,规则元和规则,然后运用这3类知识,经过推理机制进行推理,最后判断出火箭的飞行状态,并在超界的情况下,及时、准确地产生报警信号。

安全控制系统的总体结构如图1所示,该系统由知识库、推理机、中间事实库和其它辅助模块组成。其

\* 收稿日期:2004-09-12

基金项目:国防预研基金资助项目(中国人民解放军总装后字2001285)

作者简介:李娅(1979-),女,重庆市人,重庆大学硕士,研究方向:人工智能、专家系统、数据库。

工作原理大致为：在知识库创建和维护阶段，知识获取系统在弹道专家和知识工程师的指导下，将与安判有关的知识存放于原子事实库和规则库中或对原子事实库和规则库进行维护（添加、删除和修改）。在安判阶段，首先，在线数据经过预处理后，与存放在原子事实库中的事实进行匹配，将匹配成功的事实存放在中间事实库中。然后，中间事实库的事实又与规则库中的前提进行比较，推理得出结论。最后，安判结果也通过人机界面返回给用户，如需要，解释系统可调用知识库中的知识和中间事实库中的事实对安判结果和安判过程中用户提出的问题做出合理的解释。

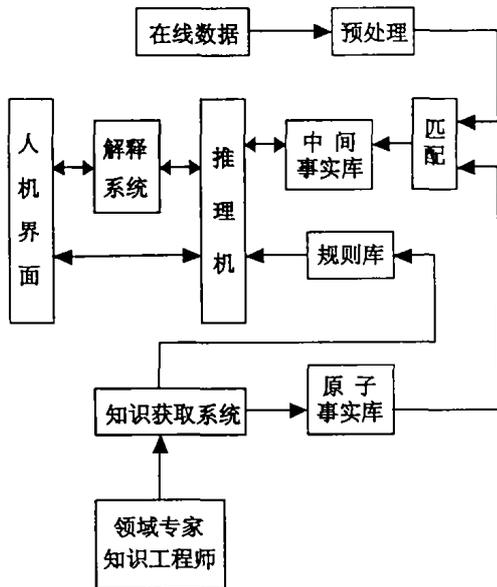


图1 安全控制系统总体结构

知识库<sup>[3]</sup>是一个独立的实体，它内存的知识通过程序来提取和管理。安判知识库主要包括安判参数，原子事实和规则3个部分。安判参数是反映火箭飞行状态的基本参数，如落点、射程、速度等。原子事实库存放安判规则最原始的事实。规则一般是专家的启发性经验知识，体现了安判的一般规律原理。

推理机<sup>[3]</sup>是专家系统的组织控制机构，它根据当前的火箭飞行的状态，应用知识库中的知识按一定的策略进行推理，以达到要求的目标。

中间数据库是一个随时间而不断更新的动态数据库，用于存放与原子事实库匹配成功的事实和推理过程得到的各种中间结果信息等。

## 2 知识库的建立和维护

### 2.1 知识获取

知识获取<sup>[4]</sup>是建造专家系统的第1步。主要是在访问专家阶段，知识工程师通过对专家实际工作时如何求解问题进行观察，与专家进行长时间的交谈等手

段获得知识，然后对这些知识进行精化，检查和验证等处理，最后将这些处理过的知识作为机器学习的材料。

在安全控制系统中，存在着多种不同的知识类型，根据不同的知识类型，采用了不同的方式获取与安判有关的知识对象。

第1种是以统计结果作为安判知识。即对设备测量弹道过程中丢失的部分测量元素（位置、速度等），可以采用一元回归或多元回归的方法获取。

第2种是直接来自专家那儿获得，以专家经验，指标作为安判知识。对一些与安判有关的知识，不能用统计方法来直接描述的，就需要根据弹道专家积累的长期经验对其进行客观化描述<sup>[5]</sup>。如知识中的规则类一般采用此方法存入安判知识库中。

### 2.2 知识库的建立

建立一个知识库首先要从知识表示入手。人工智能中知识的表示方法很多，主要有：状态空间法，问题归结法，谓词逻辑法，语义网络法和产生式表示法等<sup>[1]</sup>。但由于火箭安判参数复杂，影响因数众多，难以用传统的知识表示描述，故笔者采用了面向对象的知识表示方法。面向对象的知识表示方法是一种理想的表示形式，它以抽象数据类型为基础，能方便地描述复杂知识对象的静态特性和动态行为，且兼有一般知识表示方法的优点<sup>[6]</sup>。

安全控制系统中，知识包括安判参数，规则元和规则。

#### 1) 安判参数

安判参数很多，主要有落点 $\beta_c$ 、射程 $L_c$ 、速度 $V_c$ 、倾角 $\theta_c$ 和偏角 $\sigma_c$ 等等。火箭飞行在不同的时刻，同一安判参数将会有不同的取值，获得不同时刻的安判参数就是安判的依据。这里，将安判参数的结构及其关于安判参数的操作定义为安判参数类 CSafePara。其定义为：

```

class CSafePara
{
protected:
    BOOL m_bFlag;           //外测、遥测标志
    CString m_SafeParaName; //参数名称
    char m_SafeParaObj;    //对应的变量名称
    BOOL m_bJflag;         //有无告警线标志
    BOOL m_bZflag;         //有无炸毁线标志
public:
    CSafePara * insertSafePara(); //插入
    void deleteSafePara();       //删除
    ... ..
  
```

};

## 2) 规则元

规则元是具有确定信息的一个判断、关系表达式或指令,用以描述规则的一个条件或结论,是组成规则的基本单位。

在安全控制系统中,涉及到二十几条规则元。这里,以规则元  $S_1(W, \beta_c, 10, J)$  为例说明如下:

$W$  为外测,  $Y$  为外测,  $J$  为告警线,  $S_1$  为计算机内部产生的信号,它的值为 0 或 1。

当  $S_1(W, \beta_c, 10, J)$  为 1 时,表示外测落点  $\beta_c$  连续 10 点超越告警线,否则为 0。其它规则元具有与  $S_1(W, \beta_c, 10, J)$  相类似的表达形式。因此,可以根据这些规则元,将规则元的属性及对规则元操作定义为规则元类 CRuleEle。其定义为:

```
class CRuleEle
{
protected:
    char m_Code; //字符编号
    BOOL m_bFlag; //外测、遥测标志
    char m_SafeParaObj; //变量名称
    int m_k; //超界点数
    BOOL m_bJZflag; //超告警线还是炸毁线
public:
    CRuleEle * insertRuleEle(); //插入
    void deleteRuleEle(); //删除
    ... ..
};
```

在此,根据规则元定义了中间事实库和原子事实库。其中,原子事实库中存放的是与安判规则有关的规则元;中间事实库中存放的是安判过程中所要用的各种规则元,它们都是由规则元类生成的所有规则元对象以链表的形式连接而成。

## 3) 规则

规则是将若干规则元按一定方式和次序相关联而形成的一个知识单元。该系统的规则采用产生式的表示方式,其表示形式为:

```
Rule1:
IF  $S_1(W, \beta_c, 10, J)$  AND  $S_3(W, V_k, 10, J)$ 
THEN  $S_w$ ;
... ..
```

```
Rule10:
IF  $S_7(Y, \beta_c, 10, J)$  AND  $S_9(Y, V_k, 10, J)$ 
THEN  $S_y$ ;
... ..
```

```
Rule20:
IF  $S_w$  AND  $S_y$ 
THEN  $S_z$ ;
... ..
```

其中,  $S_w$  表示“外测告警”,  $S_y$  表示“遥测告警”,  $S_z$  表示“总告警”。

为了实现对这些规则的面向对象描述,可将规则的前提事实和结论分别对应于面向对象的一个类,可以把事实的结构以及关于这些事实的操作定义成事实类 CFact。只不过这里的事实是用规则元中的字符编码来描述的,因此,在规则的前提事实与中间事实库中的事实进行比较推理时,实质上就是前提事实与存放在中间事实库中的字符编码进行匹配,最后推理得出结论。同样对于规则而言,可以把规则的结构以及关于规则的推理定义成规则类 CRule,由规则类生成的所有规则对象以链表的形式连结起来便构成了知识库。事实类 CFact 与规则类 CRule 的分别定义如下:

```
class CFact
{
protected:
    CString m_strFact; //前提事实名
    CFact * m_FNext; //指向同规则下条前提事实指针
public:
    CFact * insertFact(); //插入
    void deleteFact(); //删除
    ... ..
};

class CRule
{
protected:
    int m_code; //规则号
    CString m_strRule; //规则的结论
    BOOL m_bRflag; //最终结论标志
    CFact * m_Fhead; //本规则所属前提事实的头指针
    CRule * m_RNext; //指向下一条规则
public:
    CFact * insertRule(); //插入
    void deleteRule(); //删除
    ... ..
};
```

对上述这些知识进行系统化地组织与存储,并能够有效的管理是建立专家系统时必须考虑的问题。因

此在关系数据库的基础上来建造知识库,充分利用关系数据库管理系统功能,可以方便知识库管理系统的设计<sup>[7]</sup>。

在安全控制系统中,有 3 类知识:安判参数,规则元和规则。根据这 3 类参数的结构类型,利用 Microsoft SQL Server 2000 中的企业管理器建立安判参数表,规则元表和规则表,各表结构如下:

表 1 安判参数表栏目

序号	外/遥	参数名称	变量名称	告警线	炸毁线
----	-----	------	------	-----	-----

表 2 规则元表栏目

字符编号	外/遥	变量名称	超界点数	告/炸
------	-----	------	------	-----

表 3 规则表栏目

规则号	前提个数	前提 1	...	前提 n	结论	最终结论标志
-----	------	------	-----	------	----	--------

在安判参数表和规则元表中,定义的各个字段分别对应于安判参数类和规则类中的成员变量。规则表中,每一个前提就是前提类中的前提事实名,前提个数与同一规则前提类所产生的前提事实链有关,即前提个数等于前提事实链表中的结点个数。结论即是由本规则的所有前提条件所导出的对应规则结论。

### 2.3 知识库的维护

知识库的维护实际上也是把知识的获取与建立知识库相比,它所采用的是高一级的机器学习方法:通过指导学习,而非机械学习<sup>[3]</sup>。

通常,对知识库的维护包括 3 种操作:扩展知识库、修改知识库和删除知识库。然而,修改知识库的操作可用扩展知识库和删除知识库的组合来实现:先删除要修改的记录,然后加入修改后的记录<sup>[3]</sup>。

在火箭安全控制智能决策系统中,知识库的维护是针对用面向对象表示法表示的知识库。由于安判知识库中包括 3 类知识:安判参数、规则元和规则,这样对于知识库的维护应包括 6 种操作:扩展安判参数、扩展规则元、扩展规则、删除安判参数、删除规则元和删除规则。同时安判知识库是利用 Microsoft SQL Server 2000 建立的,因此可以通过数据库技术,如关联、过滤机制和索引技术等实现知识库的维护,以确保知识的一致性。

### 3 安全控制系统推理机制

推理机是一组计算机程序,利用系统所具有的安判知识,按照一定的策略进行推理,对火箭的飞行状态进行判断,直到得到相应的结论。

基于面向对象技术和面向对象的知识表示方法,设计了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。根据安判

知识的结构特点,采用正向推理方式,具体的推理过程见图 2 所示。

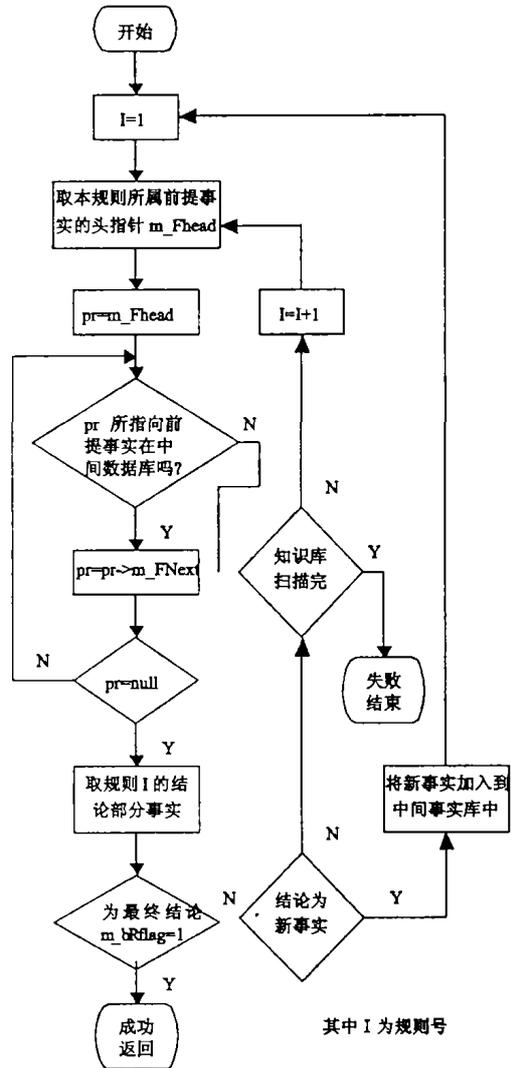


图 2 安全控制系统的推理机制

运用这种推理机制,安全控制系统对某一火箭的飞行状态进行了推理判断。最后,以 Visual C++ 6.0 作为开发平台,实现上述系统。图 3 给出了安控系统的界面,包括 3 个组成部分:数据列表,弹道数据显示和安判结果。

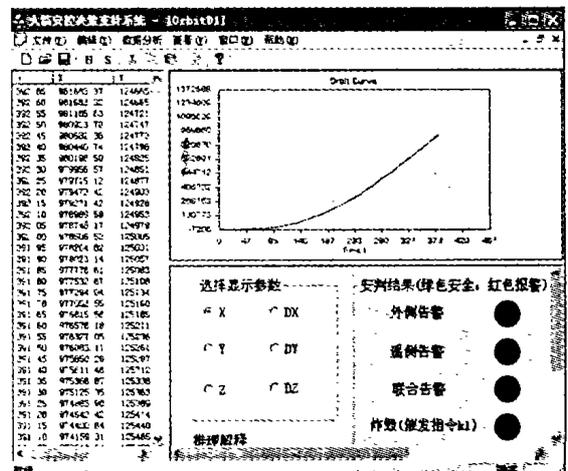


图 3 火箭安控智能决策系统的界面

## 4 结 论

在分析传统的火箭安判系统的基础上,提出了用面向对象的编程技术实现火箭安全控制智能决策系统。笔者采用 Visual C++ 6.0 和 Microsoft SQL Server 2000 为开发平台,分别用面向对象的编程思想实现了产生式规则知识表示,知识库和推理机,有利于知识库的建立、修改和维护,提高了推理效率和可靠性。同时,用该方法开发的系统在很大程度上消除了误报警情况,提高了系统报警的可靠性。因此,用面向对象方法建造火箭安全控制智能决策系统,无疑给传统的火箭安判系统的研究带来了新鲜活力和生机。当然,本系统还有待实践中进一步的检验和提高。

### 参考文献:

[1] 蔡自兴,徐光佑. 人工智能及其应用(第2版)[M]. 北

京:清华大学出版社,1996.

- [2] 刘星成,汤庸. 专家系统原理与编程[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 吴今培. 智能故障诊断与专家系统[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [4] GIARRATANO J, RILEY G. Expert Systems Principles and Programming. (3rd ed) [M]. Beijing: China Machine Press, 2002.
- [5] 杨太明,张爱民,马晓群,等. 面向对象的冬小麦产量预测专家系统(OOW FE)的研究[J]. 中国农业气象, 1995, 20(2):48-51.
- [6] JORMAZ D N, KHOSHNEVIS B. Process Planning Knowledge Representation Using an Object-Oriented Data Model [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1997, 10(1-4):92-104.
- [7] 郁鹏,周济,温淑红. 知识处理中的推理机设计[J]. 小型微型计算机系统, 1999, 20(1):20-24.

## Object-oriented Design of the Intelligent Decision-making System of Rocket Safety Controlling

LI Ya<sup>1,2</sup>, ZHAO Guo-qing<sup>3</sup>, HUANG Xi-yue<sup>1</sup>, QIAO Yu<sup>1</sup>, LI Wei<sup>1</sup>

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

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

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

**Abstract:** Because of systemic error in measurement and trajectory track, precision of trajectory parameter is not high and it results in false alarms in the traditional systems. The intelligent decision-making system of rocket safe controlling is built by using object-oriented method. First, the authors analyze and design rocket safety controlling architecture. Then, we study about knowledge expressing and knowledge database by object-oriented technique for the rocket safety controlling. At last, inference procession of the system is discussed. Intelligent decision-making system of rocket safety controlling is accurate, extensible and flexible.

**Key words:** safety controlling; intelligent decision-making system; expert system; knowledge database; object-orient

(编辑 张 苹)